

Sergii Kytovsky

UIMA-ALTAAN LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN VERTAILU

UIMA-ALTAAN LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN VERTAILU

Sergii Kytovsky
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Tekijä(t): Sergii Kytovsky

Opinnäytetyön nimi: Uima-altaan lämmitysjärjestelmien vertailu

Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Comparison of swimming pool heating systems

Työn ohjaaja(t): Niko Peltokangas

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 56 + 9 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää taloudellisesti paras lämmitysjärjestelmä uudelle rakennukselle, johon oli suunniteltu pihalle uima-allas. Työ toteutettiin tutkimalla ja keräämällä muista opinnäytetöistä ja tuote-esitteistä sekä rakentamismääräyskokoelmasta löytyviä tietoja. Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää edullisin lämmitysjärjestelmä uima-altaalle ja uudelle omakotitalolle.

Aluksi opinnäytetyössä vertailtiin eri lämmitysmuotoja teoriassa. Vertailukohteiksi oli valittu seuraavista erilaista lämmöntuottojärjestelmää: kaukolämpö, ilmavesilämpöpumppu, maalämpö sekä erillinen ilmavesilämpöpumppu uima-altaalle. Teorian pohjalta mietittiin eri järjestelmien hyviä ja huonoja puolia. Tämän jälkeen tehtiin rakennuksen ja uima-altaan energiankulutuksen sekä lämmitystekon tarpeen laskenta kuukausitasolla. Seuraavaksi vertailtiin järjestelmien investointikustannuksia, energiahintoja sekä käyttökustannuksia kahdella vaihtoehdolla, kun omakotitalo ja uima-allas lämmitetään yhdessä tai kun uima-altaalle kytketään erillinen ilma-vesilämpöpumppu. Laskenta-aika vertailussa on 30 vuotta. Tällä ajanjaksolla otettiin huomioon, täytyykö lämmitysjärjestelmien laitteisto uusia. Laskelmiin käytettiin Microsoft Office Excel -ohjelmaa.

Lopputuloksena saatiin tulevaksi lämmitysmuodoksi maalämpö. Valintaan päädyttiin erityisesti siksi, koska maalämpö on ympäristöystävällinen ja taloudellisesti kannattava valinta omakotitalolle, johon on suunniteltu uima-allas. Tässä opinnäytetyössä saatujen tulosten perusteella tehtiin katsaus lämpöpumppujärjestelmistä, joita voidaan käyttää uima-altaan lämmittämiseen ja tuloksia voidaan hyödyntää uima-altaan lämmityksen valinnan apuvälineenä.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme: Bachelor of Engineering,
Option: HVAC Engineering

Author(s): Sergii Kytovskyi
Title of thesis: Comparison of swimming pool heating systems
Supervisor(s): Niko Peltokangas
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024
Number of pages: 56 + 9 appendixes

The aim of this thesis was to find out the economically best heating system for a new building where an outdoor swimming pool was planned for the yard. The work was carried out by researching and collecting information from the other theses, the product brochures together with building regulations documentation. The purpose of the thesis was to find the most affordable heating system for the swimming pool and a new detached house.

Initially, the thesis has compared different heating methods in theory. The following different heat production systems were chosen as comparison sites: a district heating, an air-to-water heat pump, a geothermal heat, and a separate air-to-water heat pump for the swimming pool. Based on the theory, it has been analyzed the positive and negative aspects of the different systems. After the theory investigation, it has been created a calculation of the energy consumption for the heating of the building and the swimming pool. The next step was to compare the investment costs, energy prices and operating costs of the systems based on the two options: when the detached house and swimming pool are heated together and when they are heated separately via a separate air-to-water heat pump. The comparison calculation period is 30 years. During this period, it has been taken into consideration whether the equipment of the heating systems needs to be renewed or not. Microsoft Office Excel was used for the calculations.

Finally, the geothermal heat pump has been chosen as the heating system option. The choice has been made especially based on a fact that the geothermal heat is an environmentally friendly and economically viable choice for the detached house with the swimming pool.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	KOHDE	7
2.1	Omakotitalon kuvaus	7
2.2	Uima-altaan kuvaus	8
3	LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUVAUS JA ENERGIANTARVE	11
3.1	Kaukolämpö	11
3.2	Maalämpö.....	12
3.3	Ilma-vesilämmitys (IVLP).....	15
3.4	Erillinen IVLP uima-altaalle	18
3.5	Energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta.....	21
3.5.1	Omakotitalon energiantarve	22
3.5.2	Uima-altaan energiantarve	28
4	LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KOKONAISKUSTANNUSTEN VERTAILU	34
4.1	Investointikustannukset	34
4.2	30 vuoden käyttökustannusten vertailu	36
4.3	Hiilijalanjäkilaskenta.....	39
4.4	Kokonaishintojen vertailut	41
4.5	Valinta.....	42
5	YHTEENVETO	43
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET	47

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön päätavoite on tutkia ja vertailla erilaisia lämmitysmuotoja, tuoda esille niistä tarkempia tietoja sekä vertailla lämmitysjärjestelmien kustannuksia. Työn tutkimuskohteena on Yli-vieskan alueella sijaitseva uudisrakennus, jonne suunnitellaan uima-allasta ulkopihalle. Kaikkien järjestelmien kulutuksen laskemisessa verrataan lämmitysjärjestelmien käyttökustannuksia 30 vuoden ajanjaksolla. Työn tarkoituksena on löytää ulkouima-altaalle kustannustehokkain lämmitystapa niin investoinneilta kuin käyttökustannuksiltaankin.

Nykyään asumisen kulut kasvavat vuosittain, sen takia säästöjä etsitään monista asioista. Säästöjä haetaan usein asuinrakennuksen lämmityskuluista, koska se on suurin yksittäinen energiakulu ja siihen on kohtalaisen helppo vaikuttaa. Nykypäivänä energian säästäminen on myös ympäristön kannalta tärkeää.

Vertailussa käytetään samaa oletusarvoa lämmitysenergialle vuosittain, jolloin pystytään vertailemaan pelkkiä lämmitysjärjestelmien kustannuksia. Tässä työssä energialaskennassa ei huomioida tulevia kertoimia. Laskuissa pyritään realistisiin arvoihin ottamalla huomioon hyväksikäytettävät lämpökuormat, laskelmat on tehty kuukausitasolla.

Uima-altaiden lämmitys voi olla suuri osa lämmitysenergian käytöstä rakennuksissa. Uima-altaita on perinteisesti lämmitetty joko kaukolämmön tai suoran sähkölämmityksen avulla, mutta nykyään markkinoilta löytyy myös uusi energiatehokkaampia ja ympäristöystävällisempiä ratkaisuja, esimerkiksi uima-altaille tarkoitettuja lämpöpumppujärjestelmiä. Tässä työssä tavoite on saada selville kaikista paras taloudellinen sijoituskohde seuraavista lämmöntuottovaihtoehdoista: maalämpö, ilma-vesilämpölämmitys, kaukolämpö sekä erillinen ilma-vesilämpöpumppu uima-altaalle.

Lämmitysjärjestelmän valintaan vaikuttavat omat kokemukset, energiahinnat sekä investointi- ja käyttökustannukset. Täytyy muistaa, että oikealla valinnalla voi säästää sekä rahaa että ympäristöä.

Opinnäytetyössä suunnitellun omakotitalon malli pyritään pitämään mahdollisimman yksinkertaisena (kuva 1). Omakotitalon rakenneratkaisujen tulee kuitenkin täyttää niille asetetut vaatimukset ja määräykset, eivätkä ne saaneet vaarantaa rakennuksen asumisterveyttä.

Lämmönjako on toteutettu esimerkiksi vesikiertoisella lattialämmityksellä. Rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto. Rakennuksen ilmanvuotoluku on 0,5 1/h, eli rakennuksen sisäilma vaihtuu kokonaan kerran kahdessa tunnissa.

2.2 Uima-altaan kuvaus

Talon pihalle suunnitellaan uima-allasta (kuva 2). Altaan mitat ovat 2,5 x 4,0 m, suositeltu uima-altaan syvyys on vähintään 1,5 m, tällöin altaan käytöstä saa maksimaalisen hyödyn irti. Altaalle suunnitellaan myös siirrettävä uima-altaan kate, joka on mitoiltaan 3,3 x 6,3 m (kuva 3).

Uima-allas lämmitetään vain kesän aikana ja sitä ei lämmitetä, kun ulkona alle +5 °C. Ulkoilman lämpötilalla on suuri merkitys altaan käyttömukavuuteen ja uima-altaan veden haihtumiseen. Kun ilman lämpötila on 2–4 °C korkeampi verrattuna allasveden lämpötilaan, tämä parantaa viihtymystä, mutta kasvattaa myös veden haihtuvuutta. Syksyllä uima-allas tyhjenetään. Pihan salaojituksen ja sadevesiviemäröinnin on oltava kunnossa, jotta ei tule ongelmia allasta tyhjennettäessä.

Uima-allas kannattaa sijoittaa mahdollisimman avoimeen paikkaan. Altaan vettä lämmitetään 28 asteeseen asti.

Suunnittelussa on myös otettu huomioon altaan sijainti ja sen vaikutukset esimerkiksi lämpöhäviöiden laskentaan. Muita vaikuttavia tekijöitä ovat altaan koko ja rakenteiden materiaalit ja paksuudet. Uima-allaspaketti tulee eristettynä. Sen eristys koostuu seuraavista komponenteista: betonisen rakennuspalikoiden kaksinkertainen eriste EPS25, lämpöeriste altaan sisäpinnalle EPS80 (jotta maakylmyys ei viilentäisi altaan vettä sekä sisäpinnan eriste EPS80 kestää kuormitusta hyvin).

Kuvassa 2 on esitetty valmis betoninen uima-allaspaketti, joka sisältää NPS-rakennuspalat 2,5 x 4,0 x 1,5 m -kokoiseen altaaseen sekä sopivan sinisen allaspussin. Blok-allaspalat ovat valmiiksi

eristettyjä, helposti koottavia, betonilla täytettäviä rakennuspalikoita, joilla altaan runko saadaan nopeasti kasaan. Tämä uima-altaan vaihtoehto tekee käytöstä entistä helpompaa ja nautinnollisempaa. (2.)



KUVA 2. Uima-allas (2)

Kuvassa 3 on esitetty uima-altaan polykarbonaattikate. Allaskate vähentää lämpöhukkaa ja helpottaa altaan puhtaanapitoa sekä pidentää uimakautta huomattavasti. Iso hyöty tuotteessa on, että katteessa on lukot, joilla kate voidaan lukita kiinni esim. lasten turvallisuuden vuoksi. Lapsiperheille uima-altaan suojaaminen tuo mielenrauhaa ja turvallisuuden tunnetta, kun ei tarvitse olla huolissaan perheen pienimmistä. (3.)



KUVA 3. Uima-altaan kate (3)

Kateen tekniset tiedot:

- kolmiosainen kate
- kiskojen ulkomitta 3726 x 6300 mm (+2200 mm)
- kiskojen sisämitta 3300 x 6300 mm (+2200 mm)
- altaan mitta voi olla max 3250 x 6250 mm
- katteen korkeus keskeltä 750 mm
- runko eloksoitua alumiinia
- katemateriaali 3 mm kirkas polykarbonaatti
- pakkauksen mitat P 370 x L 40 x 146 cm
- paino 320 kg (3.)

3 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KUVAUS JA ENERGIANTARVE

3.1 Kaukolämpö

Liittyminen kaukolämmitykseen on helppoa ja nopeaa, kun lähistöllä on kaukolämmön jakeluverkko. Keskitetty kaukolämpötuotanto on energiatehokasta, ympäristöyöäistä ja taloudellista. Kaukolämmöllä tarkoitetaan lämmitysmuotoa, jossa kuuma vesi johdetaan putkistoja pitkin voimalaitokselta tai lämpökeskukselta asiakkaiden lämmönsiirtimiin ja takaisin. Putkisto koostuu kahdesta putkesta: meno- ja paluuputkesta. (4.)

Voimalaitoksella tai lämpökeskuksessa lämmitetään erilaisilla polttoaineilla vettä korkeaan lämpötilaan. Kuuma vesi pumpataan menoputkea pitkin asiakkaan lämmönsiirtimelle, jossa se luovuttaa lämpöenergiaansa asiakkaan käyttö- ja lämmitysveteen. Kaukolämmön vesi ja asiakkaan vesi eivät siis missään vaiheessa sekoitu toisiinsa. Luovutettuaan lämpöä viilentynyt vesi palaa paluuputkessa takaisin voimalaitokselle tai lämpökeskukselle. Kaukolämmön menoveden lämpötila vaihtelee vuodenajan mukaan. Kesällä menovesi on viileintä, koska silloin sitä käytetään lähinnä käyttöveden lämmitykseen. Menoveden lämpötila on yleensä noin 65–115 °C ja asiakkaalta lämpölaitokseen paluuv veden lämpötila vaihtelee 40–60 °C:n välillä. (4.)

Jos kiinteistöä lämmitetään kaukolämmöllä ja uima-allas on liitetty rakennuksen lämmitysverkostoon, voidaan uima-altaan vesikiertoon kytkeä sarjaan vesi-ilmalämpöpumppu vähentämään uima-altaan lämmittämiseen kuluva kaukolämmön määrää. Kuvassa 4 on esitetty esimerkki, miten voisi lämmittää uima-altaan, kun on kytketty kaukolämpö ja ilma-vesilämpöpumppu rinnakkaisesti. Jos lämpöpumpun teho ei jostain syystä riitä altaan veden lämmittämiseen, voidaan käyttää vesi-ilmalämpöpumpun jälkeen vesikierrossa sijaitsevaa lämmitysverkoston lämmönsiirintä veden lämmittämiseen haluttuun lämpötilaan. Altaaseen palaavaa vettä mitataan lämpötila-anturilla. Jos ei saada tarvittavaa veden lämpötilaa lämpöpumpun jälkeen, lämpötila-anturin signaali käynnistää lämmitysverkoston kiertovesipumpun ja aukaisee kolmitieventtiilin, jotta vesi silloin pystyy virtaamaan myös lämmitysverkoston lämmönsiirtimelle. (5.)

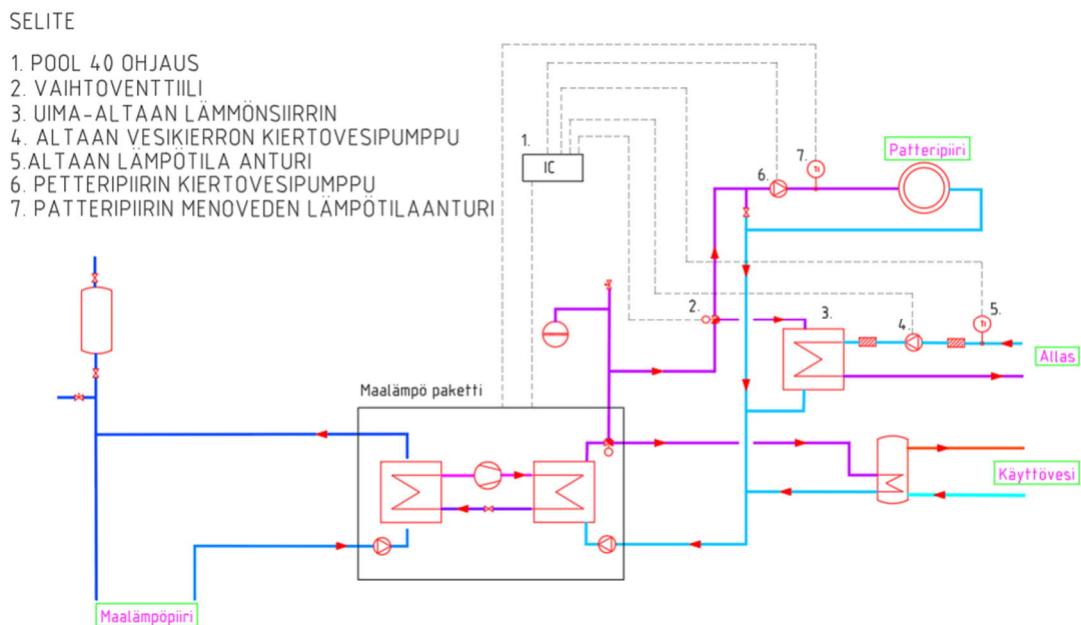
vaakaetäisyyttä oltava vähintään 1,5 metriä, mieluiten enemmänkin. Savimaa on maalajeista tehokkain ja hiekkamaa heikoin. Savimaassa tarvitaan putkimetrejä noin 30–40 prosenttia vähemmän kuin hiekkamaassa. Vaakaputkisto on yleensä edullisin lämmönkeruutapa pientalon kohdalla. Yli 60 prosenttia maalämpökohteista toteutetaan lämpökaivoilla. Etelä-Suomessa niiden osuus on suurempi kuin Pohjois-Suomessa. Kyseessä on ulkohalkaisijaltaan 115–165 mm:n porakaivo, johon asennetaan putkisto, jossa lämmönkeruuliuos kiertää. Lämpökaivoa käytettäessä maalämpöjärjestelmä pystytään useimmiten tekemään ahtaallekin tontille, mutta se on lämmönkeruuvaihtoehtona yleensä kallein. (6.)

Osatehomoituksessa maalämpöpumppu mitoitetaan yleensä noin 60–80 prosenttiin suuruudelle verrattuna laskennalliseen huipputehontarpeeseen, jolla tuotetaan laskennallisesti noin 95–99 prosenttia vuotuisesta energiantarpeesta. Loput 1–5 prosenttia tuotetaan maalämpöpumpun vara- tai lisälämmitysvastuksella. Osatehomoituksen etuna on yleensä hieman nopeampi investoinnin takaisinmaksuaika ja pidempi kompressorin kestoikä, haittapuolena muun muassa suurempi huipputehontarve sähköverkosta. (7.)

Lämmönkeruupiiri tulee mitoittaa talon tilojen lämmityksen ja käyttöveden tarvitseman vuotuisen energian mukaisesti. Reilusti mitoitettu lämmönkeruupiiri maksaa itsensä takaisin hieman paremman lämpökertoimen muodossa pitkällä aikavälillä. Lattialämmitystaloissa ja suuremmissa taloissa on yleensä parempi maalämmön vuosihyötysuhde kuin patterilämmitystaloissa. Rungas käyttöveden suhteellinen energiaosuus heikentää vuosilämpökerrointa. Käytännössä vuosilämpökerroin maalämmössä on useimmiten kohdekohtaisesti 2,0–3,5. (6.)

Lämpöpumpulla voidaan lämmittää myös patteriverkostoa ja uima-allas voidaan liittää patteriverkoston puolelle. Tämä kytkentä vaatii ohjausjärjestelmän tai lämpöpumpun, jossa sellainen on jo valmiiksi. Kuvassa 5 on esitetty esimerkki, miten patteriverkoston liitetyn uima-altaan lämmityksen ohjaus hoidetaan uima-altaanohjauksen lisälaitteen Nibe POOL 40 avulla. Lisälaitte on tarkoitettu maalämpöpumpuille, mutta vastaavanlaisia järjestelmiä on myös ilma-vesilämpöpumpuille. Tällainen kytkentä vaatii toimiakseen vaihtoventtiilin ja ylimääräisen kiertovesipumpun lisäämistä patteriverkoston. (5.)

Vaihtoventtiili asennetaan lämmitysverkoston ja uima-altaan lämmönsiirtimen vievän menoputken haaraan. Venttiin ollessa valmiustilassa vesi kulkee normaalisti patteriverkoston. Altaan vesikierron ollessa käynnissä mittaa tuloputken lämpötila-anturi allasveden lämpötilaa. Jos veden lämpötila alittaa asetusarvon, lähettää lämpötila-anturi signaalin POOL 40 -ohjausjärjestelmälle. POOL 40 muuttaa vaihtoventtiin asennon, joka alkaa ohjaamaan lämmitysvettä altaan lämmönsiirtimelle. Patteriverkoston lisätty kiertovesipumppu käynnistyy, sillä vaihtoventtiin ollessa altaan lämmitys-asennossa lämpöpumpun kiertovesipumppu pumppaa vettä vain altaan lämmitykseen. Näin varmistetaan veden virtaus patteriverkostossa ja se, että menoveden lämpötila-anturi toimii oikein. Altaan veden saavuttaessa halutun lämpötilan palaa vaihtoventtiili valmiusasentoon, ja patteriverkoston kiertovesipumppu sammuu. (5.)



KUVA 5. Uima-altaan lämmitys maalämpöpumpputjärjestelmällä (5)

Uima-altaan lämmittäminen lämmönvaihtimella on oiva tapa, jos käytössä on esimerkiksi maalämpö, kaukolämpö tai esimerkiksi erillinen hakekattila. Lämmönvaihtimen periaate perustuu primääri eli ensiöpuolen ja sekundääri eli toisiopuolen nesteiden lämpötilaeroon. Uima-altaan vaihtimen tekniikka on hyvin yksinkertainen. Lämmönvaihtimen putken tai levylämmönvaihtimen sekundääripuolella kiertää uima-altaan oma vesi ja vaihtimen primääripuolella kiertää lämmitysjärjestelmässä käytössä oleva kuumempi lämpöneste tai vesi. Vaihtimessa tapahtuva lämmön luovutus nostaa tasaisesti uima-altaan lämpöä. Lämmönvaihtimen toimiikin uima-allaskäytössä loistavasti, kun ensiö- ja toisiopuolen lämpötilaerot ovat riittävän suuret. (5.)

Mikäli lämpötilaero on hyvin pieni, lämmönvaihtimen hyötysuhde pienenee ja samalla primääripuolen pumpun käyntiaika pitenee. Lämmönvaihdin tekniikkansa puolesta on hyvin luotettava ja pitkäikäinen. Vaihdin sinänsä ei sisällä erillistä älyä tai tekniikkaa. Toiminta perustuu mekaaniseen lämpötilaeron vaihtuvuuteen, mikä tekee vaihtimesta luotettavan ja pitkäikäisen vaihtoehdon uima-altaan lämmittämiseen. Lämmönvaihdin asennetaan aina uima-altaan paluukiertoon. Suunniteltaessa uima-altaan lämmitystä lämmönvaihtimella suositellaan vedenkuljetus teknisestä tilasta eristetyissä ensiöpuolen lämmönsiirtoputkissa uima-altaan tekniseen tilaan. Vaihdinlämmitetty uimaallas voidaan pitää lämpimänä läpi vuoden ulkolämpötilasta riippumatta, olettaen luonnollisesti, että maalämpökaivo ja kompressorit pystyvät tuottamaan riittävästi lämpöä. Ympäri vuoden lämmitykseen suositellaan, että uima-altaalle porataan oma maalämpökaivo. (8.)

3.3 Ilma-vesilämmitys (IVLP)

Ilma-vesilämpöpumppu (eli ulkoilma-vesilämpöpumppu, UVLP) on uusin lämpöpumpputekniikkaa hyödyntävä lämmitysratkaisu. Ilma-vesilämpöpumppu ottaa ja siirtää lämmitysenergiaa joko ulkoilmasta veteen (lämmitysjärjestelmään) tai vedestä ulos (viilennys). Kompressorilla voidaan lämmitellä myös tilojen lämmitys- ja käyttövesi jopa +65 celsiusasteen tasolle. Ilma-vesilämpöpumppu toimii samalla periaatteella kuin muutkin lämpöpumput (2.) IVLP asennetaan yleensä kohteisiin, joihin ei kannata tai joihin ei tontin rajoitusten vuoksi voi asentaa maalämpöjärjestelmää. Ilma-vesilämpöpumppu voidaan myös kytkeä hybridikäyttöön esimerkiksi olemassa olevan öljylämmityksen tueksi, jolloin öljykattila lämmittää talon kylmimmillä säillä tukee aina tarvittaessa IVLP:a. (9.)

Ilma-vesilämpöpumppu on hyvä ratkaisu etenkin silloin, kun ei voida tehdä maalämmön vaatimaa vaakaputkistoa tai lämpökaivoa tai kun maalämpöinvestointi olisi investointikustannukseltaan energiantarpeeseen nähden suuri. Investointi on yleensä maalämpöä halvempi, mutta investointiero riippuu monesta asiasta. Toisaalta IVLP antaa selvästi vähemmän ilmaisenergiaa vuositasolla kuin maalämpö. Vuosihyötysuhde heikkenee mentäessä Etelä-Suomesta kohti Pohjois-Suomen kylmempiä lämpötilavyöhykkeitä. (9.)

Ilma-vesilämpöpumppujärjestelmä koostuu yleensä sisä- ja ulkoyksiköstä, aivan kuten ILP:kin, mutta sillä erolla, että sisäyksikössä on lämmönvaihdin, jossa lämpö siirtyy kylmäaineesta veteen. Ilma-vesilämpöpumput ovat pääasiassa kahta tyyppiä: split-laitteita ja monoblock-laitteita. Split-

laitteissa lämpöpumpun kylmäkoneisto on jaettu kahteen osaan – ulkoyksikköön ja sisäyksikköön – joiden välillä kiertää kylmäaine. Monoblock-laitteissa kaikki tekniikka on ulkoyksikössä, ja sisällä olevien varaajien tai varaajan ja ulkoyksikön välissä kiertää pelkkä vesi. Monoblock-laite voidaan myös kytkeä suoraan olemassa olevaan lämmitysjärjestelmään, esimerkiksi öljykattilan rinnalle. Lisäksi markkinoilla on sisälle asennettavia ilma-vesilämpöpumppuja. Näissä malleissa seinään tai kattoon tehdään ilmanotto- tai poistoaukot ja laite varaajineen tulee kokonaan sisätiloihin. Näiden laitteiden asentamisessa on erityisen tärkeää noudattaa valmistajan ohjeita. (9.)

Korkea menoveden lämpötila heikentää lämpöpumpun antotehoa ja hyötysuhdetta. Siksi lattialämmitys on selvästi patteriverkkoa sopivampi lämmönjakoverkko IVLP:n yhteyteen. On huomioitava, että useilla IVLP-malleilla yli +55 celsiusasteen lämmöntuotanto tilojen lämmitys- ja käyttövesipuolelle on ongelmallista. Käyttövesi ja osan vuodesta myös lämmityspatterit tarvitsevat tätä korkeamman lämpötilan. Lämpötila nostetaan useimmiten vesivaraajan sähkövastuksella. (9.)

Rakennuksen vuotuinen energiankulutus ja huipputehontarve lämmityksessä ja lämpimän käyttöveden tuottamisessa ovat lähtökohtana laskettaessa rakennukselle sopivaa ilma-vesilämpöpumpun mitoitusta. On huomattava, että IVLP voi antaa noin 50 prosenttia vähemmän tehoa -20 celsiusasteen lämpötilassa kuin +7 celsiusasteen lämpötilassa, jossa laitteiden nimellistehot yleensä ilmoitetaan. Kylmiin olosuhteisiin suunnitellut mallit pitävät paremmin tehonsa kovemmilla pakkasilla. (9.)

Hyvät puolet jos käytetään IVLP:a:

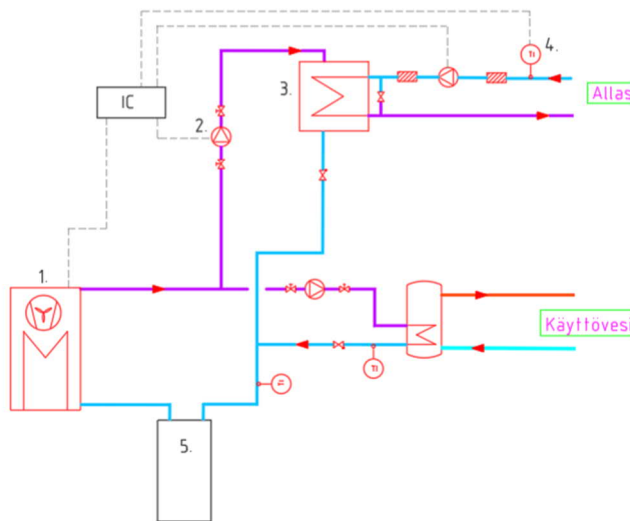
- helppo asentaa ja ohjata
- toiminta-alue -25 °C asti
- käyttövesi lämmitetään jopa +65 °C tasolle
- korkeampi kausittainen energiatehokkuus
- yhteensopiva kaikkien lämmitysjärjestelmien kanssa.

Uima-altaan lämmitys voi olla esimerkiksi osa lämpimän käyttöveden lämmitysvedenkiertoa (kuva 6). Järjestelmässä lämmitysputkisto haarautuu niin, että altaan lämmönsiirtimelle ja lämminvesivaraajalle on omat haaransa. Molemmissa haaroissa on omat kiertovesipumput, ja veden virtaus-

suunnasta huolehtivat venttiilit. Altaan vesikierron kiertovesipumpun käynnistyessä alkaa vesikierron tuloveden lämpötila-anturi mitata veden lämpötilaa. Jos veden lämpötila on alle asetusarvon, käynnistyy lämmitysverkoston kiertovesipumppu. (5.)

SELITE

1. ILMA-VESILÄMPÖPUMPPU
2. ALTAAN LÄMMITYSVEDEN KIERTOVEDIPUMPPU
3. UIMA-ALTAAN LÄMMÖNSIIRRIIN
4. ALLASVEDEN PALUUN LÄMPÖTILA-ANTURI
5. PUSKURIVARAAJA

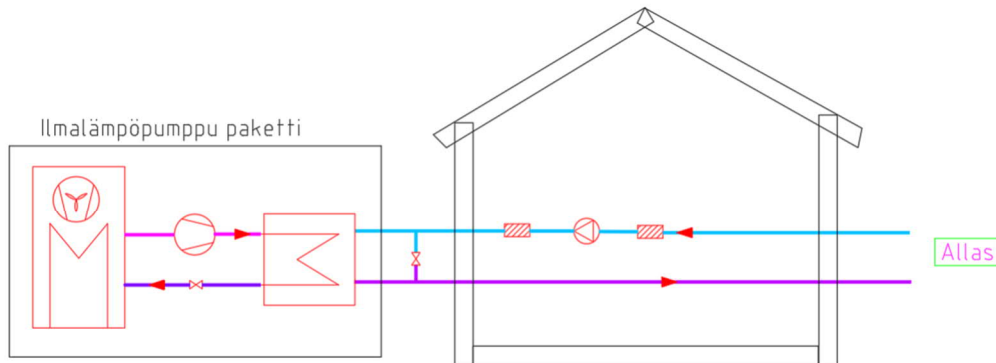


KUVA 6. Uima-altaan lämmitys käyttöveden lämmitysvedellä (5)

Nykyään markkinoilla saa tavata tällaiset ilma-vesilämpöpumppujärjestelmien ratkaisut, joissa lämpöpumpun lauhdutin voidaan liittää suoraan uima-altaan vesikiertoon. Ilma-vesilämpöpumpulla lämmitetään ainoastaan allasvettä ja järjestelmien automaatio ja ohjaus on hyvin yksinkertaista. Tarvittava automaatio ja veden lämpötilojen mittaus sisältyy tämänlaisissa lämpöpumpuissa usein lämpöpumppupakettiin. Lämpöpumpun toimintaa voidaan säätää pumpussa olevasta ohjauspaneelista. (5.)

Kuvassa 7 on esitetty esimerkki suoraan vesikiertoon asennetusta monoblock-järjestelmästä. Koska usein uima-altaan vesikierrossa vedenvirtaus ei ole jatkuvaa, tämänkaltainen järjestelmä soveltuu altaan lämmittämiseen vain lauhoissa olosuhteissa. Kylmissä olosuhteissa putkistossa

seisova vesi luo suuren jäätymisriskin. Tämänkaltaisia ratkaisuja suositellaan lähinnä ulkoaltaiden lämmittämiseen kesäkuukausien aikana. (5.)



KUVA 7. IVLP suoraan altaan vesikiertoon liitetystä monoblock-laitteistosta (5)

3.4 Erillinen IVLP uima-altaalle

Lämpöpumpun suunnitteluominaisuudet tekevät siitä kestävämmän kosteudelle kuin mikään muu vesilämmitysjärjestelmä. Energiaa on kaikkialla, jopa kohteissa, jotka vaikuttavat erittäin kylmiltä. Lämpöpumppujen avulla voi poimia energian ympäristöstä ja muuttaa sen energiaksi, jolla on korkea potentiaali. Tässä kunnossa lämpöenergia voidaan käyttää lämmitykseen. (10.)

IVLP-järjestelmä koostuu kahdesta pääosasta - ulkoisesta ja sisäisestä, joiden välissä on kompressori ja haihdutin. Jäähdytysneste kiertää ulkopuolella sijaitsevan putkijärjestelmän kautta. Samalla se imee energian, joka on hajaantunut maan pääosaan, veteen tai ilmaan pumpun tyypistä riippuen. Vesilämpöpumpun järjestämissä käytetään vettä energialähteenä. Paras vaihtoehto on lähellä oleva vesistö: lampi, järvi, joki. Lämpöpumppuun tarvittava sähkömäärä on kuitenkin noin neljä kertaa vähemmän kuin veden lämmittäminen suoraan sähkölämmittimellä. Alle 2,5 kW tehonkulutuksella sähköllä lämpöpumppu voi tuottaa yli 10 kW lämpöenergiaa. Mitä vakaampi väliaineen lämpötila on, sitä tehokkaampi on lämpöpumppu. Lämpöpumppua voidaan käyttää myös yhdessä muiden lämmitysjärjestelmien kanssa, esimerkiksi sähkölämmityksen kanssa. Talon lämmitykseen tällaiset mallit yhdistetään joskus kaasu- tai sähkökattilaan. Tämä on erityisen sopivaa ankarilla

ilmastoalueilla, koska alle -20 asteteen lämpötiloissa lämpöpumppujen tehokkuus heikkenee huomattavasti. (10.)

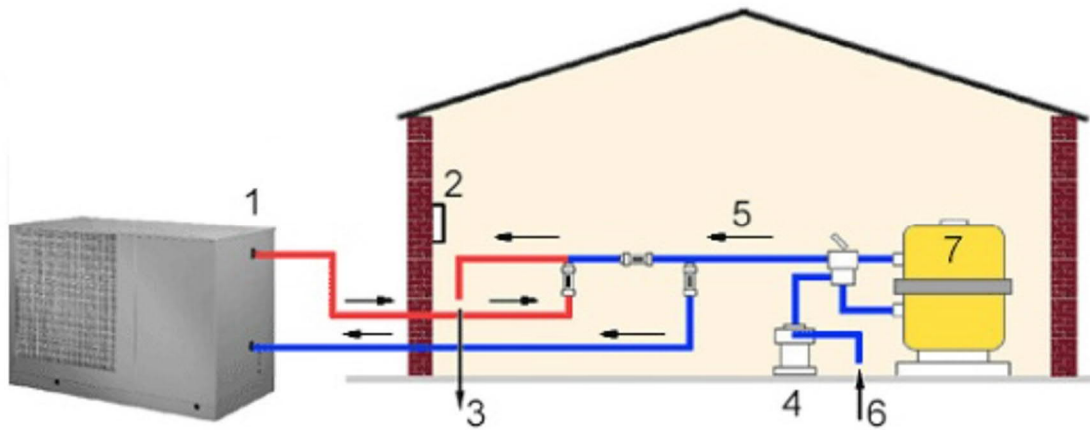
IVLP valitaan tehon perusteella, ennen sitä tietysti tarvitaan määrittää sen uima-altaan lämpöhäviöt, johon laite asennetaan. Altaan tapauksessa on hyvä huomioida seuraavat asiat: uima-altaan sijaintipaikka; uima-altaan saatavuus ja luotettavuusaste; veden alkuperäinen lämpötila; uimaveden optimaalinen lämpötila ja suojan olemassaolo tai puuttuminen. Mitä pienempi ero on ulkoilman lämpötilan ja uima-altaan veden lämpötilan välillä, sitä enemmän vaikutusta lämpöpumppu antaa ja sitä korkeampi on sen tuottavuus. Pumpun kapasiteetin tulisi olla 30 % suurempi kuin uima-altaan lämpöhäviö. Taulukossa 1 on esitetty suositeltavat tehot altaan tilavuuden perusteella. Kun valitaan lämpöpumppu, ei keskitytä pelkästään sen tehoon. Muut tekijät ovat myös tärkeitä. Nämä ovat esimerkiksi suuren metallikotelon muistuttavan pumpun mitat. Lämpöpumppu värähtelee käytön aikana ja aiheuttaa melua. Mitä vähemmän melua sivustossa, sitä parempi. Ennen ostamista tulisi löytää tapa arvioida eri lämpöpumppumallien aiheuttama melutaso. (10.)

TAULUKKO 1. Uima-altaan lämpöpumpun tehon määrittäminen (10)

Uima-altaan tilavuus, m ³	IVLP.N teho, kW
10	4–6
20	6–9
30	12
40	15
50–60	18
70–80	26
90–110	36
120–140	48
150	60

Ilmalämpöpumpulla lämmityksen tehokkuus voi tietysti olla hiukan heikompi kuin käytettäessä vaihtoehtoisia energialähteitä, kuten maata tai vettä. Tämä malli on kuitenkin ihanteellinen käytettäväksi kauden aikana kevästä syksyyn, ei ympäri vuoden, kuten tässä opinnäytetyössä tutkitaan. Tavallisesti suurinta osaa alueiden uima-altaista käytetään tänä aikana. (10.)

Lämpöpumpun kytkentätapa uima-altaalle riippuu tietyn mallin ominaisuuksista. Yleensä teollisuusmallit toimitetaan valmiiksi koottuina ja asennusta varten tarvittavien komponenttien kanssa. Kuvassa 8 on esitetty esimerkin altaaseen kytketyn ILVP:n periaatekaavio.



KUVA 8. Uima-altaaseen kytketyn ILVP:n periaatekaavio (10)

Kuvassa 8 kaavion positiot ovat:

1. IVLP
2. kaukosäädin
3. puhdas vesi uima-altaalle
4. kiertovesipumppu
5. ohitus (ohitus) ja säätöventtiilit
6. uima-altaan vesiputki
7. suodatin

Ilmalämpöpumppu on suosituin tapa lämmitellä uima-altaan vettä. Ilmalämpöpumpun suosio tulee sen helppokäyttöisyydestä ja energiatehokkuudesta.

Lopuksi voidaan vertailla eri lämmitysmuotojen plussat ja miinukset (taulukko 2).

TAULUKKO 2. Lämmitysmuotojen plussat ja miinukset

Lämmitysmuoto	Plussat	Miinukset
Kaukolämpö	<ul style="list-style-type: none"> * tehokas * osa energiayhtiöistä käyttää vain uusiutuvaa energiaa 	<ul style="list-style-type: none"> * käytetään paljon uusiutumattomia luonnonvaroja * riippuvuus yhdestä energiantoimittajasta
Maalämpö	<ul style="list-style-type: none"> * hyödyntää uusiutuvaa energiaa * pienet käyttökustannukset * ei vaadi huoltoa * vesikiertoinen lämmönjako mahdollistaa energiamuodon vaihtamisen 	<ul style="list-style-type: none"> * isot investoinnit
Ilma-vesilämpöpumppu	<ul style="list-style-type: none"> * huoleton, turvallinen ja luotettava * sopii mihin tahansa rakennuspaikkaan * vesikiertoinen lämmönjako mahdollistaa energiamuodon vaihtamisen 	<ul style="list-style-type: none"> * kovimmilla pakkasilla vaatii rinnalle toisen lämmitysmuodon * suuri hankintahinta
Sähkölämmitys	<ul style="list-style-type: none"> * pienet investointikustannukset * helppo säätää * ei ole lämmönsiirtohäviöitä 	<ul style="list-style-type: none"> * energian hinnan vaihtelut * energian tuotannon ympäristövaikutukset

3.5 Energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta

Talon ja uima-altaan lämmitysjärjestelmien vertailua varten täytyy ensin selvittää niiden energiantarvetta ja tehoa. Kun ne ovat selvitetty, voidaan niille laskea kustannukset.

3.5.1 Omakotitalon energiantarve

Rakennuksen lämmitystehon tarve lasketaan yleensä tilakohtaisesti, jolloin voidaan laskea tilassa tarvittava lämmitysteho ja mitoittaa ja valita tilakohtaiset lämmityslaitteet. Rakennuksen lämmitystehon tarve riippuu pääasiassa rakenteiden johtumislämpöhäviöistä, ilmavuodoista ja ilmanvaihdosta. (11.)

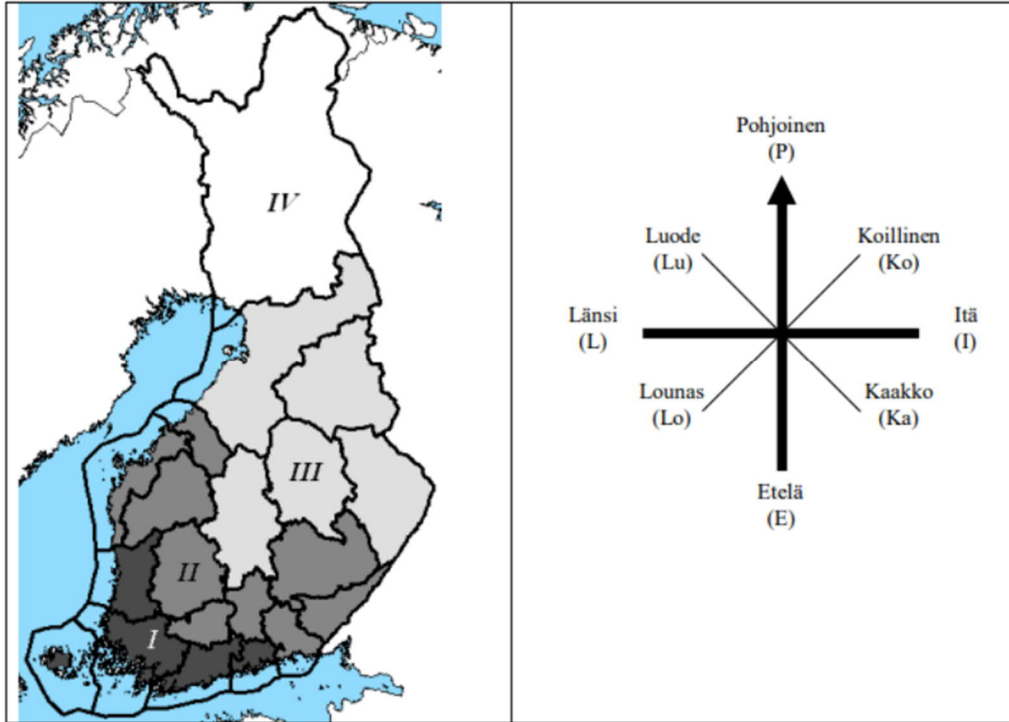
Laskennassa käytetään seuraavia lähtötietoja:

- rakennus on yksikerroksinen puutalo, lämmitettävä pinta-ala on 112 m²
- rakennus sijaitsee säävyöhykkeellä III
- alapohja on betonista, yläpohja on puusta
- rakennuksessa on ikkunoita 7 m² kaakkoon ja 9 m² etelään
- rakennuksessa on ovia 6,7 m²
- sisälämpötila on 21 °C
- ilmanvuotoluku on 2,5 m³/(h*m²)

Ulkoilman lämpötila määrittyy alueen säätietojen mukaan, jotka on esitelty taulukossa 3. Tutkimuskohde sijaitsee Ylivieskassa, joka sijoittuu vyöhykkeen 3 alueelle (kuva 9). Lasketaan ensin rakennuksen tilojen lämpöhäviöenergiat. (11.)

TAULUKKO 3. Ulkoilman keskimääräinen lämpötila Ylivieskan alueella (12)

Kuukausi	Ulkoilman keskimääräinen lämpötila T_u , °C
Tammikuu	-8
Helmikuu	-7,1
Maaliskuu	-3,53
Huhtikuu	2,42
Toukokuu	8,84
Kesäkuu	13,39
Heinäkuu	15,76
Elokuu	13,76
Syyskuu	9,18
Lokakuu	4,07
Marraskuu	-1,76
Joulukuu	-5,92



Kuva 1.1. Säävyöhykkeet.

Taulukko 1.1. Mitoitettavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.

Säävyöhyke	Mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C	Lämmityskauden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	+5	+1
II	-29	+4	0
III	-32	+2	-1
IV	-38	0	-5

KUVA 9. Säävyöhykkeet ja mitoitusulkolämpötilat (13)

Tässä vaiheessa lasketaan rakenteiden läpi johtuva lämpöenergia, johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt sekä vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia. Rakennusvaipan läpi johtuva lämpöenergia Q_{joht} laskeaan kaavan 1 avulla (11.)

KAAVA 1. Johtumislämpöhäviön rakennusvaipan läpi laskentakaava

$$Q_{joht} = Q_{ulkoseinä} + Q_{yläpohja} + Q_{alapohja} + Q_{ikkuna} + Q_{ovi} + Q_{vuotoilma} + Q_{kylmäsilto}$$

jossa

Q_{joht} = johtumislämpöhäviöt rakennusvaipan läpi, kWh

$Q_{ulkoseinä}$ = johtumislämpöhäviö ulkoseinien läpi, kWh

$Q_{yläpohja}$ = johtumislämpöhäviö yläpohjien läpi, kWh

$Q_{alapohja}$ = johtumislämpöhäviö alapohjien läpi, kWh

Q_{ikkuna} = johtumislämpöhäviö ikkunoiden läpi, kWh

Q_{ovi} = johtumislämpöhäviö ulko-ovien läpi, kWh

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman johtumislämpöhäviö, kWh

$Q_{kylmäsilillat}$ = kylmäsiltojen johtumislämpöhäviö, kWh

Ulkoilmaan rajoittuvien ulkoseinien, yläpohjien, alapohjien, ikkunoiden ja ovien lämpöhäviöt lasketaan rakennusosittain kaavalla Q_{rakosa} lasketaan kaavalla 2 (11).

KAAVA 2. Johtumislämpöhäviön rakennusosan läpi laskentakaava

$$Q_{rakosa} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 ,$$

jossa

Q_{rakosa} = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh

U_i = rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m² K)

A_i = rakennusosan i pinta-ala, m²

T_s = sisäilman lämpötila, °C

T_u = ulkoilman lämpötila (13), °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Rakennusosien välisten liitosten aiheuttamien kylmäsiltojen lämpöhäviöt lasketaan kaavan 3 mukaisesti (11).

KAAVA 3. Johtumislämpöhäviön kylmäsiltojen läpi laskentakaava

$$Q_{kylmäsilillat} = \sum l_k \psi_k (T_s - T_u) \Delta t / 1000 ,$$

jossa

$Q_{kylmäsillat}$ = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh

l_k = viivamaisen kylmäsillan pituus, m

ψ_k = viivamaisen kylmäsillan lisäkonduktanssi, W/(m K)

Maanvastaisten alapohjien kautta maahan johtuva energia lasketaan kaavan 4 mukaisesti käyttämällä kaavassa ulkoilman lämpötilan sijasta alapohjan alapuolisen maan lämpötilaa. Alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila lasketaan ulkoilman vuotuisesta keskilämpötilasta kaavalla. (11.)

KAAVA 4. Alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötilan laskentakaava

$$T_{maa,vuosi} = T_{u,vuosi} + \Delta T_{maa,vuosi} ,$$

jossa

$T_{maa,vuosi}$ = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C

$T_{u,vuosi}$ = ulkoilman vuotuinen keskilämpötila, °C

$\Delta T_{maa,vuosi}$ = alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero, °C

Maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona käytetään arvoa 5 °C. Maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan maan vuotuisesta keskilämpötilasta kaavan 5 avulla. (11.)

KAAVA 5. Alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötilan laskentakaava

$$T_{maa,kuukausi} = T_{maa,vuosi} + \Delta T_{maa,kuukausi} ,$$

jossa

$T_{maa,kuukausi}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila, °C

$T_{maa,vuosi}$ = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila, °C

$\Delta T_{maa,kuukausi}$ = alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (taulukko 4), °C.

Taulukon 4 arvoja voidaan käyttää kaikille säävyöhykkeille ja maalajeille.

TAULUKKO 4. Alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero (11)

Kuukausi	$\Delta T_{maa,kuukausi} \text{ } ^\circ\text{C}$
Tammikuu	0
Helmikuu	-1
Maaliskuu	-2
Huhtikuu	-3
Toukokuu	-3
Kesäkuu	-2
Heinäkuu	0
Elokuu	1
Syyskuu	2
Lokakuu	3
Marraskuu	3
Joulukuu	2

Tämän jälkeen lasketaan rakenteiden epätiiviyksien kautta tulevan vuotoilman lämpenemisen tarvitsema energia kaavalla 6 (11).

KAAVA 6. Vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarpeen laskentakaava

$$Q_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \text{ ,}$$

jossa

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve, kWh

ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

$q_{v,vuotoilma}$ = vuotoilmavirta, m³/s

Vuotoilmavirta lasketaan kaavan 7 mukaisesti (11).

KAAVA 7. Vuotoilmavirran laskentakaava

$$q_{v,vuotoilma} = \frac{q_{50}}{3600 x} A_{vaiippa} ,$$

jossa

$q_{v,vuotoilma}$ = vuotoilmavirta, m³/s

q_{50} = rakennusvaipan ilmanvuotoluku, m³/(h m²)

$A_{vaiippa}$ = rakennusvaipan pinta-ala (alapohja mukaan luettuna), m²

x = kerroin, joka on yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille 24, kolmi- ja nelikerroksisille 20 ja viisikerroksisille ja sitä korkeimmille rakennuksille 15 kerroskorkeuden ollessa noin 3 m. Vain maapinnan yläpuoliset kerrokset otetaan huomioon

3600 kerroin, joka muuttaa ilmavirran yksiköstä m³/h yksikköön m³/s

Omakotitalon energiantarpeiden Excel-laskelmat löytyvät liitteestä 1. Lämmitysenergian tarpeeksi tulee laskelmien mukaan yhteensä noin 13500,0 kWh/a.

Seuraavasti lasketaan lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve kaavalla 7 (12).

KAAVA 7. Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarpeen laskentakaava

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

jossa

$Q_{lkv,netto}$ = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve, kWh

ρ_v = veden tiheys, 1000 kg/m³

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/(kg K)

V_{lkv} = lämpimän käyttöveden kulutus, m³

T_{lkv} = lämpimän käyttöveden lämpötila, °C

T_{kv} = kylmän käyttöveden lämpötila, °C

3600 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi, s/h

Ellei perustelluista syistä ole tarvetta käyttää muita arvoja, käytetään lämpimän ja kylmän veden lämpötilaerona ($T_{lkv} - T_{kv}$) arvoa 50 °C. Kylmän veden lämpötilana käytettiin 5 °C ja lämpimän veden lämpötilana 55 °C. Lämpimän käyttöveden V_{lkv} määrä lasketaan käyttämällä kaavaa 8. (12.)

KAAVA 8. Lämpimän käyttöveden kulutuksen laskentakaava

$$V_{lkv} = V_{lkv,omin} A_{netto} \Delta t / 365 ,$$

jossa

$V_{lkv,omin}$ = lämpimän käyttöveden ominaiskulutus, m³/ m² vuodessa

A_{netto} = rakennuksen lämmitetty nettoalla

Δt = ajanjakson pituus, vuorokautta

365 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos vuosikulutuksesta vuorokausikulutukseksi, vuorokautta /a.

Käyttöveden määrän $V_{lkv,omin}$ oletusarvoa asuinrakennuksissa 0,6 m³/brm² vuodessa.

Nettotarve sisältää kulutetun lämpimän käyttöveden lämmittämisen kylmän veden lämpötilasta lämpimän veden lämpötilaan ilman mahdollista lämmityslaitteen, varaajan tai putkiston lämpöhäviöenergiaa (12). Excel-laskelmat löytyvät liitteestä 2. Lämpimän käyttöveden laskennalliseksi lämpöenergian tarpeeksi tulee 3920,0 kWh/a.

Silloin lämpöenergiankulutus vuodessa omakotitalolle ja uima-altaalle yhteensä on:

$$13500,0 \text{ kWh/a} + 3920,0 \text{ kWh/a} = 17420,0 \text{ kWh/a}$$

3.5.2 Uima-altaan energiantarve

Uima-allas on suunnitellun mukaisesti lämpöeristetty ja sen päälle on suunniteltu siirrettävä kate (katso lähtötiedot luku 2.2). Altaan veden tilavuus $V=15 \text{ m}^3$ ja sen pinta-ala on $10,0 \text{ m}^2$. Altaan lämmitysajaksi on suunniteltu 5 kuukautta (toukokuu-syyskyy) vuodesta, kun ulkoilman keskimääräinen lämpötila T_u ylittää +5 °C (taulukko 3). Uima-allasvettä lämmitetään 28 °C:seen asti.

Koska vettä haihtuu jatkuvasti ja lämpöä häviää esimerkiksi alapohjan ja betonin seinien lävitse, uima-altaan vesi tarvitsee jatkuvan lämmityksen pysyäkseen lämpimänä. Lämmönlähteenä voidaan käyttää ilmalämpöpumppua tai erillistä lämmönvaihdinta. Ennen lämmitysjärjestelmien valinta on tärkeää miettiä, kuinka paljon vuoden aikana allas on käytössä ja kuinka suuri lämmöntarve on. (14.)

Uima-altaan lämmitys on mahdollista liittää osaksi koko rakennuksen lämmitysjärjestelmää. Lämmitysjärjestelmän vesi ja altaan vesi eivät saa sekoittua toisiinsa, ja kierrot tulee erottaa toisistaan lämmitysvesiverkostoon lisättävällä lämmönsiirtimellä. Näin lämpöpumpulla, jolla katetaan koko rakennuksen lämmitysenergian tarvetta, voidaan myös lämmittää uima-allasta. (5.)

Lasketaan seuraavaksi altaasta, seinistä ja pohjasta johtuva lämpöhäviö kaavalla 9 (11). Lämmön johtumiseen vaikuttavat allasta ympäröivän maaperän lämpötila, rakenteiden lämmönläpäisykerroimet ja altaan mitat sekä allasveden lämpötila. Lämpötila-ero tulee allasveden ja altaan seinämien takana olevan maaperän keskilämpötilan lämpötilojen tai keskiulkoilmalämpötilan lämpötilojen erotuksena.

KAAVA 9. Johtumislämpöhäviön altaan seinien ja pohjan läpi laskentakaava

$$Q_{\text{joht,yp,ap,us}} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t / 1000 ,$$

jossa

$Q_{\text{joht,yp,ap,us}}$ = johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh

U_i = rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m² K)

A_i = rakennusosan i pinta-ala, m²

T_s = allasveden lämpötila, °C

T_u = maaperän vuotuinen keskilämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi.

Tässä vaiheessa laskelmiin käytettiin myös kaavoja 1, 3, 4 ja 5, tulokset esitetty liitteessä 3. Lämmitysenergian tarpeeksi altaalle tulee laskelmien mukaan yhteensä noin 4300,0 kWh/a.

Johtumislämpöteho lasketaan kaavan 10 mukaisesti käyttämällä kaava 5 (14; 15).

KAAVA 10. Haihtumisvirtauksen laskentakaava

$$\Phi_{joht} = \sum U_i A_i (T_s - T_u),$$

jossa

Φ_{haiht} = korvausveden lämmittämiseen tarvittava teho, W

U_i = rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m² K)

A_i = rakennusosan i pinta-ala, m²

T_s = allasveden lämpötila, °C

T_u = maaperän vuotuinen keskilämpötila (kaava 4.), °C

$$\Phi_{joht} = \sum U_i A_i (T_s - T_u) = 0,414 \frac{W}{m^2 K} * 29,5 m^2 * (28 \text{ } ^\circ C - 8,43 \text{ } ^\circ C) = 239 W$$

Tämän jälkeen lasketaan allasveden lämmittämiseen menevä energia. Allasvesi tarvitsee lämmönlähteen, jotta sen saa lämmitettyä haluttuun lämpötilaan. Allasvesisiirtimien mitoitukseen vaikuttaa eniten haihtuminen, mutta myös lämpöhäviöt putkistoissa sekä käytönaikaisen korvausveden määrä ja allasvedenlämmityksen tehontarve. Veden haihtuminen on yksi lämmitystehontarpeeseen vaikuttava tekijä. Veden haihtumista tulee yrittää hallita esimerkiksi altaan veden ja huoneen lämpötiloilla, mutta ulkoaltaissa haihtumista voidaan vähentää esimerkiksi peittämällä allas käytön ulkopuolella. Veden haihtumisvirtauksen lasketaan kaavalla 11. (14.)

KAAVA 11. Haihtumisvirtauksen laskentakaava

$$q_{mv} = A \frac{B_p}{RT} (p_v - p_i),$$

jossa

q_{mv} = haihtuvan veden massa virta, kg/h

A = uima-altaan pinta-ala, m²

B_p = kokemusperäinen haihtumiskerroin, m/h

R = esihöyryn kaasuvakio, 461,52J/kg K

T = ilman ja veden lämpötilojen keskiarvo 24 °C, K (0 °C = 273,15K)

$p_v =$ ilman vesihöyryn osapaine allasveden lämpötilassa, Pa (liite 4)

p_i tilan ilman vesihöyryn osapaine, Pa (liite 4)

Haihtumiskertoimia erilaisille altaille on esitetty taulukossa 5 (5; 14). Joten kaikki kaavan arvot ovat tiedossa, ne sijoitetaan kaavaan tuloksen laskemiseksi. Tulos kertoo haihtuvan veden määrän tunnissa:

$$q_{mv} = 10m^2 * \frac{21 \frac{m}{h}}{461,52 \frac{J}{kgK} * 293,15 K} * (3775 Pa - 1709 Pa) = 3,2 \frac{kg}{h} = 3,2 \frac{l}{h}$$

TAULUKKO 5. Kokemusperäinen haihtumiskerroin

Allastyyppi	Bp, m/h
peitetty	0,7
ei käyttäjä	7
yksityisallas	21
syvyys yli 1,35 m	28
syvyys alle 1,35 m	40
aaltoallas aaltokäytöllä	50
vesiliukumäki ja vesiliukumäen alastuloallas	50

Suurin osa veden lämmöstä lähtee haihtumisen mukana allasvedestä. Korvausveden lämmitykseen tarvittava teho saadaan kaavasta 12. (14; 15.)

KAAVA 12. Korvausveden lämmittämiseen tehon laskentakaava

$$\Phi_{haiht} = q_v c_p (T_a - T_k),$$

jossa

ϕ_{haiht} = korvausveden lämmittämiseen tarvittava teho, W

q_v = haihtuvan veden massavirta, l/s

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kg K)

T_a = allasveden lämpötila, °C

T_k = korvausveden lämpötila, °C

Kaikki kaavan arvot ovat tiedossa, ne sijoitetaan kaavaan tuloksen laskemiseksi

$$\phi_{haiht} = 0,00088 \frac{kg}{s} * 4180 \frac{J}{kgK} * (28 \text{ } ^\circ C - 5 \text{ } ^\circ C) = 85,6 \text{ W} \approx 86 \text{ W}$$

Kokonaistehon tarve saadaan laskemalla yhteen lasketut johtumis- ja haihtumislämpöhäviöt, eli näin määritelty käytön aikainen kokonaislämmitystehon tarve.

$$\phi_{yht} = \phi_{haiht} + \phi_{joht} = 239 \text{ W} + 86 \text{ W} = 325 \text{ W}$$

Uima-altaan lämmitys käyttölämpötilaan ei tapahdu yleensä hetkessä. Lämmönsiirtimen teho vaikuttaa halutun käyttölämpötilan saavuttamiseen kuluvaan aikaan. Tehokkaalla lämmönsiirtimellä haluttu käyttölämpötila saavutetaan nopeammin, mutta saattaa nostaa lämmityskustannuksia. Lämmönsiirtimen lisäksi haluttu lämpötila ja veden lähtölämpötilan ero vaikuttaa altaan lämmitykseen kuluvaan aikaan. Altaan lämmitykseen kuluva ajasta sovitaan yleensä tilaajan kanssa. Uima-alasveden lämmittämiseen tarvittava energia lasketaan kaavan 13 perustella. (14; 15.)

KAAVA 13. Uima-alasveden lämmittämiseen tarvittavan energian laskentakaava

$$Q = \frac{m c_p (T_a - T_k)}{3600 \frac{kJ}{kWh}},$$

jossa

Q = allasveden lämmittämiseen vaadittava teho, kWh

m = veden massa, kg

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/(kg K)

$T_s =$ allasveden lämpötila ennen lämmitystä, °C

$T_u =$ haluttu allasveden lämpötila, °C

Sijoitetaan kaikki kaavan arvot kaavaan tuloksen laskemiseksi

$$Q = \frac{15\,000\text{ kg} * 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (28\text{ °C} - 5\text{ °C})}{3600 \frac{\text{kJ}}{\text{kWh}}} = 400,5\text{ kWh}$$

Tämä tulos on se, kuinka paljon energiaa tarvitaan altaan veden lämmittämiseen kokonaisuudessaan oletuksena, ettei altaasta haihdu vettä samaan aikaan. Aiemmin allasveden lämmitys saatettiin ottaa käyttövedestä, mutta nykyisten määräysten mukaan lämpimän käyttöveden kiertojohdossa ei saa olla lämmönluovuttimia tai lattialämmitystä. (14.)

4 LÄMMITYSJÄRJESTELMIEN KOKONAISKUSTANNUSTEN VERTAILU

Tässä luvussa vertaillaan eri lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannuksia. Lämmitysjärjestelmien kustannukset muodostuvat rakentamisvaiheen investoinneista, vuotuisista energiakustannuksista ja kiinteistä perusmaksuista sekä huolto- ja korjauskustannuksista (16). Tarkastelujakson pituus on valittu 30 vuotta.

Kustannuksien laskennassa käytetään aiemmin laskettuja tässä opinnäytetyössä lämmitysenergian tuloksia (liitteet 1, 2, 3):

- 1) tutkimuskohde (omakotitalo + uima-allas) kuluttaa vuosittain energiaa noin 21 700 kWh
- 2) omakotitalon lämmityksen osuus vuosittain on noin 13 500 kWh
- 3) lämpimän käyttöveden osuus vuosittain on 3 920 kWh
- 4) altaan lämmityksen osuus vuosittain on noin 4 300 kWh

4.1 Investointikustannukset

Investoinnissa on muistettava, ettei halvin ole aina paras. Investointikustannusten hintahaarukat sisältävät koko lämmitysjärjestelmän kustannukset eli lämmöntuotto-, lämmönvarastointi- ja lämmönjakojärjestelmät. (16.)

Kaukolämpölaitteiston hinta on tyypillisesti pientaloissa 6 000–15 000 euroa. Tämä hinta sisältää laitteiston, suunnittelun ja asennuksen. Uusien laitteiden asennuksen jälkeen ne on testattava ja säädettävä niin, että ne toimivat optimaalisesti ja energiatehokkaasti.

Omakotitaloon maalämpöpaketti yleensä on kokonaiskustannuksiltaan noin 15 000–20 000 euroa riippuen kohteesta. Lämpöpumpun tehokkuutta kuvaa lämpökerroin (COP). Se kertoo kuinka paljon pumppu tuottaa lämpöä verrattuna sen käyttämään sähköenergiaan. Tyypillisesti maalämpöpumppujärjestelmän vuotuinen lämpökerroin on noin kolme. (16.)

Motivan mukaisesti pientalon ilma-vesilämpöpumpun (IVLP) hankintahinta on noin 10 000–15 000 euroa (16). Hankittava IVLP riippuu tehosta ja valmistajasta. Laadukkaan IVLP tunnistaa yleisesti pitkästä takuuajasta. Kun IVLP-järjestelmä on hankittu valmiiksi, asennuksen hinta on keskimäärin noin 1 200–5 000 €.

Lämpöpumppu toimii tehokkaasti yksinomaan lämpötila-alueella -5–+7 astetta. Tilanteessa kun ilman lämpötila on +7 astetta, järjestelmä tuottaa enemmän lämpöä kuin tarvitaan, ja kun lämpötila on alle -5-arvossa se ei riitä lämmitykseen. Järjestelmä voi teoriassa tuottaa lämpöä jopa 30 asteen pakkasessa, mutta se ei riitä lämmitykseen, koska lämmöntuotto riippuu suoraan kylmäaineen kiehumispisteen ja ilman lämpötilan välisestä erosta. Vaikeiden pakkasten aikana suositellaan samuttamaan lämpöpumppu sähkön tuhlaamisen välttämiseksi, koska tänä aikana sen hyötysuhde on enintään 10 %. Lämpöpumppujärjestelmää pystyy lämmittämään tehokkaasti koteja jopa 100 neliometriä, mutta lämmön toimittamiseen esim. autotalliin, kasvihuoneeseen tai pieneen yksityiseen uima-altaaseen käytetään yleensä lisälämmitystä. Eli, suositeltavaa on lisätä sähkökattila tai muut perinteiset lämmityskauden laitteet lämmitykselle. (10.)

Uima-altaan lämmittämisessä ohjesääntö on, että jokaista uima-allasveden kuutiota varten täytyy olla minimissään 300 W lämmittävää tehoa. Jos uima-allas on käytössä keväisin ja syksyisin, kuten tässä tapauksessa, kannattaa laskennassa käyttää 450 W työlukuna (17). Tutkimuskohteessa uima-altaan vesimäärä on 15 m³, silloin tulee tehoksi:

$$15 \text{ m}^3 * 450 \text{ W} = 6,75 \text{ kW}$$

Siis, voidaan valita altaan lämmitykselle erillisen IVLP teholla esim. n. 8 kW. Ilmalämpöpumppujen hinnat vaihtelevat 10 000–15 000 euroon, tehosta ja valmistajasta riippuen (16). Laadukkaan ilmalämpöpumpun tunnistaa yleisesti pitkästä takuuajasta. (8.)

Lämmitysjärjestelmää investoinnissa on järkevää vertailla eri lämmitystapoja ja pyytää tarjoukset useammalta laitevalmistajalta (16). Laitteistojen ja asennustöiden hinnat on saatu suoraan taalon.com -sivustolta ja muiden toimittajien nettisivuilta. Taulukossa 6 esitetyt hinnat sisältävät kaikki investointikustannukset (liite 5; taulukko 6).

TAULUKKO 6. Lämmitysjärjestelmien investointikustannukset

Investointikustannukset	
Lämmitysjärjestelmä	Kustannusarviot, € yhteensä
Kaukolämpö	6 850,00
Maalämpö	18 425,00
IVLP + sähkölämmitys	17 785,00
Erillinen IVLP	10 500,00

4.2 30 vuoden käyttökustannusten vertailu

Mitä suurempi talo, sitä enemmän se kuluttaa energiaa, jolloin on kannattavaa valita käyttökustannuksiltaan mahdollisimman edullinen lämmitysjärjestelmä. Tässä luvussa vertaillaan käyttökustannusten hintoja, laskenta-ajaksi käytetään 30 vuotta. Ensin pitää selvittää ja laskea vuosittaisia energiakustannuksia. Vuotuiset energiakustannukset koostuvat: 1) tilojen ja lämpimän käyttöveden lämmityskustannuksista, 2) huoneistosähkön kulutuksesta, 3) kiinteistösähkön kulutuksesta (esim. ilmanvaihtolaitteet, pumput), 4) huolto- ja korjauskustannuksista. (16.)

Vertailussa sähkön hintana käytetään 0,14 €/kWh, se on nykyään keskimäärin sähköhintaa Ylivieskan alueella (18). Hintaan sisältyy myös sähkön siirtohintaa.

Kaukolämmön keskihintana käytettiin verollista keskihintaa 70,20 €/MWh. Lisäksi kaukolämpöön on lisätty perusmaksu, joka omakotitalon osalta keskimääräisesti on 344,60 euroa/vuosi (19). Laskennassa ei otettu huomioon sähkön hinnannousuja, koska tulevaisuuden energian hintakehityksen tarkka ennustaminen on aika vaikeaa ja mahdotonta. Lämmönvaihtimen käyttökustannus on riippuvainen siitä, millä tekniikalla primääripuolen lämpöä tuotetaan. Kaukolämpö on aina aluekohtainen.

Maalämmön sähkönkulutus riippuu talon koosta, lämmitystarpeesta ja maalämpöpumpun tehokkuudesta. Maalämmön hyötysuhde on yleensä 1:3, esimerkiksi jos normaalisti kulutetaan n.21 000 kWh vuodessa lämmitykseen, maalämmön avulla kulutus voi pudota vain 7 000 kWh:n.

Ilmavesilämpöpumppu kesällä viillennyskäytössä kuluttaa alle 400 kWh. Talvella sähkönkulutus puolestaan voi vaihdella ilman lämpötilan laskiessa. Vuosittain ilmalämpöpumppu laskee sähkönkulutusta tyypillisesti noin 3 000–8 000 kWh. Esimerkiksi 9 kW lämmittimellä 20 m² altaan lämmitys 5-asteisesta vedestä 25 asteiseksi ulkolämpötilan ollessa +5 °C maksaa noin 25 euroa (0,2 eur/kWh). Kesällä lämmitteessä, käyttökustannukset kuukausitasolla liikkuvat 5–15 eurossa, altaan koosta ja varustelusta riippuen (8). Laskettuja vuosittaisia energiakustannuksia on esitetty taulukossa 7 (liite 6).

TAULUKKO 7. Vuosittaiset energiakustannukset

Energiakustannukset, vuosi	
Lämmitysjärjestelmä	Kustannusarvot, € yhteensä
Uima-altaan ja talon lämmitys yhteisellä järjestelmällä	
Kaukolämpö	1 867,00
Maalämpö	1 050,00
IVLP + sähkölämmitys	1 750,00
Talon ja uima-altaan lämmitys erikseen	
Kaukolämpö + erillinen IVLP	1 846,00
Maalämpö + erillinen IVLP	1 190,00
IVLP + sähkö sekä erillinen IVLP	1 540,00

Käyttökustannukset vaihtelevat energian hinnan sekä mahdollisten perusmaksujen ja huoltokustannusten mukaisesti. Oman työn, kuten puunhankinnan, arvottaminen vaihtelee henkilön omien arvostusten ja elämäntilanteen mukaan. (16.)

Lämmönjakokeskus ei tarvitse erikseen huoltaa ja kaukolämpölaitteiston tekninen käyttöikä on noin 20–25 vuotta. Tällä ajanjaksolla laitteisto kuluu ja lämmityskustannukset alkavat nousta sekä laitteiston rikkoutumisen riski kasvaa. Kun laitteisto lähenee jo 20 vuoden ikää, ja siihen tulee vika, on yleensä järkevämpi vaihtaa laite kokonaan uuteen korjaamisen sijaan. Käyttäjän kannalta kaukolämpö on hyvin helppo ja vaivaton, sillä se ei vaadi asukkaalta juurikaan huoltoa tai ylläpitoa. Laitteiston ja sen osien kunto on kuitenkin syytä tarkistaa säännöllisesti, sillä niiden huolto tai vaihtaminen voi tulla ajankohtaiseksi ennen teknisen käyttöiän täyttymistä. (16.)

Kun maalämpöjärjestelmä alusta asti on oikein asennettu, optimoitu ja huollettu, sen jälkeen se toimii yleensä noin 20–30 vuotta. Maalämpöpumpun kuluvat osat ovat kompressori, kolmitieventtiili ja kiertovesipumppuja. Nämä osat on oltava vaihtaa uusiksi, kun laitteisto kuluu tai siihen tulee jotain vikaa. Kompressori on maalämpöpumpun tärkein komponentti ja sen tekninen käyttöikä on yleensä noin 15–20 vuotta. Kompressorin vaihdon kustannukset ovat noin 2 000–3 000 euroa. Yleensä maalämpöpumppu on käyttäjän kannalta erittäin vaivaton lämmitysratkaisu, mutta lämmityslaitteiston säännöllinen tarkastus on kuitenkin suositeltavaa. Maalämmön kuukausikustannuksiin vaikuttaa esimerkiksi omakotitalon asukasluku sekä lämmitettävä huoneiston pinta-ala.

Normaalisti IVLP vaatii huoltoa noin neljän vuoden välein, sen huoltoon kuuluu: sisäyksikön suodattimien puhdistus ja laitteiston tarkistus laakereiden ja kompressorin osalta ja kylmäaineen määrän tarkistus vuotojen varalta. Uuden IVLP:n käyttöikä on noin 10–15 vuotta. Sen jälkeen on fiksumpaa uusia se. Ilmavesilämpöpumpun huoltaminen maksaa keskimäärin noin 150–350 €. Kaikki 30 vuoden käyttökustannukset on esitetty taulukossa 8 (liite 7).

Uima-altaan lämmittämisessä on hyvä huomioida, että käyttökustannuksiin vaikuttaa moni tekijä. Siihen vaikuttavat esimerkiksi, miten allas on eristetty, käytetäänkö uima-altaassa suojaa (lämpöpeitettä, polykarbonaattikatetta tai vastaavaa), mikä on vallitseva lämpötila ulkona ja niin edelleen. Yleisesti kuitenkin voidaan todeta lämmittämisellä olevan taloudellista vaikutusta keväisin, kun alasta aletaan lämmittämään haluttuun lämpötilaan. (8.)

TAULUKKO 8. 30 vuoden käyttökustannukset

30 vuoden käyttökustannukset, käyttöaika 30 vuotta	
Lämmitysjärjestelmä	Kustannusarviot, € yhteensä
Uima-altaan ja talon lämmitys yhteisellä järjestelmällä	
Kaukolämpö	64 390,00
Maalämpö	38 000,00
IVLP + sähkölämmitys	65 975,00
Talon ja uima-altaan lämmitys erikseen	
Kaukolämpö + erillinen IVLP	75 130,00
Maalämpö + erillinen IVLP	53 600,00
IVLP + sähkö sekä erillinen IVLP	71 075,00

4.3 Hiilijalanjälkilaskenta

Hiilijalanjäljellä tarkoitetaan kasvihuonekaasupäästöjä, joita syntyy tuotteen, toiminnan tai palvelun takia. Hiilijalanjäljen laskentatulokset on arvio, jonka ideana on kertoa suuruusluokista ja havainnoida mistä osa-alueista hiilijalanjälki muodostuu. (20.)

Lämmityksen päästöt ovat iso asia Suomessa. Kylmän ilmaston takia lämmitys kattaa 25 % energiankulutuksesta. Suomen kasvihuonekaasupäästöistä koko energiasektorin osuus on 75 % (20). Rakennusten hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa suuri merkitys on sillä, millä rakennuksissa tarvittava lämpö tuotetaan. Elinkaaren hiilijalanjälkeen vaikuttaa minkäkokoinen rakennus on kyseessä, millä lämmityksellä tuodaan lämpöä ja kuinka suuri lämpimän käyttöveden kulutus on. (21.)

Uusissa pientaloissa lämpöpumput ovat viime vuosina kasvattaneet suosiotaan merkittävästi, ja niiden rinnalla perinteisemmät sähkö- ja kaukolämmitys ovat pyrkineet säilyttämään paikkansa. Näiden kaikkien järjestelmien hiilijalanjälkeen vaikuttaa merkittävästi vuosittainen ostoenergian tarve sekä energian toimittajan käyttämät polttoaineet energiantuotannossa. (21.)

Lämmityksen hiilijalanjäljen laskemiseen käytetään keskimääräisiä päästöjenkertoimia koko Suomen tasolla (21). Lisäksi laskelmaa varten tarvitsee selvittää seuraavia parametreja:

- tilan pinta-ala, 112 m²
- energian vuosikulutus, 21700 kWh
- energiayhtiön ominaispäästöt, otetaan laskelmaan kaukolämmön ominaishiilidioksidipäästöjen liukuvat keskiarvot 5 vuoden aikana (2017–2021 vv.) - 172 gCO₂/kWh (22)
- sähkön päästökerroin otetaan liukuvat keskiarvot 5 vuoden aikana (2017–2021 vv.), arvo on 89 gCO₂/kWh (22)
- tarkastelujakson pituus on 30 vuotta

Kaukolämmön ympäristövaikutukset määräytyvät sen mukaan, millä tavalla se on tuotettu. Kaukolämmön polttoaineena voi olla esimerkiksi maakaasu, kivihiili, turve, öljy, puu ja metsähakkuiden jätteet, biokaasu sekä teollisuudesta ylijäävä lämpö. Kaukolämmön tuotannossa tulevien vuosien tavoitteena on pienentää merkittävästi hiilidioksidipäästöjä polttoainevalinnoilla ja uusilla teknisillä ratkaisuilla. (16.)

Maalämpö luokitellaan uusiutuvaksi energiaksi. Lämpöpumput tarvitsevat kuitenkin sähköä toimiakseen. Jos maalämpöpumpun vuotuinen lämpökerroin on 3, voidaan karkeasti olettaa, että maalämpöpumpulla tuotetun lämmön päästökerroin on kolmasosa lämmitykseen käytetyn sähkön päästökertoimesta. Ilma-vesilämpöpumpulla on pienempi lämpökerroin kuin maalämpöpumpulla. Jos vuosilämpökerroin on 2, silloin 20 000 kWh vuodessa lämmitysenergiaa kuluttava talo aiheuttaa vuodessa noin 0,9 tonnin hiilidioksidipäästöt. (16.)

Hiilidioksidipäästöjen tulokset on esitetty liitteessä 8. Hiilijalanjäljen laskemisessa lisätty päästöihin vielä 20 % polttoaineen toimitusketjun aiheuttamia päästöjä. (20.)

Eli 30 vuoden tarkastelujaksolla kaukolämmöllä toteutetun lämmityksen CO₂-päästöt ovat 133 tonnia CO₂:a. Maalämpöpumppu- ja ILVP:lla 30 vuoden CO₂-päästöt ovat 23 ja 35 tonnia CO₂:a vastaavasti.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että pelkästään hiilijalanjäljen näkökulmasta tarkasteltuna maalämpö- ja ilma-vesilämpöpumput ovat tehokkain ratkaisu pientalon lämmityksen hiilijalanjäljen pienentämiseksi. Syynä tähän on lämpöpumppujen hyvä lämpökerroin, jonka vuoksi ostoenergian tarve pienenee merkittävästi. Karkeasti voidaan sanoa, että vuositasolla lämpöpumppu tuottaa 2/3 ilmaisenergiaa joko ilmasta, maapiiristä tai porakaivosta. Lämmöntuoton hiilijalanjälkeen vaikuttaa

tässä tapauksessa eniten sähköntuoton ominaishiilidioksidipäästöt. Taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna lämpöpumput soveltuvat parhaiten suuriin paljon energiaa kuluttaviin pientaloihin, sillä niiden investointikustannukset ovat suuret (21.)

Päästöjen pienentämiseksi tulisi keskittyä taloteknisen järjestelmän energiatehokkuuteen ja pitkäikäisyyteen. Nykyisen rakennuskannan hiilijalanjälkeen pystytään parhaiten vaikuttamaan energiatehokkuuden parantamisella. Kuvasta 10 nähdään keinoja energiatehokkuuden parantamiseen. (23.)

Keinoja rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen [154]

- Talon ulkovaipan lämpöhäviötä pienennetään (ulkoseinät, katto, lattia, ikkunat ja ovet).
- Ilmanvaihdon hallintaa parannetaan ja tehostetaan poistoilman lämmön talteenottoa (terveellinen sisäilma).
- Lämmityksen ja ilmanvaihdon tarpeenmukainen käyttö ja ohjaus varmistetaan.
- Sisäisiä ja ulkoisia lämpökuormia (ilmaisen energiaa) hyödynnetään tehokkaasti lämmityksessä ja viilennyksessä.
- Termistä massaa, ulkoilmaa ja maan kylmyyttä hyödynnetään viilennyksessä.
- Rakennusautomaatiota hyödynnetään tehokkaasti.
- Vedenkulutusta hallitaan.
- Energiatehokkaita sähkölaitteita otetaan käyttöön.
- Rakennetaan huolellisesti (talon ulkovaipasta tulee tuulenpitävä ja kylmäsillaton).
- Kaikessa tekniikassa pyritään yksinkertaistamiseen: talon osien vähentäminen ja toistuvien ratkaisujen käyttäminen.
- Talotekniikan toiminnot hajautetaan; sillä varmistetaan toimintaedellytykset muuttuvissa olosuhteissa.
- Yhteistyö on entistäkin tärkeämpää rakennuttajien, suunnittelijoiden ja hankkeen muiden osapuolien välillä jo suunnittelun alkuvaiheessa, jolloin tehdään energiatehokkuusratkaisut.
- Varaudutaan muun muassa talotekniikan uusimiseen entistä energiatehokkaammaksi tulevaisuudessa.

KUVA 10. Keinoja rakennuksen energiatehokkuuden parantamiseen (23)

4.4 Kokonaishintojen vertailut

Lämmitysjärjestelmien kokonaiskustannusten laskeminen on vaikeaa. Useimmat pientalorakentajat pohtivat lämmitysjärjestelmän valintaa erityisesti taloudellisesta näkökulmasta. Entistä useammat ottavat huomioon myös vaikutukset ympäristöön (16). Taulukosta 9 ja liitteestä 9 löytyy kokonaiskustannusten hintojen vertailu.

TAULUKKO 9. Kokonaiskustannukset

Kokonaiskustannukset	
Lämmitysjärjestelmä	Kustannusarviot, € yhteensä
Uima-altaan ja talon lämmitys yhteisellä järjestelmällä	
Kaukolämpö	71 240,00
Maalämpö	56 425,00
IVLP + sähkölämmitys	83 850,00
Talon ja uima-altaan lämmitys erikseen	
Kaukolämpö + erillinen IVLP	81 980,00
Maalämpö + erillinen IVLP	72 025,00
IVLP + sähkö sekä erillinen IVLP	88 950,00

Halvimmaksi lämmitysjärjestelmäksi saadaan maalämpö, taulukosta 9 näkyy maalämmön ylivoimainen edullisuus kummallekin vaihtoehdolle. Vaikka maalämmön investointikustannukset ovat suurimmat, edulliset käyttökustannukset nostavat maalämmön selvästi edullisimmaksi lämmitysjärjestelmäksi. Kallein lämmitysjärjestelmäyhdistelmän puolestaan on IVLP + sähkölämmitys.

4.5 Valinta

Mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittava lämmitysjärjestelmä on tulevaisuuden kannalta turvallinen valinta. Uuden lämmitysjärjestelmän valinnassa vaikuttavat pääasiassa kustannukset, helppokäyttöisyys ja luotettavuus. Valinta kohdistui tässä tapauksessa maalämpöön, erityisesti taloudellisesta näkökulmasta. Maalämpö on tehokas, koska se siirtää lämpöä eikä tuota sitä suoraan. Tämän ansiosta se voi olla jopa 3–4 kertaa tehokkaampi kuin perinteiset lämmitysjärjestelmät. Maalämmölle muodostui vertailussa olleista lämmitysjärjestelmistä myös halvin kokonaiskustannus 30 vuoden laskenta-ajalla. Lämmityksen hiilijalanjäljen laskemisen perusteella maalämmön lämmitysmuoto on todella ympäristöystävällinen.

5 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä vertailu usein käytettävistä lämmitysjärjestelmistä omakotitalolle, jolle on suunniteltu pihalle uima-allas. Tavoitteena oli löytää halvin lämmitysjärjestelmä sekä saada selville myös kalliimpien lämmitysjärjestelmien hinnat. Vertailtiin kokonaiskustannuksia ja sitä kautta valittiin sopivin ja edullisin lämmitysjärjestelmä.

Tässä opinnäytetyössä laskettiin lämmityksen hiilijalanjälki, ja saatiin hyvä katsaus, miten voi vaikuttaa ratkaisevasti talon elinkaaren aikaisiin energiakustannuksiin ja -kulutukseen ja siten myös ympäristöön.

Uudeksi lämmitysjärjestelmäksi valittiin maalämpö. Laskennan perusteella maalämpö on selvästi järkevin vaihtoehto omakotitalon lämmitysjärjestelmäksi. Jos lämmitetään maalämmöllä talo ja uima-allas, 30 vuoden kokonaiskustannukseksi saatiin noin 56 400 euroa. Mikäli uima-altaan lämmitys tapahtuu erillisellä IVLP-lla ja maalämmöllä, silloin kokonaiskustannukseksi saatiin noin 72 000 euroa. Tästä vertailusta saatiin hyvää tietoa, minkälaisia järjestelmiä kannattaa harkita, mikäli ollaan uusimassa tai vaihtamassa lämmitysjärjestelmää myös muihin vastaaviin pientalokohteisiin.

Omakotitalon rakentajien suosiossa olevalle maalämmölle on siis selkeä taloudellinen syy. Sähkön hinnan noustessa maalämmöstä tulee entistä edullisempi verrattaessa sähkölämmitykseen. On kuitenkin muistettava, että maalämmön investointikustannukset voivat vaihdella paljonkin tontin sijainnista riippuen.

Nykypäivänä energian säästäminen on myös ympäristön kannalta tärkeää. Monilla sähkö- ja kaukolämpöyhtiöillä on valittavana "vihreä vaihtoehto" eli uusiutuvilla energianlähteillä valmistettua sähköä tai lämpöä. Hankkimalla lämpöpumppu on mahdollista vähentää edelleen energiankulutusta, mikä taas tukee ympäristöä.

Uima-altaan lämmittäminen lämpöpumpun avulla on harkitsemisen arvoinen vaihtoehto. Vaihtoehtoisia ratkaisuja löytyy niin uusille rakennettaville altaille kuin vanhojen altaiden remontoitiin. Lämpöpumpulla voidaan lämmittää koko kiinteistöä tai vain uima-allasta.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä opittiin monia uusia asioita uima-altaiden lämmityksestä sekä lämmitysjärjestelmien mitoituksesta ja energianlaskennasta. Lisäksi opittiin paljon lämpöpumppujen kytkennöistä ja käytöstä lämmönlähteenä.

LÄHTEET

1. Kreivitalo. Talomallit. Hakupäivä 7.11.2023. <https://www.kreivitalo.fi/talomallit/nordland/nordland-112>.
2. Block uima-altaat. Nordicpool Systems. Hakupäivä 10.11.2023. <https://www.poolsystems.fi/uima-altaat/block-uima-altaat/c/2004/>.
3. Uima-altaan katteet. Nordicpool Systems. Hakupäivä 17.11.2023. <https://www.poolsystems.fi/uima-altaan-kate-thermo-6-30-x-3-30-polykarbonaattikate/p/20501001/>.
4. Lämpöä kotiin keskitetysti – Kaukolämpö. 2021. Motiva. Hakupäivä 19.11.2023. https://www.motiva.fi/ajankohtaista/julkaisut/lammitysjarjestelmat/lampoa_kotiin_keskitetysti_kaukolampo.10752.shtml.
5. Paattakainen, Markus 2022. Uima-altaan lämmitys lämpöpumpulla. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Insinööriyö. Hakupäivä 8.12.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/752049/Paattakainen_Markus.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
6. Maalämpö. 2015. Motiva. Hakupäivä 11.12.2023. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitysmuodot/maalampopumppu.
7. Toppinen, Joni 2016. Lämmitysjärjestelmien vertailu pientalossa. Oulun ammattikorkeakoulu. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Hakupäivä 20.12.2023. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/110230/Toppinen_Joni.pdf.
8. Uima-altaan lämmittäminen. Nordicpool Systems. Hakupäivä 27.12.2023. <https://www.poolsystems.fi/i/uima-altaan-lammittaminen/48/>.
9. Ilma-vesilämpöpumppu. 2015. Motiva. Hakupäivä 28.12.2023. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta.
10. Fedorenko, Nikolay 2019. Altaan lämpöpumppu: valintaperusteet ja asennussäännöt. Hakupäivä 3.1.2024. <https://engineers.decorexpro.com/fi/vodosnab/bas-fontan/teplovoj-nasodlya-bassejna.html>.
11. Ympäristöministeriö 2018. Energiatasehokkuus - rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystekohontan laskenta. Ohjeet 2018. Suomenrakentamiskokoelma. Hakupäivä 3.1.2024. <https://ym.fi/documents/1410903/0/Ohje+++Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+l%C3%A4mmitystekohontan+laskenta+20-12-2017.pdf/3efb5c34-e921-592e-3d54->

- [aaf9ecc1b62e/Ohje++Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf?t=1647934666563](https://www.motiva.fi/files/4970/Ohje++Rakennuksen+energiankulutuksen+ja+%C3%A4mmitystehontarpeen+laskenta+20-12-2017.pdf?t=1647934666563).
12. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi. 2022. Motiva. Hakupäivä 7.1.2024. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi.
 13. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta. Suomen säädöskokoelma 1009/2017. Hakupäivä 7.1.2024. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171009>.
 14. Rosin, Samuel 2022. Suunnitteluohje kerrostalojen uima-allasosastojen suunnitteluun. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Talotekniikan tutkinto-ohjelma. Insinöörityö. Hakupäivä 9.1.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/696124/Rosin_Samuel.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
 15. Uimahallien LVIA-suunnittelu. RT 103233. Rakennustieto Oy
 16. Pientalon lämmitysjärjestelmät. 2021. Motiva. Hakupäivä 10.1.2024. <https://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>.
 17. Uima-allas UKK. Nordicpool Systems. Hakupäivä 10.1.2024. <https://www.poolsystems.fi/i/uima-allas-ukk/62/>.
 18. Vaasan sähkö. Hakupäivä 3.1.2024. <https://www.vaasansahko.fi/sahkosopimus/pohjois-pohjanmaa/ylivieska/>.
 19. Kaukolämpö Pietarsaaressa ja Ylivieskassa. Hinnat ja ehdot. Kaukolämpötariffit 12.1.2024. Hakupäivä 30.1.2024. <https://www.herrfors.fi/fi/kaukolaempoeae-herrforsilta/hinnat-ja-ehdot/>.
 20. Miten lämmityksen hiilijalanjälki lasketaan? 2020. Ekoblogi. Hakupäivä 14.1.2024. <https://ihmehelsinki.fi/ekoblogi/miten-lammituksen-hiilijalanjalki-lasketaan/>.
 21. Lindgren, Sanna 2019. Pientalon lämmityksen hiilijalanjälki. Blogi. Hakupäivä 14.1.2024. <https://tulevaisuudenrakentaminen.samk.fi/2019/05/31/pientalon-lammituksen-hiilijalanjalki/>.
 22. Tilastokeskus. Energia ja päästöt. Helsinki. Hakupäivä 17.1.2024. https://pxho-pea2.stat.fi/sahkoiset_julkaisut/energia2022/html/suom0011.htm.
 23. Polojärvi, Joel 2022. Talotekniikan järjestelmien päästövaikutukset ja niiden vähentäminen. Karelia-ammattikorkeakoulu. Hakupäivä 21.1.2024. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/785079/C99_Talotekniikan_p%C3%A4st%C3%A4st%C3%B6vaikutukset.pdf?sequence=2.

LIITTEET

Liite 1 Rakennuksen lämmitysenergian tarpeen laskelmat

Liite 2 Rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmitysenergian laskelmat

Liite 3 Uima-altaan lämmitysenergian tarpeen laskelmat

Liite 4 Vesihöyryn kylläisyyspitoisuuksia ja -osapaineita eri lämpötiloissa

Liite 5 Lämmitysjärjestelmien investointikustannukset

Liite 6 Vuotuiset energiakustannukset

Liite 7 30 vuoden käyttökustannukset

Liite 8 Lämmityksen hiilijalanjäljen laskeminen

Liite 9 Kokonaiskustannukset

Talorakennus sijaitsee säävyöhykkeellä III											
Lämmitysenergian tarve koko vuodelle											
Kerrokset:		1-kerroksinen									
Kerrosala yhteensä:		126	m ²								
Lämmitettävä pinta-ala:		112	m ²								
Huonekorkeus:		2,5	m								
Lämmitettävä tilavuus:		280	m ³								
Rakenteet											
	U (W/M2k)	A (m ²)	H(W/K)								
Ulkoseinät	0,29	108,5	31,5								
Yläpohja	0,08	112,0	9,0								
Ikkunat	1	16,0	16,0								
ovi	0,95	6,7	6,3								
Yhteensä			62,8								
Alapohja	0,1	112,0	11,2								
Kylmäsiilat											
	pituus(m)	rroin(W/mK)	H(W/K)								
US_YP	43,4	0,04	1,736								
US_AP	43,4	0,1	4,34								
US_nurkat	10	0,04	0,4								
Ik_ovi_liito	45,4	0,04	1,8152								
yhteensä			8,2912								
III säävyöhyke											
Kuukausi	T _u	d	h	Δt _{maa,kk}	t _{maa,kk}	Q _{joht_us_yp_ik_ovi}	Q _{joht_ap}	Q _{kylmäsilta}	Q _{vuotoilma}	Q _{joht}	
Tammikuu	-8	31	744	0	8,43	1354,83	104,74	178,89	182,49	1820,95	
Helmikuu	-7,1	28	672	-1	7,43	1185,74	102,13	156,56	159,71	1604,15	
Maaliskuu	-3,53	31	744	-2	6,43	1146,00	121,41	151,32	154,36	1573,08	
Huhtikuu	2,42	30	720	-3	5,43	840,02	125,56	110,92	113,15	1189,64	
Toukokuu	8,84	31	744	-3	5,43	568,09	129,74	75,01	76,52	849,37	
Kesäkuu	13,39	30	720	-2	6,43	344,06	117,49	45,43	46,34	553,32	
Heinäkuu	15,76	31	744	0	8,43	244,80	104,74	32,32	32,97	414,84	
Elokuu	13,76	31	744	1	9,43	338,24	96,41	44,66	45,56	524,87	
Syyskuu	9,18	30	720	2	10,43	534,40	85,24	70,56	71,98	762,17	
Lokakuu	4,07	31	744	3	11,43	790,94	79,75	104,44	106,54	1081,65	
Marraskuu	-1,76	30	720	3	11,43	1029,00	77,17	135,87	138,60	1380,65	
Joulukuu	-5,92	31	744	2	10,43	1257,65	88,08	166,06	169,40	1681,19	
										13435,89 kWh	

Lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarpeen laskenta		
Omakotitalo		
$V_{lkv,omin}$	0,6	$m^3/m^2/a$
A_{netto}	112	m^2
$\Delta t_{koko\ vuosi}$	365	vrk
V_{lkv}	67,2	m^3/a
ρ_v	1000	kg/m^3
c_{pv}	4,2	$kJ/(kg\ K)$
T_{lkv}	55	$^{\circ}C$
T_{kv}	5	$^{\circ}C$
$Q_{LKV,netto}$	3920,0	kWh/a

VESIHÖYRYN KYLLÄISYYSPITOISUUKSIA JA -OSAPAINEITA ERI LÄMPÖTILOISSA LIITE 4

t [°C]	v _k [g/m ³]	P _k [Pa]	t [°C]	v _k [g/m ³]	P _k [Pa]	t [°C]	v _k [g/m ³]	P _k [Pa]
-20	0,88	102	14	12,10	1603	48	75,67	11213
-19	0,95	112	15	12,86	1709	49	79,33	11792
-18	1,04	122	16	13,65	1821	50	83,14	12396
-17	1,14	135	17	14,49	1940	51	87,10	13026
-16	1,25	149	18	15,37	2065	52	91,21	13683
-15	1,38	164	19	16,30	2198	53	95,48	14368
-14	1,52	182	20	17,28	2338	54	99,92	15082
-13	1,67	200	21	18,31	2486	55	104,52	15825
-12	1,83	221	22	19,40	2642	56	109,30	16599
-11	2,01	243	23	20,54	2806	57	114,25	17405
-10	2,20	267	24	21,74	2980	58	119,39	18242
-9	2,40	292	25	23,00	3164	59	124,72	19114
-8	2,61	319	26	24,32	3357	60	130,24	20019
-7	2,84	348	27	25,71	3561	61	135,95	20960
-6	3,08	379	28	27,17	3775	62	141,87	21938
-5	3,33	412	29	28,70	4001	63	147,99	22953
-4	3,60	448	30	30,31	4239	64	154,33	24007
-3	3,89	485	31	31,99	4489	65	160,88	25101
-2	4,19	525	32	33,75	4753	66	167,66	26236
-1	4,51	567	33	35,60	5029	67	174,67	27413
0	4,85	611	34	37,54	5320	68	181,90	28633
1	5,21	659	35	39,56	5625	69	189,38	29898
2	5,58	709	36	41,68	5945	70	197,11	31208
3	5,98	762	37	43,90	6282	71	205,08	32565
4	6,40	818	38	46,21	6634	72	213,31	33970
5	6,84	878	39	48,63	7004	73	221,80	35425
6	7,31	942	40	51,16	7391	74	230,56	36931
7	7,80	1009	41	53,79	7797	75	239,60	38488
8	8,32	1080	42	56,54	8222	76	248,91	40099
9	8,87	1155	43	59,41	8667	77	258,51	41765
10	9,45	1235	44	62,40	9132	78	268,40	43487
11	10,06	1319	45	65,52	9618	79	278,59	45266
12	10,71	1409	46	68,77	10127	80	289,08	47104
13	11,39	1503	47	72,15	10658			

Lämmitysjärjestelmien investointikustannukset			
Kokonaislämmitystarve	21700	kWh/a	
Talon lämmitysenergiatarve	13500	kWh/a	
Käyttöveden lämpöenergiatarve	3920	kWh/a	
Altaan lämmitysenergiatarve	4300	kWh/a	
Lämmitysjärjestelmä	Laitteisto	Asennustyöt	Yhteensä
Kaukolämpö			
(esim. kaukolämpökeskus JÄSPI)	4 850,00 €	2 000,00 €	6 850,00 €
Maalämpö			
(esim. NIBE F1245 12kW)	12 925,00 €	5 500,00 €	18 425,00 €
Ilmavesilämpöpumppu			
(esim. NIBE SPLIT BOX 12 S)	9 375,00 €	3 000,00 €	12 375,00 €
Sähkökattila 4,5 kW	4 000,00 €	1 500,00 €	5 500,00 €
Yhteensä			17 875,00 €
Erillinen IVLP uima-altaalle			
(esim. NIBE SPLIT BOX 6 S)	8 000,00 €	2 500,00 €	10 500,00 €

Vuosittaiset energiakustannukset			
Kokonaislämmitystarve	21700	kWh/a	
Talon lämmitysenergiatarve	13500	kWh/a	
Käyttöveden lämpöenergiata	3900	kWh/a	
Altaan lämmitysenergiatarve	4300	kWh/a	
Lämmitysjärjestelmä	Hinnat	Uima-altaan ja talon lämmitys	Uima-altaan ja talon lämmitys
		ERIKSEEN	YHTEISELLÄ JÄRJESTELMÄLLÄ
Kaukolämpö		Käyttämä energia, kWh	Käyttämä energia, kWh
kaukolämmön hinta	70,20 €	17400	21700
perusmaksu	344,60 €		
yhteensä, euro		1 566,08 €	1 867,94 €
Erillinen IVLP uima-altaalle	(COP 2)	Käyttämä energia, kWh	
sähkön hinta	0,14 €	2000	
yhteensä, euro		280,00 €	
YHTEENSÄ, EURO	VUOSI	1 846,08 €	1 867,94 €
Maalämpö	(COP 3)	Käyttämä energia, kWh	Käyttämä energia, kWh
sähkön hinta	0,14 €	6500	7500
yhteensä, euro		910,00 €	1 050,00 €
Erillinen IVLP uima-altaalle	(COP 2)	Käyttämä energia, kWh	
sähkön hinta	0,14 €	2000	
yhteensä, euro		280,00 €	
YHTEENSÄ, EURO	VUOSI	1 190,00 €	1 050,00 €
IVLP + Sähkökattila	(COP 2,4)	Käyttämä energia, kWh	Käyttämä energia, kWh
sähkön hinta	0,14 €	9000	12500
yhteensä, euro		1 260,00 €	1 750,00 €
Erillinen IVLP uima-altaalle	(COP 2)	Käyttämä energia, kWh	
sähkön hinta	0,14 €	2000	
yhteensä, euro		280,00 €	
YHTEENSÄ, EURO	VUOSI	1 540,00 €	1 750,00 €

Lämmitysjärjestelmä	Hinnat, euro (vuosi)	Uima-altaan ja talon lämmitys ERIKSEEN	Uima-altaan ja talon lämmitys YHTEISELLÄ JÄRJESTELMÄLLÄ
Kaukolämpö		30 vuoden aikana	30 vuoden aikana
Energiakulutus		46 982,40 €	56 038,20 €
Uusittavat laitteet+asennus		6 850,00 €	6 850,00 €
Laitteiston huoltokustannukset		1 500,00 €	1 500,00 €
yhteensä, euro		55 332,40 €	64 388,20 €
Erillinen IVLP uima-altaalle	(COP 2)		
Energiakulutus		8 400,00 €	
Uusittavat laitteet+asennus		10 500,00 €	
Laitteiston huoltokustannukset		900,00 €	
yhteensä, euro		19 800,00 €	
YHTEENSÄ, EURO	30 VUOTTA	75 132,40 €	64 388,20 €
Maalämpö	(COP 3)	30 vuoden aikana	30 vuoden aikana
Energiakulutus		27 300,00 €	31 500,00 €
Kompressorin vaihto		2 500,00 €	2 500,00 €
Laitteiston huoltokustannukset		4 000,00 €	4 000,00 €
yhteensä, euro		33 800,00 €	38 000,00 €
Erillinen IVLP uima-altaalle	(COP 2)		
Energiakulutus		8 400,00 €	
Uusittavat laitteet+asennus		10 500,00 €	
Laitteiston huoltokustannukset		900,00 €	
yhteensä, euro		19 800,00 €	
YHTEENSÄ, EURO	30 VUOTTA	53 600,00 €	38 000,00 €
IVLP + Sähkökattila	(COP 2,4)	30 vuoden aikana	30 vuoden aikana
Energiakulutus		37 800,00 €	52 500,00 €
Uusittavat laitteet+asennus		12 375,00 €	12 375,00 €
Laitteiston huoltokustannukset		1 100,00 €	1 100,00 €
yhteensä, euro		51 275,00 €	65 975,00 €
Erillinen IVLP uima-altaalle	(COP 2)		
Energiakulutus		8 400,00 €	
Uusittavat laitteet+asennus		10 500,00 €	
Laitteiston huoltokustannukset		900,00 €	
yhteensä, euro		19 800,00 €	
YHTEENSÄ, EURO	30 VUOTTA	71 075,00 €	65 975,00 €

Lämmityksen hiilijalanjäljen laskeminen			
Tilan pinta-ala	m ²	112	
Kohteen lämmitysvuosikulutus	kWh	21700	
Toimitusketjun päästöja	%	20	
Ominaishiilidioksidipäästöjen arvo (sähkö)	g CO ₂ /kWh	89	
Ominaishiilidioksidipäästöjen arvo (KL)	g CO ₂ /kWh	172	
Lämmitysjärjestelmä	Päästökerroin,	Tarkastelujakso	Hiilijalanjälki
	kgCO₂/kWh, vuosi	vuosi	t CO₂
Kaukolämpö	3732	30	134
Maalämpö	644	30	23
Ilmavesilämpöpumppu	966	30	35

Lämmitysjärjestelmä	Uima-altaan ja talon lämmitys ERIKSEEN	Uima-altaan ja talon lämmitys YHTEISELLÄ JÄRJESTELMÄLLÄ
Kaukolämpö		
Investoinnit	6 850,00 €	6 850,00 €
30 vuoden käyttökustannukset	75 132,40 €	64 388,20 €
YHTEENSÄ, EURO	81 982,40 €	71 238,20 €
Maalämpö		
Investoinnit	18 425,00 €	18 425,00 €
30 vuoden käyttökustannukset	53 600,00 €	38 000,00 €
YHTEENSÄ, EURO	72 025,00 €	56 425,00 €
IVLP + Sähkökattila		
Investoinnit	17 875,00 €	17 875,00 €
30 vuoden käyttökustannukset	71 075,00 €	65 975,00 €
YHTEENSÄ, EURO	88 950,00 €	83 850,00 €