

Henri Tuomivaara

**JAKUN KOULUN LÄMMITYSMUODON MUUTTAMINEN ÖLJYLÄMMITYK-
SESTÄ MAALÄMPÖÖN**

JAKUN KOULUN LÄMMITYSMUODON MUUTTAMINEN ÖLJYLÄMMITYK- SESTÄ MAALÄMPÖÖN

Henri Tuomivaara
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Talotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma, LVI-tekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tekijä: Henri Tuomivaara

Opinnäytetyön nimi: Jakun koulun lämmitysmuodon muuttaminen öljylämmityksestä maalämpöön

Työn ohjaaja: Mikko Niskala

Työn valmistumislukukausi- ja vuosi: syksy 2015

Sivumäärä: 54

Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin nykyisin kovasti yleistynyttä maalämpöä lämmitysmuotona ja selvitettiin maalämpöjärjestelmän investoinnin teknisiä toteutustapoja ja kannattavuutta. Työn pääasiallisena tavoitteena oli selvittää, kuinka energiatehokasta ja taloudellisesti kannattavaa öljylämmitysjärjestelmän päivittäminen maalämpöön on esimerkkikohteessa Jakun koululla Yli-lissä. Työ tehtiin Oulun Tilakeskukselle, joka hallinnoi, ylläpitää ja hoitaa Oulun kaupungin omistamia kiinteistöjä.

Tarkoituksena oli teknisten selvitysten ja laskelmien pohjalta tutkia ja vertailla erilaisia kohteeseen sopivia maalämpöjärjestelmän toteutusvaihtoehtoja ja valita ehdokkaiksi muutama potentiaalinen vaihtoehto. Näille maalämpöjärjestelmän toteutusvaihtoehdoille selvitettiin tarkat investointikustannusarvot. Lisäksi laskettiin myös maalämpövaihtoehtojen potentiaalinen vuosittaisen energiansäästön kautta saatava kustannussäästö öljylämmityksen kustannuksiin verrattuna. Näiden em. lukemien perusteella laskettiin investoinnin takaisinmaksuaika.

Tässä toteutetun tutkimustyön on tarkoitus palvella Oulun Tilakeskuksen tärkeitä energiansäästöpyrkimyksiä ja toimia eräänlaisena esiselvityksenä ja -suunnitelmana siihen, miten maalämpöjärjestelmään siirtyminen olisi optimaalisinta toteuttaa tällaisessa kohteessa. Jakun koulun lämmitysmuodon päivittämisestä maalämpöön ei ole tehty minkäänlaista päätöstä vielä tässä vaiheessa, joten varmuutta hankkeen toteuttamisesta ei kuitenkaan ole.

Asiasanat: maalämpö, öljylämmitys, energiankulutus, lämmityskustannukset

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	MAALÄMPÖ	7
2.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate	7
2.2	Lämmönkeruupiiri	8
2.2.1	Lämpökaivo	9
2.2.2	Vaakaputkisto	9
2.2.3	Vesistöön asennettava lämmönkeruuputkisto	10
3	JAKUN KOULU	12
4	ENERGIANTARVELASKELMAT	14
4.1	Syötetty primäärienergia	14
4.2	Öljynpolton häviöt	15
4.2.1	Savukaasuhäviöt	15
4.2.2	Kattilan lämpöhäviöt	16
4.2.3	Kattilan tyhjäkäyntihäviöt	19
4.3	Öljynpolton hyötysuhde ja rakennuksen lämmitykseen käytettävä sekundäärienergiämäärä	20
5	TEHONTARVELASKELMAT	21
5.1	Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet	21
5.1.1	Seinät	21
5.1.2	Ala- ja Yläpohja	22
5.1.3	Ikkunat ja ovet	22
5.2	Rakennuksen vaipan pinta-alat	22
5.2.1	Pystypinnat	22
5.2.2	Ikkunat ja Ovet	23
5.2.3	Seinät	23
5.2.4	Ala- ja yläpohja	23
5.3	Rakenteiden välisten liitosten lämpöhäviöt	23
5.4	Vuotoilma ja IV-koneen tuloilma	24
5.5	Lämpöhäviöistä aiheutuva huipputehontarve	24

5.6	Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava teho ja varaajan mitoitus	25
6	PORAKAIVOT JA LÄMMÖNKERUUPIIRI	29
6.1	Jakkukylän geoenergiapotentiaali	29
6.2	Rakennuksen lämmitysenergian tarve.....	29
6.3	Lämpökaivojen mitoitus.....	32
7	MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄTYYPIT.....	37
7.1	Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumppu.....	37
7.2	Tulustusmaalämpöpumppu	37
7.3	Vaihtuvan lauhdutuksen maalämpöpumppu.....	38
8	SUUNNITELMAT JA TARJOUKSET	40
8.1	Seneran tarjous	40
8.2	Gebwellin tarjous.....	42
8.3	Niben tarjous	43
9	KUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAIKA	46
9.1	Öljylämmityksen vuosikustannukset.....	46
9.2	Maalämmön vuosikustannukset	46
9.3	Investointien suora takaisinmaksuaika	47
9.4	Vertailu	48
10	YHTEENVETO	50
	LÄHTEET.....	52

Liite 1 EED-ohjelman lämpökaivomitoitus energiantarpeen mukaan

Liite 2 EED-ohjelman lämpökaivomitoitus tehontarpeen mukaan

1 JOHDANTO

Tänä päivänä energiantuotantoon liittyviä ongelmia pyritään ratkomaan aktiivisesti monin eri keinoin. Uusiutumattomat fossiiliset polttoaineet kuten öljy, maakaasu, kivihiili ja turve, tuottavat palamisen tuloksena ilmakehälle haitallisia kasvihuonekaasuja. Öljyvarannot ovat lisäksi hyvin rajalliset ja öljyn on spekuloitu loppuvan jo ihan lähitulevaisuudessa, mahdollisesti muutamien vuosikymmenten kuluessa. Uusiutuvia energiantuotantomuotoja käytetään koko ajan enemmän korvaamaan fossiilisia polttoaineita.

Maalämpö on eräs uusiutuva energiantuotantomuoto, joka on etenkin viimeisen vuosikymmenen aikana kasvattanut paljon suosiotaan. Esimerkiksi vuonna 2011 Suomessa lähes puoleen uusista pientaloista valittiin lämmitysjärjestelmäksi maalämpö. Myös suuremmissa kohteissa maalämmön käyttö on yleistynyt selkeästi viime vuosina. Kokonaisuudessaan maalämmön osuus maailman lämmitysenergian tuotannossa on vielä hyvin pieni. Maalämpö on kuitenkin suurimmaksi osaksi pienten ja keskisuurten rakennusten lämmitysmuoto. Suuriinkin rakennuksiin on rakennettu maalämpöjärjestelmiä, mutta niiden osuus on melko marginaalinen ainakin vielä toistaiseksi.

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan Oulun Tilakeskuksen hallinnoimaa Yli-lissä sijaitsevaa Jakun koulua, jonka lämmitysmuoto on tarkoitus tulevaisuudessa muuttaa öljylämmityksestä maalämpöön. Työn tarkoituksena on selvittää rakennuksen lämmitysenergian ja -tehon tarpeet, maalämpöjärjestelmän potentiaaliset tekniset toteutustavat, investoinnin kustannukset ja sen avulla saavutettavat energia- ja kustannussäästöt sekä investoinnin takaisinmaksuaika. Oulun kaupungilla on kymmeniä öljyllä lämmitettäviä kiinteistöjä, enimmäkseen vanhoja kouluja ja päiväkoteja, jotka voisivat olla tulevaisuudessa potentiaalisia maalämpökohteita. Täten tämä tutkimus palvelee samalla muitakin vastaavantyyppisiä Oulun Tilakeskuksen mahdollisia tulevaisuuden maalämpöinvestointeja.

2 MAALÄMPÖ

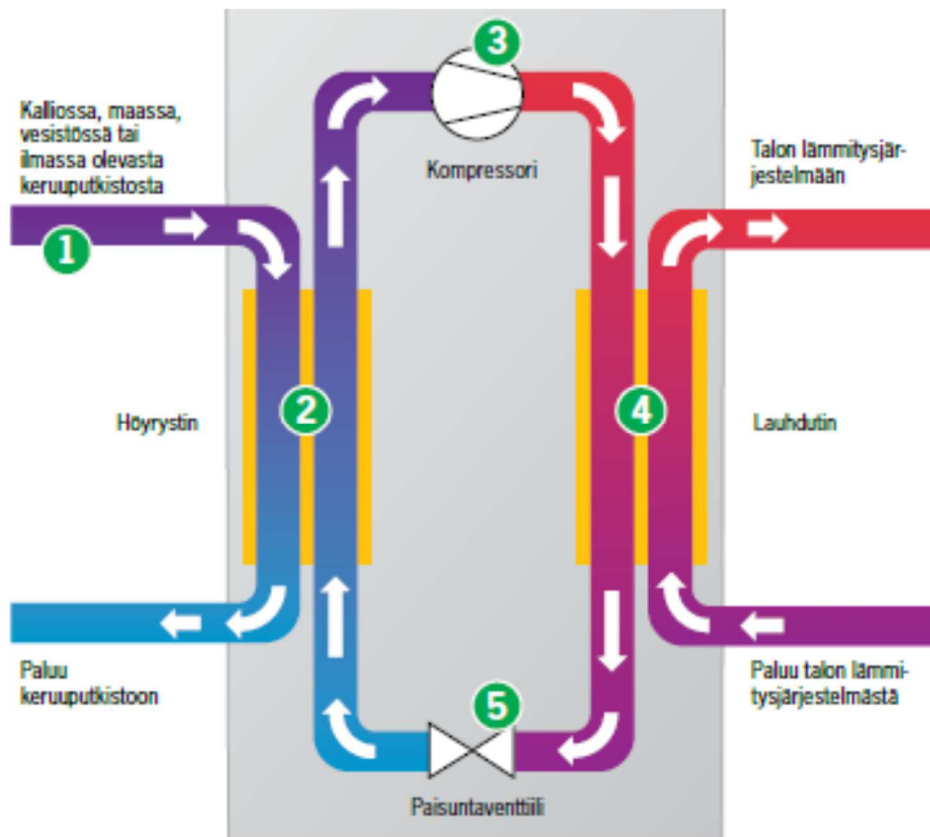
Maalämpö on maaperään tai pohjaveteen varastoitunutta lämpöenergiaa. Maan pinnan lähellä lämpö on auringon säteilyn aiheuttamaa. Sitä voidaan kerätä talteen maan pintakerroksista ja käyttää lämmitykseen. Suomessa auringon säteilyn tuottama maalämpö ulottuu korkeintaan noin 10 - 15 metrin syvyyteen. Pehmeämpiä pintakerroksia syvemmällä kallioperässä on taas maan sisältä johtuvaa geotermistä lämpöenergiaa eli kalliolämpöä, jota valjastetaan hyötykäyttöön porakaivon kautta. Maalämpöä kerätään talteen maahan asennetussa putkistossa kiertävän lämmönkeruunesteen avulla. (1.)

2.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Maalämpöä kerätään talteen lämpöpumpulla. Lämpöpumpun toiminta perustuu kylmätekniiseen kiertoprosessiin, jossa pääkomponentit ovat lauhdutin, höyrystin, kompressori ja paisuntaventtiili. Prosessissa kylmäaine kiertää systeemissä ja muuttaa olomuotoaan lauhduttimessa ja höyrystimessä. Lauhdutin muuttaa kylmäaineen olomuodon höyrystä nesteeksi ja höyrystin vastaavasti muuttaa nesteen höyryksi. Lämpöpumpun tarkoituksena on hyödyntää kylmäaineen olomuodon muutokset ja niihin liittyvät suuret lämpötilavaihtelut mahdollisimman tehokkaasti lämmönsiirtoa varten.

Kylmäainepiirissä kompressori imee höyrystimeltä kylmäainehöyryä ja puristaa sitä kasaan siten, että höyry tulistuu. Tämän jälkeen kuuma höyry jäähtyy ja lauhtuu lauhduttimessa halutussa lämpötilassa. Kun kaikki höyry on muuttunut nesteeksi, se alijäähtyy. Maalämpösystemissä lauhdutin on kylmäainekierto- ja talon lämmitysjärjestelmän välinen lämmönvaihdin. Lauhduttimen jälkeen lämmin neste kiertää paisuntaventtiilille, joka pudottaa nesteen paineen alhaiseksi. Paineen putoamisen seurauksena osa nesteestä höyrystyy ja jäljelle jäänyt neste jäähtyy höyrystimislämpötilaan. Jäähtynyt neste ja höyryn seos saapuu höyrystimeen, joka on maassa kiertävän liuospiirin ja kylmäainepiirin välinen lämmönsiirrin. Maaliuospiirissä vakio- ja lämpötilassa kiertävä lämmönkeruuliuos lämmittää höyrystimeen tulevaa kylmäainetta, joka höyrystyy. Kompressori imee taas tätä kylmäkaasua ja puristaa sitä kasaan kuumakaasuksi, ja näin kierto alkaa uudelleen alusta. (2, s. 16.)

Maalämpöjärjestelmässä lämpöpumpun kylmäainekierto käyttää siis maaliuospiiristä saatavaa energiaa hyväkseen höyrystymisessä. Ilmalämpöpumpussa höyrystin puolestaan käyttää hyväkseen ilman energiaa. Maalämpöjärjestelmissä päästään yleisesti ottaen parempiin vuosihyötysuhteisiin kuin ilmalämpöpumpuissa, koska maaliuospiirin lämpötila ei juurikaan vaihtele ympärivuotisesti, toisin kuin ilman lämpötila. Kuvassa 1 on esitetty lämpöpumpun toimintaperiaate.



KUVA 1. Lämpöpumpun toimintaperiaate (2, s. 16)

2.2 Lämmönkeruupiiri

Maalämpöä kerätään talteen lämmönkeruuputkistolla, jossa kiertää vesi-etanoliliuos, jonka etanolipitoisuus on yleensä noin tilavuusprosenttia ja jäätymispiste noin $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Putkiston tarvittava pituus on suoraan verrannollinen rakennuksen energian- ja tehontarpeeseen. Höyrystimen läpi kulkevien, maapiiriin palaavan liuoksen lämpötila on yleensä jotakuinkin $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n tienoilla. Maapiiristä höyrystimelle palannut liuos on muutamia asteita menoliuosta lämpimämpää. Maalämmön keruupiirityyppejä ovat lämpökaivo, vaakaputkisto ja vesistöön asennettava putkisto.

2.2.1 Lämpökaivo

Lämpökaivo on maalämmön keruupiirityypeistä yleisin. Syvällä lämpökaivossa olevalla putkistolla kerätään talteen kallioperän geotermistä lämpöä. Suomessa yli 60 % maalämpökohteista toteutetaan lämpökaivoa käyttäen. (3.) Etelä-Suomessa lämpökaivoja käytetään jonkin verran enemmän kuin Pohjois-Suomessa. Lämpökaivo on ulkohalkaisijaltaan 115–165-millimetrinen porakaivo. (4.)

Yksi porakaivo ulottuu yleensä maksimissaan noin 200 metrin syvyyteen. Tavallisen kokoisissa omakotitaloissa ja muissa pienrakennuksissa riittää käytännössä aina yksi kaivo kattamaan tarvittavan energian- ja tehontarpeen, ja esimerkiksi keskiverto omakotitaloissa kaivosyvyyydet ovat usein reilusti alle 200 metriä. Tarvittava syvyys riippuu kuitenkin paljon myös siitä, kuinka syvällä maassa kallioperä tulee vastaan. Isommissa rakennuksissa tarvitaan taas aina useampia lämpökaivoja. Tämän työn esimerkkikohde Jakun koulu on myös energian- ja tehontarpeeltaan huomattavasti normaalia pientaloa suurempi, joten porakaivoja tarvitaan useita. (4.)

Kaivojen poraaminen on suhteellisen kallista, joten lämpökaivo on lämmönkeruupiirityypeistä kallein investointi. Poraamisessa ja sen onnistumisessa on myös omat riskinsä, etenkin jos pinta-ala on kallion päällä paljon. Mikäli kallioperä löytyy esimerkiksi vasta noin 30 - 50 metrin syvyydestä, poraaminen voi käydä hyvinkin hankalaksi ja kaivosta hyödyksi saatava lämpömäärä porattua metriä kohden pienenee huomattavasti. Myös kallion laatu voi olla sellainen, ettei poraaminen edes onnistu. Lämpökaivon merkittävä etu on kuitenkin se, ettei se vaadi laajaa maapinta-alaa tontilta. Yksi lämpökaivo saadaan vaivatta porattua hyvin pienellekin omakotitontille, ja myös tavanomaista omakotitaloa suurempien kohteiden kaivokentät vievät suhteellisesti hyvin vähän tonttipinta-alaa verrattuna saman tehoiseen vaakaputkistoon.

2.2.2 Vaakaputkisto

Maan pintakerrokseen vaakatasoon, asennettava putkisto kerää talteen maan pintakerrokseen varastoitunutta lämpöä. Putkiston asennussyvyys riippuu ilmastovyöhykkeestä, mutta keskimääräinen asennussyvyys Suomessa on noin metri. Suomessa vaakaputkistojen osuus maalämmönkeruupiireistä on noin 30 %. Putkilenkkien tulee olla vähintään 1,5 metrin vaakaetäisyydellä toisistaan. Tarvittava putkipituus riippuu rakennuksen energian- ja tehontarpeen lisäksi paljon myös tontin

maalajista. Savimaa on maalajeista paras ja hiekka heikoin lämmönvaraaja. Näiden maalajien välillä tarvittavassa putkipituudessa voi olla eroa jopa 30 - 40 %. (4.)

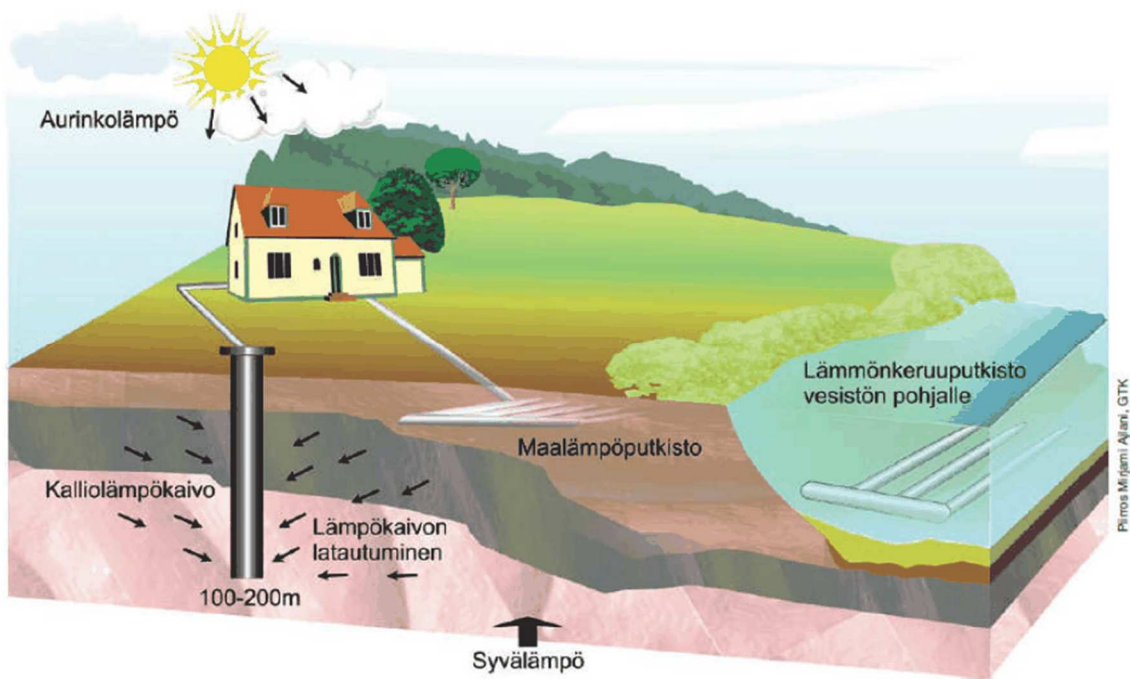
Pintamaahan asennettava vaakaputkisto on investointina selvästi edullisempi kuin syväporausta vaativa lämpökaivo, mutta vaakaputkisto vaatii laajan pinta-alan tontilta. Mikäli tontilla on paljon tilaa, vaakaputkisto on mainio vaihtoehto pientaloon. Suhteellisen tilavalle tontille tulevaan uudisrakennukseen vaakaputkiston saa toteutettua helpommin kuin valmiiseen rakennukseen vastaavan kokoiselle tontille, koska tontin piha-alueita ei tarvitse alkaa aukomaan erikseen laajalta alueelta. Jo olemassa olevissa kohteissa vaakaputkisto onkin siis harvinaisempi ratkaisu, jollei tontti ole todella suuri. Toisaalta, haja-asutusalueilla tonttikoot ovat usein suuria, jolloin vaakaputkisto on varsin toimiva ratkaisu myös olemassa olevaan rakennukseen.

Suuren energian- ja tehontarpeen kohteisiin vaakaputkisto on kannattamattomampi ratkaisu, koska putkimetrejä tarvitaan paljon ja täten tarvittava vaakakeruupiirikenttä olisi todella laaja. Kun useita lämpökaivoja porataan samaan kohteeseen, porauskustannus kaivoa kohden pienenee myös huomattavasti, joten kaivoinvestointi ei olekaan enää suhteellisesti niin paljon kalliimpi kuin vaakaputkisto. Suurehkon energian- ja tehontarpeen takia myös Jakun koululle ainoa tarkasteltava lämmönkeruupiirivaihtoehto on lämpökaivoratkaisu.

2.2.3 Vesistöön asennettava lämmönkeruuputkisto

Vesistöistä talteen kerättävä lämpö luokitellaan myös maalämmöksi. Järviin, meriin tai jokiin asennetaan painoilla pohjaan ankkuroitava lämmönkeruuputkisto. Tämän harvinaisemman lämmönkeruutavan osuus maalämpöpiireistä on noin 5 %. (4.)

Vesistöissä olevan putkituksen etu on se, että putkipituutta ei tarvita niin paljon kuin maapiirissä, koska veden lämmönsiirto-ominaisuudet ovat maaperää ja kalliota paremmat. Vesiputkisto on myös investointina yleisesti ottaen hieman lämpökaivoa edullisempi. Vesistöön tuleva putkisto vaatii huolellisia selvityksiä ja tutkimuksia vesistön soveltuvuudesta putkistoasennukseen. Veden lämpötila ei saa missään vaiheessa laskea alle +1 °C, ettei putkiston pintaan kerry jäätä. Kertynyt jää voisi aiheuttaa nosteen, joka nostaa putkiston veden pintaan. Lisäksi putkiston asennussyvyyden tulisi olla vähintään kaksi metriä, jotta talvellakin vesi liikkuisi hyvin putkiston ympärillä. (4.) Kuvassa 2 on havainnollistettu ja esitetty maalämmön keruupiirityypit.



KUVA 2. Maalämmön keruupiirityypit (5)

3 JAKUN KOULU

Jakun koulu sijaitsee Oulussa, Yli-lin Jakkukylässä (kuva 3). Kohde on siirtynyt Oulun Tilakeskuk- sen hallintaan vuoden 2013 kuntaliitoksen yhteydessä, kun entisestä Yli-lin kunnasta tuli osa Oulun kaupunkia. Jakun koululta on matkaa Yli-lin ja lin kirkonkyliin molempiin 14 kilometriä. Oulun kes- kustasta matkaa Jakun koululle kertyy reilut 50 kilometriä. Koulu sijaitsee lijoen pohjoisrannalla. Oppilaita koulussa on 64 ja opettajia viisi. Kouluun liittyvä jonkinlainen erikoisuus on, että joen ete- läpuolella asuvat oppilaat kuljetetaan kouluun veneellä joen yli, koska lähistöllä ei ole siltaa. Tal- vella oppilaat kulkevat joen yli jäätietä pitkin. (6.)



KUVA 3. Jakun koulu

Ensimmäinen Jakkukylän koulu rakennettiin jo vuonna 1899 Pirttitörmälle, mutta koulu paloi vuonna 1941. Nykyinen koulu valmistui syksyllä 1947. Koululla on tehty peruskorjaustoimenpiteitä vuosina 1982, 1993, 1998 ja 2004. Vuosina 1993 ja 2004 koulua on myös laajennettu. (6.)

RAKENNUKSEN TEKNISET TIEDOT

Valmistumisvuosi: 1947

Kerrosala: 1017 m²

Tilavuus: 5518 m³

Lämmitysjärjestelmä: Öljylämmitys pattereilla

Öljypoltin: Oilon KP-26 H, teho: 95 - 350 kW

Öljykattila: Högfors Nova 21, teho: 200 kW

Lämmitysjärjestelmän patteripiirit, 4 kpl:

- rakennuksen vanha osa
- rakennuksen uusi osa
- yläkerran entisten asuntojen patteripiiri
- IV-lämmitys
- lämpötilat: meno 70 °C / paluu 40 °C

IV-järjestelmästä ei ole saatavilla Oulun Tilakeskuksen arkistoissa tarkkoja teknisiä tietoja muutoin kuin uusimmasta laajennuksesta. Rakennuksessa on yhteensä kolme tulo-/poistoilmakonetta, jotka on varustettu levylämmöntalteenotolla (LTO). Koneet palvelevat uutta osaa, vanhaa osaa ja liikuntasalia. Lisäksi rakennuksessa on keittiön ja teknisen työn tuloilmakoneet sekä kohdepoistot. Koneiden täyden tehon tuloilmamäärät ovat

- uuden osan pääkone 300 l/s (LTO)
- vanhan osan pääkone 800 l/s (LTO)
- liikuntasalin kone 400 l/s (LTO)
- teknisen työn tilan kone 300 l/s
- keittiön kone 600 l/s

4 ENERGIANTARVELASKELMAT

Jotta maalämpöjärjestelmä voidaan mitoittaa, aluksi on selvitettävä rakennuksen vuosittainen energian- ja tehontarve. Energiantarve selvitetään tässä tapauksessa edellisten vuosien öljynkulutukseen pohjautuvien energialaskelmien avulla.

Jakun koulun öljypolttimen yhteydessä on öljynkulutusmittari, josta saatujen arvojen mukaan Schneider Electric on määrittänyt Jakun koulun vuosittaisen energiankulutuksen 2013 ja 2014. Energiankulutustilastoja ei ole saatavilla ajalta ennen vuotta 2013, koska Yli-lin kunta liittyi osaksi Oulun kaupunkia vasta vuoden 2013 alusta alkaen. Energiankulutuskalkelmat ovat sääkorjattuja, jotta suuret vuosittaiset poikkeamat pitkäaikaisista ulkoilman lämpötilakeskiarvoista eivät vaikuttaisi kovin merkittävästi lopputuloksiin. Laskelmat perustuvat suoraan kulutettuun öljymäärään, eikä esimerkiksi öljypolttimen ja -kattilan hyötysuhdetta ole huomioitu. Täten öljynkulutusmittauksista laskettu energiankulutus on prosessiin syötetty primäärienergiämäärä, eikä rakennuksen lämmitykseen hyödyksi saatu sekundäärienergiämäärä. Jotta saadaan selville lämmitysjärjestelmään syötetty, hyödyksi saatu energiamäärä, on määritettävä öljynpolton häviöt ja edelleen polttoprosessin hyötysuhde.

4.1 Syötetty primäärienergia

Öljynkulutuslukemista saadaan syötetyn primäärienergian määrä kertomalla kulunut öljymäärä polttoaineen tehollisella lämpöarvolla, joka on kevyelle polttoöljylle noin 10 kWh/dm³. Schneider Electric on laskenut primäärienergian kulutuksiksi 284 200 kWh vuodelle 2013, ja 269 000 kWh vuodelle 2014. Näiden kahden vuoden kulutuslukemista saadaan keskiarvoksi $Q_p = 276\ 600$ kWh/a. Syötetyn primäärienergian määrä on siis laskettu seuraavasti:

$$Q_p = 27\ 660 \frac{\text{dm}^3}{\text{a}} \cdot 10 \frac{\text{kWh}}{\text{dm}^3} = 276\ 600 \text{ kWh/a}$$

4.2 Öljypolton häviöt

Öljypolton häviöiden laskemiseksi oli suoritettava öljypolttimeen ja -kattilaan liittyviä savukaasu- ja lämpötilamittauksia. Lisäksi polttimen tyhjäkäyntihäviöille suoritettiin laskelmia ja arvioita. Näiden mittausten ja laskelmien perusteella saatiin määritettyä öljypolton vuosihyötysuhde

Jakun koulun öljypoltin on vuonna 1993 valmistettu Oilon KP-26 H, jonka tehoalue on 95–350 kW. Tämä poltinmalli löytyy edelleen myös Oilonin nykyisestä tuotevalikoimasta. (7.) Öljykattilan malli on Högfors 21 Nova.

4.2.1 Savukaasuhäviöt

Savukaasuhäviöiden mittaus suoritettiin savukaasuanalysaattorilla öljykattilan savukanavasta. Mittauksessa selvitettiin savukaasusta mm. hiilidioksidi-, hiilimonoksidi- ja happipitoisuudet, sekä savukaasun ja huonetilan lämpötila.

Savukaasun lämpötila, $T_{sk} = 271 \text{ °C}$

Huoneen lämpötila, $T_H = 23 \text{ °C}$

Savukaasun hiilidioksidipitoisuus, $CO_2 = 9,9 \%$

Savukaasun hiilimonoksidipitoisuus, $CO = 7 \text{ ppm} = 0,0007 \%$

Savukaasun happipitoisuus, $O_2 = 7,5 \%$

VAPAASTÄVIÖT

Kevyelle polttoöljylle savukaasun vapaat häviöt saadaan laskettua kaavalla 1 (8):

$$q_n[\%] = \left(0,0063 + \frac{0,479}{CO_2}\right) \cdot (t_{sk} - t_h) \quad \text{KAAVA 1}$$

$$q_n = \left(0,0063 + \frac{0,479}{9,9}\right) \cdot (271 \text{ °C} - 23 \text{ °C}) = 13,6 \%$$

SIDOTUT HÄVIÖT

Kevyelle polttoöljylle savukaasun sidotut häviöt saadaan laskettua kaavalla 2 (8):

Kertoimena K_2 voidaan käyttää arvoa 1,65 kevyen polttoöljyn tapauksessa.

$$q_p [\%] = K_2 \cdot \frac{30,2 \cdot CO + 85,5 \cdot CH_4 + 25,7 \cdot H_2}{CO_2 + 0,994 \cdot CO + 0,995 \cdot CH_4} \quad \text{KAAVA 2}$$

$$q_p = 1,65 \cdot \frac{30,2 \cdot 0,0007 + 85,5 \cdot 0 + 25,7 \cdot 0}{9,9 + 0,994 \cdot 0,0007 + 0,995 \cdot 0} = 0,002 \%$$

Metaanin ja vedyn määrää ei ole mitattu ollenkaan, mutta ne voidaan jättää näissä laskelmissa huomiotta, koska metaania ja vetyä muodostuu öljyn poltossa olemattoman vähän.

SAVUKAASUN KOKONAISHÄVIÖT

$$q_{SK} = q_n + q_p = 13,56 + 0,002 = 13,562 \sim 13,6 \%$$

4.2.2 Kattilan lämpöhäviöt

Kattilan lämpöhäviöiden laskemiseksi mitattiin kattilan pintojen lämpötilat. Mittaukset suoritettiin pintaa kohden useammasta kohdasta, joiden perusteella määritettiin pinnan keskilämpötila. Kattilan toinen sivuseinä on lähes seinässä kiinni, joten mittaaminen oli mahdotonta. Käytetään laskennassa tälle sivuseinälle samoja lämpötiloja kuin mitä vastakkaiselle identtiselle sivuseinälle mitattiin. Myöskään pohjan lämpötilaa ei voitu mitata, joten käytetään arvioitua lämpötilaa pohjan lämpöhäviön laskemiseksi. Kattilan lämpöhäviöt saadaan laskettua kaavoilla 3, 4 ja 5. (9.)

HÄVIÖTEHO

$$\dot{Q} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T \quad \text{KAAVA 3}$$

$$\alpha = \text{lämmönsiirtokerroin} = \alpha_s + \alpha_k \quad \text{KAAVA 4}$$

$$\alpha_s = \text{säteilyn lämmönsiirtokerroin} = \alpha_s = \varepsilon \cdot \rho \cdot \frac{T_P^4 - T_H^4}{T_P - T_H} \quad \text{KAAVA 5}$$

ε = pinnan emissiivisyyskerroin = 0,9; ρ = Stefann-Boltzmannin vakio = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$

α_k = konvektion lämmönsiirtokerroin, mikä on jokaiselle pintatyypille eri.

A = pinta-ala; $\Delta T = T_P - T_H$

T_P = pinnan lämpötila; T_H = huoneen lämpötila

SIVUSEINÄT (2 kpl): Pinnan keskilämpötila: $T_P = 31 \text{ }^\circ\text{C}$; Pinta-ala: $A = 2 \cdot 1,95 \text{ m}^2 = 3,9 \text{ m}^2$

$$\alpha_s = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(304,15^4 - 296,15^4)K}{(304,15 - 296,15)K} = 5,52 \frac{W}{m^2K}$$

Pystyseinille: $\alpha_k = 2,6 \cdot \sqrt[4]{T_P - T_H} = 2,6 \cdot \sqrt[4]{304,15 - 296,15} = 4,37 \frac{W}{m^2K}$

$$\phi_{SS} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T = 3,9 \text{ m}^2 \cdot (5,52 + 4,37) \frac{W}{m^2K} \cdot (31 - 23)^\circ\text{C} = 309 \text{ W}$$

ETUSEINÄ: Pinnan keskilämpötila: $T_P = 43 \text{ }^\circ\text{C}$; Pinta-ala: $A = 1,2 \text{ m}^2$

$$\alpha_s = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(316,15^4 - 296,15^4)K}{(316,15 - 296,15)K} = 5,86 \frac{W}{m^2K}$$

Pystyseinille: $\alpha_k = 2,6 \cdot \sqrt[4]{T_P - T_H} = 2,6 \cdot \sqrt[4]{316,15 - 296,15} = 5,50 \frac{W}{m^2K}$

$$\phi_{ES} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T = 1,2 \text{ m}^2 \cdot (5,86 + 5,5) \frac{W}{m^2K} \cdot (43 - 23)^\circ\text{C} = 273 \text{ W}$$

TAKASEINÄ: Pinnan keskilämpötila: $T_P = 39 \text{ }^\circ\text{C}$; Pinta-ala: $A = 1,2 \text{ m}^2$

$$\alpha_s = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(312,15^4 - 296,15^4)K}{(312,15 - 296,15)K} = 5,75 \frac{W}{m^2K}$$

Pystyseinille: $\alpha_k = 2,6 \cdot \sqrt[4]{T_P - T_H} = 2,6 \cdot \sqrt[4]{312,15 - 296,15} = 5,2 \frac{W}{m^2K}$

$$\phi_{TS} = \alpha \cdot A \cdot \Delta T = 1,2 \text{ m}^2 \cdot (5,75 + 5,2) \frac{W}{m^2K} \cdot (39 - 23)^\circ\text{C} = 210 \text{ W}$$

KANSI: Pinnan keskilämpötila: $T_P = 37 \text{ }^\circ\text{C}$; Pinta-ala: $A = 1,35 \text{ m}^2$

$$\alpha_s = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(310,15^4 - 296,15^4)K}{(310,15 - 296,15)K} = 5,69 \frac{W}{m^2K}$$

Vaakapinnan yläpuoliselle konvektiolle:

$$\alpha_k = 3,0 \cdot \sqrt[4]{T_P - T_H} = 3,0 \cdot \sqrt[4]{310,15 - 296,15} = 5,8 \frac{W}{m^2K}$$

$$\Phi_K = \alpha \cdot A \cdot \Delta T = 1,35 m^2 \cdot (5,69 + 5,8) \frac{W}{m^2K} \cdot (37 - 23)^\circ C = 217 W$$

POHJA:

Koska pohjasta ei ollut mahdollista mitata lämpötiloja, arvioidaan pohjan keskilämpötilaksi noin 50 °C. Vaikka kyseessä onkin vain karkeahko arvio, tämän pienen osa-alueen epätarkkuudella ei ole koko lämpöhäviön lopputuloksen kannalta merkittävää vaikutusta. Pinta-ala on 1,35 m².

$$\alpha_s = 0,9 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{(323,15^4 - 296,15^4)K}{(323,15 - 296,15)K} = 6,07 \frac{W}{m^2K}$$

Vaakapinnan alapuoliselle konvektiolle:

$$\alpha_k = 0,6 \cdot \sqrt[4]{T_P - T_H} = 0,6 \cdot \sqrt[4]{323,15 - 296,15} = 1,37 \frac{W}{m^2K}$$

$$\Phi_P = \alpha \cdot A \cdot \Delta T = 1,35 m^2 \cdot (6,07 + 1,37) \frac{W}{m^2K} \cdot (50 - 23)^\circ C = 271,2 W$$

KOKONAISHÄVIÖTEHO

$$\Phi_{TOTAL} = 308,6 W + 272,6 W + 210,2 W + 217,2 W + 271,2 W = 1280 W$$

LÄMPÖHÄVIÖT POLTTIMEN KÄYNTIAIKANA

Polttimen vuotuinen käyntiaika saadaan laskettua suhteellisen tarkasti jakamalla vuotuinen syötetty öljyenergiämäärä poltinteholla.

$$T_{poltin} = \frac{276\,600 kWh}{200 kW} = 1383 h \sim 1400 h$$

$$\text{Vuotuinen keskimääräinen käyntiaikateho: } \Phi = \frac{276\,600 kWh}{1400 h} = 197,6 kW = 197\,600 W$$

$$q_L = \frac{1280 W}{197\,600 W} = 0,0065 \sim 0,7 \%$$

4.2.3 Kattilan tyhjäkäyntihäviöt

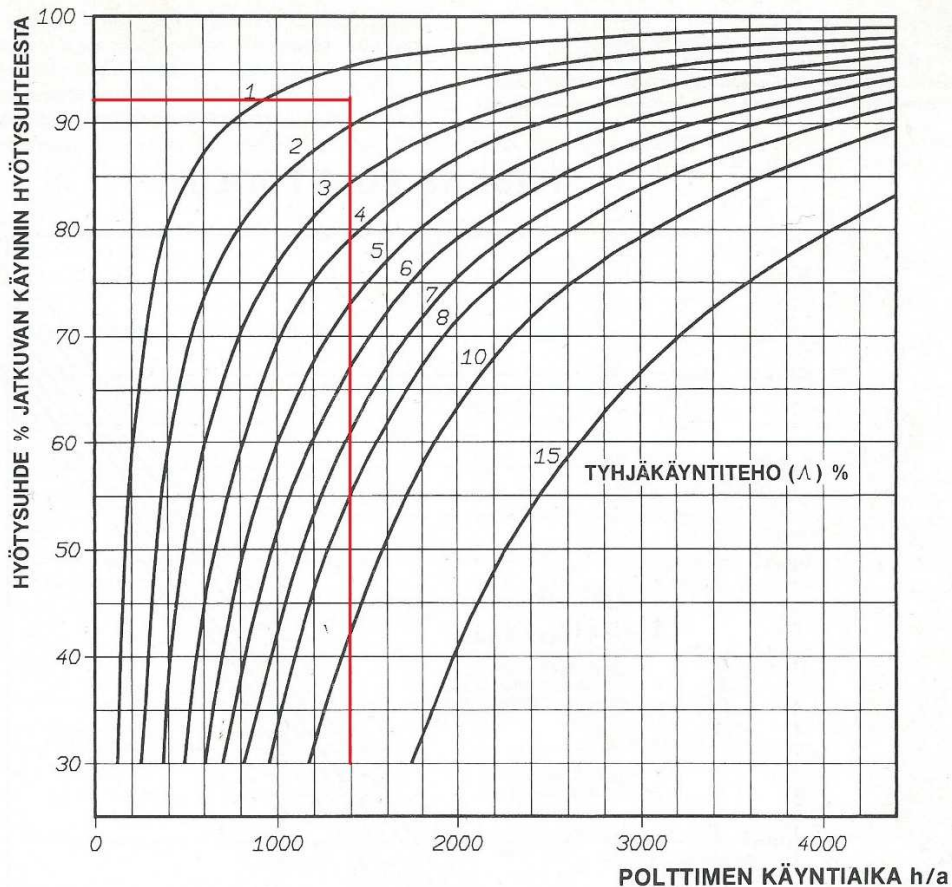
Tyhjäkäynnistä aiheutuu luonnollisesti energiahäviötä, joka on myös huomioitava kokonaishyötysuhteen laskennassa. Tyhjäkäyntihäviö saadaan määritettyä seuraavan sivun kuvan 4 mukaisesti. Kun saadaan laskettua tyhjäkäyntiteho prosentteina poltintehosta ja polttimen vuotuinen käyntiaika, voidaan määrittää tyhjäkäynnin hyötysuhdekerroin. Tyhjäkäynti- ja poltintehoja sekä vuosittaista käyntiaikaa on vaikea määrittää tarkasti, mutta seuraavilla arviolaskelmilla päästään kokonaishyötysuhdelaskennan kannalta hyvinkin riittäviin tarkkuuksiin.

Tyhjäkäyntiteho koostuu lähinnä kattilan ja läpivirtauksen lämpöhäviöistä. Kattilan lämpöhäviöteho on 1,3 kW. Kokemusperäisesti voidaan arvioida läpivirtauksen lämpöhäviötehon olevan vähintäänkin samaa luokkaa kattilan lämpöhäviötehon kanssa, jollei hieman enemmänkin. Näin ollen tyhjäkäyntiteho olisi vähintään $1,3 \text{ kW} + 1,3 \text{ kW} = 2,6 \text{ kW}$. Tuhkahäviöitä ei huomioida laskelmissa, koska ne ovat olemattoman vähäisiä öljynpoltossa.

Öljypolttimen tehoskaala on 95–350 kW. Poltin on kaksitehoinen ja sen oma automatiikka ajaa poltinta oletusarvoisesti tehon ykköstasolla. Jos tehoa tarvitaan paljon, eikä tehotaso 1 riitä, poltin siirtyy toimimaan tehotasolle 2. On mahdotonta sanoa tarkasti mihin tehoarvoihin poltin on säädetty toimimaan. Högfors 21 Nova öljykattilan nimellisteho on noin 200 kW. Tästä voidaan arvioida, että myös käytettävä poltintehon maksimiarvo on lähellä kattilan nimellistehoa. Käytetään laskelmissa siis poltintehona 200 kW.

Tyhjäkäyntitehon suhde poltintehoon: $\lambda = 2,6 \text{ kW} / 200 \text{ kW} = 0,013 = 1,3 \% \sim 1,5 \%$

Kun tiedetään λ ja T_{poltin} , saadaan seuraavan sivun kuvasta 4 määritettyä tyhjäkäyntihäviö. Lopulliseksi hyötysuhteeksi saadaan 92 % jatkuvan käytön hyötysuhteesta, kun tyhjäkäyntihäviötkin on huomioitu. Käyntiajan hyötysuhde kerrotaan siis kertoimella 0,92, jotta saadaan kokonaishyötysuhde. (10.)



KUVA 4. On/Off-säätöisen, yhdellä suuttimella varustetun poltinkattilayhdistelmän hyötysuhde käyntiajasta riippuvana (10)

4.3 Öljynpolton hyötysuhde ja rakennuksen lämmitykseen käytettävä sekundäärienergiämäärä

Öljynpolton vuosihyötysuhde saadaan laskettua seuraavasti. Vähennetään ensin syötetystä primäärienergiämäärästä savukaasu- ja lämpöhäviöt. Edellä saatu lukema kerrotaan vielä kuvasta 4 saadulla tyhjäkäyntihäviökertoimella 0,92, jolloin saadaan vuosihyötysuhde.

$$\eta = 0,92 \cdot (100 \% - (q_{SK} + q_L)) = 0,92 \cdot (100 \% - (13,6 + 0,7)\%) = 78,8 \%$$

Rakennuksen tilojen ja käyttöveden lämmitykseen käytettävän sekundäärienergian määräksi saadaan

$$Q_S = \eta \cdot Q_P = 0,788 \cdot 276\,600 \text{ kWh} = 217\,960 \text{ kWh}$$

5 TEHONTARVELASKELMAT

Maalämpöjärjestelmän mitoittamiseksi on energiantarpeen lisäksi määritettävä myös rakennuksen lämmitysjärjestelmän huipputehon tarve. Tehontarpeen laskemiseksi on määritettävä rakennuksen seinien ja kylmäsiltojen lämmönjohtumishäviöt, rakennuksen vuotoilmahäviöt sekä tuloilman lämmittämiseen tarvittava teho. Rakennuksen lämmityksen huipputehon tarve määritetään Oulun alueen säävyöhykkeen mitoitusulkolämpötilalla -32 °C. (11.)

5.1 Rakenteiden lämmönläpäisykertoimet

Rakennuksen vaipan lämpöhäviöiden laskemiseksi tulee määrittää rakenteiden lämmönläpäisykertoimet eli U-arvot. Seinien U-arvo saadaan määritettyä laskennallisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osan D3 ohjeiden mukaisesti. Muiden rakenneosien osalta U-arvona käytetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 määrittämää lämmönläpäisykertoimen vertailuarvoa. (11.)

5.1.1 Seinät

Rakennuksen seinät ovat puurakenteisia. Rakennuksen pohjakuvista todetaan mittaamalla eristeen paksuuden olevan noin 200 millimetriä. Tämän perusteella seinärakenteelle voidaan laatia U-arvolaskelma alla olevan taulukon 1 mukaisesti.

TAULUKKO 1. Seinän U-arvon laskenta

	d	λ	R
R_{Si}			0,13
kipsilevy	0,013	0,23	0,06
höyrynsulku			0,02
mineraalivilla	0,2	0,055	3,64
puukuitulevy	0,025	0,055	0,45
R_{SE}			0,13
		$\Sigma R =$	4,43
		$U = 1/\Sigma R =$	0,23

d = materiaalin paksuus, m

λ = materiaalin lämmönjohtavuus, W/mK

R = materiaalin lämmöneristyskerroin = d/λ , m²K/W

U = materiaalin lämmönläpäisykerroin = $1/R$, W/m²K

Seinärakenteelle saadaan U -arvoksi 0,23 W/m²K edellä olevaa puurakenteelle tyypillistä laskentatapaa käyttäen. Varsinaisen eristeen sisäpuolella on tavallinen 13 mm kipsilevy ja höyrynsulkumuovi sekä eristeen ulkopuolella arvioidaan olevan noin 25 mm paksuinen puukuitulevy. Arvo on myös hyvin lähellä rakentamismääräyskokoelman osan D3 määrittämää lämmönläpäisykerroimen vertailuarvoa, joka on 0,24 W/m²K. (11.)

5.1.2 Ala- ja Yläpohja

Ala- ja yläpohjan kohdalla U -arvolle on mahdotonta laatia edellisen kaltaista laskelmaa, koska käytännössä minkäänlaista tietoa eristeistä paksuuksineen ei ole saatavilla. Käytetään siis Rakennusmääräyskokoelman osan D3 määrittämiä lämmönläpäisykerroimen arvoja, jotka ovat maahan rajoittuvalle alapohjalle 0,24 W/m²K ja yläpohjalle 0,15 W/m²K. (11.)

5.1.3 Ikkunat ja ovet

Myös ikkunoille ja oville lämmönläpäisykerroimien vertailuarvot saadaan Rakennusmääräyskokoelman osasta D3. U -arvo on 1,4 W/m²K sekä ikkunoille että oville. (11.)

5.2 Rakennuksen vaipan pinta-alat

5.2.1 Pystypinnat

Liikuntasalia lukuun ottamatta käytännössä lähes kaikkien muiden tilojen korkeus on noin kolme metriä. Näiden muiden ulkoseinäosien yhteenlaskettu pituus on 228 metriä, joten näiden pystypintojen kokonaispinta-ala on $228 \text{ m} \cdot 3 \text{ m} = 684 \text{ m}^2$. Liikuntasalin seinät ovat 6,5 metriä korkeat ja niiden kokonaispituus on 42,8 metriä, eli liikuntasalin pystypintojen pinta-ala on $42,8 \text{ m} \cdot 6,5 \text{ m} = 278,2 \text{ m}^2$. Rakennuksen pystypinta-ala on siis $684 \text{ m}^2 + 278,2 \text{ m}^2 = 962,2 \text{ m}^2$.

5.2.2 Ikkunat ja Ovet

Piirustuksista löytyy ikkunoiden leveydet ja useimpien korkeudet, joten ikkunoiden kokonaispinta-ala saadaan määritettyä varsin hyvin. Rakennuksen pystypinta-alasta ikkunapintojen osuus on kokonaisuudessaan 119 m². Ulko-ovia on viisi kappaletta ja niiden yhteenlaskettu pinta-ala on 12 m².

5.2.3 Seinät

Varsinaisten seinäosien pinta-ala saadaan, kun rakennuksen kokonaispystypinta-alasta vähennetään ikkunoiden ja ovien osuus. Näin seinäpinta-alaksi saadaan 962,2 m² – (119 m² + 12 m²) = 831,2 m².

5.2.4 Ala- ja yläpohja

Vuonna 2010 suoritettun kiinteistön kuntoarviolausunnon mukaan rakennuksen kerrosala on 1017 m². Toisen kerroksen lämmitetyn osan pinta-ala on 122 m². Kun koko kerrosalasta vähennetään toisen kerroksen pinta-ala, saadaan ensimmäisen kerroksen pinta-ala 1017 m² – 122 m² = 895 m². Tämä on siis myös alapohjan pinta-ala. Vaikka joissakin rakennuksen yläpohjan osissa on myös joitakin vinoja osia, käytetään yläpohjan pinta-alana myös yllä laskettua alapohjan pinta-alaa, koska lopputulos ei tulisi merkittävästi eroamaan tuloksesta, jossa muutamat vinot kattopinnat olisi huomioitu.

5.3 Rakenteiden välisten liitosten lämpöhäviöt

Rakenteiden välisten liitosten eli ns. kylmäsiltojen lämpöhäviöt saadaan laskettua, kun kerrotaan liitoksen pituus viivamaisella lämpökonduktanssilla sekä ulko- ja sisäilman lämpötilaerolla. Kylmäsiltojen lämpöhäviö $\Phi_{KS} = \psi * L * \Delta T$. Ikkuna- ja oviliitoksille $\psi = 0,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, ulkoseinän ja yläpohjan liitokselle $\psi = 0,05 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, ulkoseinän- ja alapohjan liitokselle $\psi = 1,0 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ sekä ulkoseinien välisille liitoksille $\psi = 0,04 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Kylmäsiltojen pituudet löytyvät tehonlaskentataulukosta (taulukko 2).

5.4 Vuotoilma ja IV-koneen tuloilma

Rakennusvaipan vuotoilmavirta saadaan laskettua rakentamismääräyskokoelman osan D3 vuotoilman laskennalle määritettyä kaavaa 6 (11) käyttäen, kun tiedetään vaipan pinta-ala.

$$q_v = \frac{q_{50}}{3600 \cdot x} A_{vaippa} = \frac{4 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot \text{m}^2}{3600 \cdot 24} \cdot 2753 \text{ m}^2 = 0,127 \text{ m}^3 / \text{s} \quad \text{KAAVA 6}$$

q_{50} = rakennuksen ilmanvuotoluku

x = 2-kerroksisen rakennuksen kerroin

A_{vaippa} = rakennuksen vaipan pinta-ala

Tässä tapauksessa vuotoilmavirraksi saatiin siis $0,127 \text{ m}^3 / \text{s} = 127 \text{ dm}^3 / \text{s}$.

IV-koneen tuloilman lämmittämiseen tarvittava teho lasketaan IV-koneiden yhteenlasketulla täyden tehon käytönaikaisella ilmavirralla, joka on 2800 l/s.

5.5 Lämpöhäviöistä aiheutuva huipputehontarve

Taulukossa 2 on esitetty laskelma, jossa on määritetty rakennuksen lämpöhäviöistä aiheutuva huipputehontarve. Kaikki laskelmat on tehty rakentamismääräyskokoelman osan D3 energialaskelmaohjeiden mukaisesti. Mitoitusulkolämpötilana on käytetty Oulun alueella voimassa olevaa $-32 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilaa. Sisälämpötila on $21 \text{ }^\circ\text{C}$. Tulo- ja poistoilmavirrat oletetaan samoiksi. Poistoilman lämpötilana käytetään $24 \text{ }^\circ\text{C}$ ja se voi maksimissaan jäähtyä $0 \text{ }^\circ\text{C}$ lämpötilaan. Täten $-32 \text{ }^\circ\text{C}$:n ulkoilma voi maksimissaan lämmitä $24 \text{ }^\circ\text{C}$. Näin saadaan lämmön talteenoton jälkeinen tuloilman lämpötila

$$T_{LTO} = -32 \text{ }^\circ\text{C} + 24 \text{ }^\circ\text{C} = -8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tehontarvelaskelmassa on lämmöntalteenotolla varustetuista IV-koneista eritelty kategorioihin uuden ja vanhan osa pääkoneet, joiden sisäilman tavoitelämpötila on $21 \text{ }^\circ\text{C}$, sekä liikuntasalin kone, jonka tavoitelämpötila on matalampi $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ilman lämmöntalteenottoa toimivat koneet ovat keittiön ja teknisen työn tuloilmakoneet. Keittiössä tehostetun ajan ilmavirta on 600 l/s. Teknisen työn tilassa normaalin käyttöajan ilmavirta on 150 l/s.

Tehostetun ajan lisäilmavirta on 150 l/s, mikä koostuu kolmen 50 l/s kohdepoiston ilmavirrasta. Koska kohdepoistojen käyttö on hyvin lyhytaikaista, satunnaista ja harvoin yhtäaikaisesti tapahtuvaa, huipputehontarpeen laskentatilanteessa teknisen työn tilan ilmavirraksi on määritetty 200 l/s, eli tilanne jossa yksi kohdepoisto on toiminnassa kerrallaan. Kokonaisuudessaan ilman lämmöntalteenottoa toimivien koneiden tuloilmavirta on tässä mitoituksessa yhteensä 600 l/s + 200 l/s = 800 l/s.

Alla olevassa taulukossa 2 on esitetty lämpöhäviötehon ja tuloilman lämmitystehon laskenta. Koko huipputehontarpeeksi saadaan lopulta **143 kW**.

TAULUKKO 2. Lämpöhäviötehon ja tuloilman lämmitystehon laskentataulukko

RAKENNE	U-arvo	ψ	Pituus	$A_{(netto)}$	T_s	T_u	$q_{tulo\ IV}$	$q_{vuoto\ IV}$	T_{LTO}	ϕ_{joht}	$\phi_{IV-vuoto}$	$\phi_{IV-tulo}$
	W/m ² °C	W/m ² °C	m	m ²	°C	°C	l/s	l/s	°C	W	W	W
SEINÄT	0,23			831,2	21	-32				10132		
IKKUNAT	1,4			119,0	21	-32				8830		
OVET	1,40			12,0	21	-32				890		
YLÄPOHJA	0,15			895,0	21	-32				7115		
ALAPOHJA	0,24			895,0	21	5,2				3394		
Ikkuna-ja oviliitokset		0,04	395,0		21	-32				837		
Ulkoseinän ja yläpohjan liitos		0,05	233,0		21	-32				617		
Ulkoseinän ja alapohjan liitos		0,1	233,0		21	-32				1235		
Ulkoseinien väliset liitokset		0,04	123,0		21	-32				261		
VUOTOILMA					21	-32		127,00			8077,2	
IV (LTO)					21		1100		-8			38280
IV, liikuntasali (LTO)					18		400		-8			12480
IV (ei LTO:a)					21	-32	800					50880
										33312	8077,2	101640
										ϕ_{TOT}	143029	

5.6 Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittava teho ja varaajan mitoitus

Vuonna 2013 Jakun koulun veden kulutus oli 234 m³ ja vuonna 2014 kulutuslukema oli 241 m³. Näistä lukemista saadaan keskimääräiseksi vuotuiseksi vedenkulutukseksi noin 238 m³. Lämpimän käyttöveden kulutukseksi määritetään yleisesti 30 % veden kokonaiskulutuksesta muissa kuin asuinrakennuksissa. Täten $V_{LKV} = 0,3 * 238 \text{ m}^3 = 71,4 \text{ m}^3$. (12.)

Veden lämmittämiseen tarvittava energia saadaan laskettua kaavalla 7 (12):

$$Q_{LKV} = 58 * V_{LKV} = 58 * 71,4 = 4141 \text{ kWh}$$

KAAVA 7

Koulun lämmintä vettä tarvitsevien vesipisteiden normivirtaamien summa on 4,4 l/s, ja tätä vastaava mitoitusvirtaama on 0,71 l/s. Tarvittavan lämpimän käyttöveden mitoituslämpötila on 55 °C. Kylmän veden mitoituslämpötila on 5 °C. Veden lämmitykseen tarvittava teoreettinen huipputeho saadaan seuraavasti. (12.)

$$\Phi = \rho \cdot c \cdot q \cdot \Delta T$$

$$\Phi = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,00071 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot (55 - 5)^\circ\text{C} = 149,1 \text{ kW}$$

Lähellekään kaikki vesipisteet eivät kuitenkaan missään tilanteessa ole yhtä aikaa käytössä, eikä koulujen tapauksessa lämpimän veden käyttö jakaudu tasaisesti jokaiselle päivälle. Koulujen kesäloman kesto on noin 9–10 viikkoa, ja kun huomioidaan joului-, syys- ja talvilomat, voidaan todeta koulujen olevan käytännössä käyttämättöminä ainakin 12 viikkoa vuoden 52 viikosta. Näin veden lämmittämiseen kuluvan energian ajatellaan jakautuvan neljällekymmenelle viikolle, jona koulu on käytössä. Viikoittain käyttövuorokausia on 5, joten vuotuisia käyttövuorokausia on yhteensä $40 \cdot 5 = 200$ vrk. Mitoitavaksi lämpimän käyttöveden energiamääräksi saadaan näin 4141 kWh / 200 vrk = 20,7 kWh / vrk. Vuorokauden sisälläkin tämä tarvittava energiamäärä sijoittuu käytännössä lähinnä aikavälille klo 8–16, ja selkeästi suurimmillaan käyttötarve on noin 2–3 tunnin jakson aikana keskipäivän tienoilla. Tämän huippukulutusjakson perusteella voidaan suorittaa suuntaa antavat varaajan mitoituslaskelmat.

Pesuallas

- Mitoitusvirtaama 0,2 l/s
- Keskimääräinen veden lämpötila 35 °C
- Tehontarve:

$$\Phi = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot 0,0002 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot (35 - 5)^\circ\text{C} = 25,2 \text{ kW}$$

- Käyttöaika 30 sek
- Energian kulutus yhdellä kerralla

$$Q = 25,2 \text{ kW} \cdot \frac{30\text{s}}{3600\text{s}} = 0,21 \text{ kWh}$$

- Kokonaisenergiankulutus 2 tunnin huippujaksolla, käyttökertoja 50 kpl

$$Q = 50 \cdot 0,21 \text{ kWh} = 10,5 \text{ kWh}$$

Astianpesukone

RVV-käsikirja antaa astianpesukoneen energiantarpeeksi 2 kWh / kerta (13.)

- Kokonaisenergiankulutus 2 tunnin huippujaksolla, käyttökertoja 2 kpl

$$Q = 2 \cdot 2 \text{ kWh} = 4 \text{ kWh}$$

Suihkujen huomiointi laskelmissa koulun keskipäivän jaksolla on harkinnanvaraista. Oppilaat ja opettajat eivät käy kesellä päivää suihkussa joitain mahdollisia äärimmäisen harvinaisia poikkeuksia lukuun ottamatta. Mikäli tällainen ääritilanne otetaan kuitenkin mitoituksessa huomioon ja joku sattuisi huippukulutusaikana käymään suihkussa, voidaan energiantarpeeseen lisätä yhden suihkun käyttökerran mukaisesti 5 kWh, RVV-käsikirjan likimääräiseen ohjeeseen pohjautuen. (13.)

Kahden tunnin huippukulutusjakson energiankulutukseksi saadaan siis 10,5 kWh + 4 kWh + 5 kWh = 19,5 kWh. Edelleen huippukulutusjakson keskitehoksi saadaan 19,5 kWh / 2 h = 9,8 kW. Varaajan ja maalämpöpumpun on siis kyettävä tuottamaan 9,8 kW:n keskiteho lämpimän käyttöveden huippukulutusjaksolle.

Suoritetaan teoreettinen laskelma tarvittavalle varaajan tilavuudelle kaavan 8 (13.) mukaan, kun ajatellaan varaajassa huippukäyttöajan lämpötilan laskuksi 15 °C, 65 asteesta 50 asteeseen.

$$V = \frac{Q}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T} = \frac{19,5 \cdot 3600 \text{ kWh}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{C}} \cdot 988 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 15 \text{ C}} = 1,128 \text{ m}^3 = 1128 \text{ l} \quad \text{KAAVA 8}$$

Q = huippukulutusjakson energiamäärä

c_p = veden ominaislämpökapasiteetti

ρ = veden tiheys

ΔT = lämpötilan muutos

Yllä olevan laskelman energiamäärään Q sisältyy myös maalämpöpumpun varaajaan lataama energia huippukulutusjakson aikana. Tarkkaa maalämpöpumpun tuottamaa energiamäärää huippukulutusjaksolla ei tiedetä. Laskelma varaajan tilavuudelle on perusteltua suorittaa yllä olevalla tavalla, siten että kaikki tarvittava energia ajateltaisiin otettavan varaajasta, vaikka maalämpö-

pumpun tuottoakin on todellisuudessa koko ajan mukana. Tällöin varaajan tilavuuslukemaan saadaan reilusti varmuutta. Kun tarvittavaksi tilavuudeksi on laskettu 1128 litraa huomioimatta pumpun huippukulutusjakson energiantuottoa, voidaan perustellusti arvioida 1000 litran säiliön riittävän hyvin, koska maalämpöpumppukin kuitenkin lataa varaajaa koko ajan. Mikäli koululla olisikin runsaasti iltakäyttöä, varaajatilavuus voitaisiin vaihtoehtoisesti mitoittaa myös kahdelle kulutushuipulle. Tällöin olisi perusteltua jopa tuplata varaajatilavuus 2000 litraan. Hyvin todennäköisesti 1000 litran varaaja on kuitenkin riittävä Jakun koulun tapauksessa, jossa ei pienistä vedenkulutusluke- mista päätellen ole mitään merkittävää iltakäyttöä.

Lämpimän käyttöveden varaaja ladataan täyteen rakennuksen käyttöajan ulkopuolella yöaikana, ennen seuraavan keskipäivän tienoon kulutushuippua. Maalämpöpumppusysteemin teho riittää hyvin varaajan varaamiseen, koska latausaika ennen uutta käyttöhuippua on todella pitkä ja IV-järjestelmän lämmitystarve on tuolloin todella pieni.

6 PORAKAIVOT JA LÄMMÖNKERUUPIIRI

Tässä kohteessa ainoa varteenotettava lämmönkeruutapa on porakaivoihin tuleva lämmönkeruupiiri. Vaakaputkistolle ei löydy tarpeeksi suurta vapaata maapinta-alaa. Vaikka koulu sijaitseekin joen rannalla, veteen asennettava putkistokaan ei ole järkevä vaihtoehto tarvittavan pitkän putkiston ja haasteellisen vesiasennuksen takia.

6.1 Jakkukylän geoenergiapotentiaali

Yli-lin Jakkukylän geoenergiapotentiaali on hyvä Geologian tutkimuskeskuksella teetetyt tutkimuksen mukaan. Maaperän kivilaji on luokiteltu toiseksi parhaaseen kategoriaan, jonka lämmönjohtavuutena on useissa kirjallisuuden laskelmissa käytetty 3,08 W/mK. Yleisesti ottaen Jakkukylän alue on määritelty neljästä eri Oulun seudun kategoriasta geoenergiapotentiaaliltaan parhaaseen, jossa myöskään kallioperä ei ole syvällä pintamaakerrosten peitossa. Täten lähtökohdat maalämpökaivojen poraamiselle ovat varsin hyvät. Käytännössä kuitenkin tällaisissa kohteissa, joissa järjestelmä on moninkertaisesti esimerkiksi tavallista pientaloa suurempi, on järkevää ja tarpeellista suorittaa koeporaus ennen lopullista tarkkaa kaivosuunnitelmaa ja -mitoitusta. Mikäli esimerkiksi kallioperä onkin selvästi odotettua syvemmällä, lopulliset kaivojen lukumäärä- ja syvyysmitoitukset tulevat poikkeamaan jonkin verran alustavista arvioista ja suunnitelmista. (14.)

6.2 Rakennuksen lämmitysenergian tarve

Rakennuksen vuotuiseksi lämmitysenergian tarpeeksi on laskettu noin 218 000 kWh öljynkulutustietojen ja öljynpolton hyötysuhdemittausten perusteella. Laskennallinen lämmityksen huipputehon tarve on 143 kW. Järjestelmän määrääväksi mitoittavaksi tekijäksi tulee lämmityksen tarvittava huipputeho 143 kW. Lämpimän käyttöveden varaajaa ladataan rakennuksen käyttöajan ulkopuolella IV-koneiden ollessa poissa käytöstä, joten varaamiseen tarvittava teho ei nosta mitoittavaa huipputehon tarvetta.

Lasketaan myös rakennuksen kokonaisenergiantarve lämpöhäviöiden huipputehontarpeen laskelmien ja Rakentamismääräyskokoelman osan D5 vuoden 1985 version IV-järjestelmän lämmitysenergiantarpeen laskuohjeen mukaan. Lisätään laskelmaan myös lämpimän käyttöveden energiantarve $Q_{LV} = 4144 \text{ kWh}$.

Rakennuksen lämpöhäviöiden energiantarve

$$Q_{LH} = G_{LH} \cdot S_{17}$$

G_{LH} = lämpöhäviötehon konduktanssi

$$G_{LH} = \frac{\Phi_{LH}}{\Delta T} = \frac{41 \text{ kW}}{(21 - (-32))^\circ\text{C}} = 0,773 \frac{\text{kW}}{^\circ\text{C}}$$

$S_{17} = 5057 \text{ }^\circ\text{C vrk}$, joka on Oulun alueen keskimääräinen vuotuinen lämmitystarveluku ilmatieteen laitoksen määritelmän mukaan. (15.)

$$Q_{LH} = G_{LH} \cdot S_{17} = 0,773 \frac{\text{kW}}{^\circ\text{C}} \cdot 5057 \text{ }^\circ\text{C vrk} \cdot 24 \frac{\text{h}}{\text{vrk}} = 93\,817 \text{ kWh}$$

Ilmanvaihdon lämmitysenergiantarve

Ilmanvaihdon energiantarve lasketaan RakMK osan D5 vuoden 1985 version ohjetta soveltaen. Laskennassa käytettävä ilmavirta on suoraan koko IV-järjestelmän käyntiajoilla painotettu D3 LTO-laskimella laskettu keskimääräinen ilmavirta sekä lämmitystarvelukuna käytetään S_{20} sijaan lukua S_{17} , joka huomioi rakennuksen sisäiset lämpökuormat. (16.)

$$Q_{IV} = \rho \cdot c \cdot q_{IV} \cdot S_{17} \cdot 24 \cdot r - Q_{LTO}$$

KAAVA 9

ρ = ilman tiheys

c = ilman ominaislämpökapasiteetti

q_{IV} = käyntiajoilla painotettu ilmavirta

S_{17} = Oulun alueen keskimääräinen vuotuinen lämmitystarveluku (15.)

24 = muuntokerroin, jolla muutetaan astepäiväluku astetunneiksi

r = kerroin joka huomioi IV-järjestelmän vuorokautisen käyntiajan

Q_{LTO} = LTO-laitteistoilla hyödyksi saatava energiamäärä

Käytetään siis käyntiajoilla painotettua ilmavirtaa q_{IV} , joka saadaan laskettua LVI-kortistosta löytyvän RakMK D3 ohjeisiin perustuvan LTO-hyötysuhteen taulukkolaskimen perusteella. (17.) Laskimen tarkoituksena on määrittää koko ilmanvaihtolaitteiston vuosihyötysuhde. Vuosihyötysuhteen avulla saadaan laskettua myös Q_{LTO} . Laskimeen syötetään kaikkien eri IV-laitteiden ilmavirrat, käyntiaikatekijät ja laitekohtaiset lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteet laitteille, joissa on LTO. Levylämmönsiirtimien vuosihyötysuhteille on mahdotonta haarukoida mitään yleispätevää keskimääräistä vuosihyötysuhdearvoa, mutta useita erilaisia laskelmia ja määritelmiä tutkien voidaan pätevästi todeta, että vuosihyötysuhdearvot sijoittuvat hyvin usein 50 - 60 %:n tienoille. Koska energiantarvelaskelmaan halutaan varmuutta, käytetään laskelmassa hyötysuhteena maltillisesti 50 %:n arvoa.

Tulo- ja poistoilmavirrat ajatellaan laskelmassa samoiksi. Likaisten tilojen poistoilmavirraksi saadaan noin $0,2 \text{ m}^3 / \text{s}$. Likaisten tilojen huippuimurit toimivat tällä samalla ilmavirralla aina. Lämmöntalteenotolla toimivien IV-koneiden käyntiajaksi ajatellaan 10 tuntia vuorokaudessa, eli 8 tunnin varsinaisen rakennuksen käyttöajan lisäksi laitteita pidetään toiminnassa tunti ennen ja tunti jälkeen käyttöajan. Keittiön ja teknisen työn koneiden käyntiajaksi ajatellaan 8 tuntia vuorokaudessa. Teknisen työn osalta tehostetun ilmavirran käyttöaika on tunti. Keittiön tehostetun ilmavirran käyttöajaksi määritetään kaksi tuntia.

TAULUKKO 3. Ilmanvaihdon vuosihyötysuhteen laskenta, RakMK D3 LTO-laskin (17)

								Poistoilmavirta, m^3 [$q_{v,p}$]	Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η_a]
								0,754	29,6 %
LTO-vaatimuksen IV-koneet	Käyttötapa	Mitoitus- tuloilmavirta	Mitoitus- poistoilmavirta	Käyttö- ilmavirta- kerroin	Käyttöajan keskimääräinen poistoilmavirta, m^3/s	Käyntiaikatekijät		Käyntiajoilla painotettu poistoilmavirta, m^3/s	Ilmanvaihtokoneen LTO:n vuosihyötysuhde, % [$\eta_{a,IVkone}$]
Paivalualue		m^3/s	m^3/s		m^3/s	τ_d h/vrk	τ_w vrk/vko		
Koko rakennus, pl. Keittiö ja Tekn.työ	arki 8-16	1,5	1,5	1	1,500	10	5	0,446	50 %
Keittiön IV, tehostettu aika	Tehostus	0,3	0,3	1	0,300	2	5	0,018	0 %
Likaisten tilojen poistot	Jatkuva		0,2	1	0,200	24	7	0,200	0 %
Teknisen työn IV, tehostettu aika	Tehostus	0,15	0,15	1	0,150	1	5	0,004	0 %
Keittiön IV, Normaali käyttöaika	Normikäyttö	0,3	0,3	1	0,300	6	5	0,054	0 %
Teknisen työn IV, Normaali käyttöaika	Normikäyttö	0,15	0,15	1	0,150	7	5	0,031	0 %

Käyntiajoilla painotettu poistoilmavirta on siis $0,754 \text{ m}^3 / \text{s}$ ja koko ilmanvaihtojärjestelmän vuosihyötysuhde $\eta = 29,6 \%$. Näin saadaan laskettua ilmanvaihdon energiantarve.

$$Q_{IV} = \rho \cdot c \cdot q_{IV} \cdot S_{17} \cdot 24 \cdot r - Q_{LTO}$$

$$Q_{LTO} = \eta \cdot \rho \cdot c \cdot q_{IV} \cdot S_{17} \cdot 24 \cdot r$$

$$Q_{IV} = \rho \cdot c \cdot q_{IV} \cdot S_{17} \cdot 24 \cdot r - \eta \cdot \rho \cdot c \cdot q_{IV} \cdot S_{17} \cdot 24 \cdot r$$

$$Q_{IV} = (1 - \eta) \cdot \rho \cdot c \cdot q_{IV} \cdot S_{17} \cdot 24 \cdot r$$

$$Q_{IV} = (1 - 0,296) \cdot 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 1 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot 0,754 \frac{m^3}{s} \cdot 5057^{\circ}C \cdot vrk \cdot 24 \frac{h}{vrk} \cdot 0,93$$

$$Q_{IV} = 71\ 897\ kWh$$

Rakennuksen kokonaisenergiatarve

$$Q = Q_{LH} + Q_{IV} + Q_{LV} = 93\ 817\ kWh + 71\ 897\ kWh + 4144\ kWh$$

$$= 169\ 858\ kWh$$

Tällä laskennalla saatu noin 170 000 kWh energian kulutus poikkeaa siis hieman yli 20 % öljynkulutuksesta lasketusta 218 000 kWh energiankulutusarvosta. Järjestelmän mitoituksessa käytetään siis tätä suurempaa öljynkulutuksesta laskettua arvoa. Tähän kohtalaiseen eroavaisuuteen löytyy varmasti useitakin syitä. Öljynkulutusmittauksessa ja savukaasuanalysointorin lukemiin perustavassa öljynpolton vuosihyötysuhteen määrittämisessä on luonnollisesti jonkinasteista epävarmuutta. Ilmanvaihtolaitteiston todelliset käyntiajat, ilmavirrat, tulo- ja poistoilman lämpötilojen asetusarvot, lämmöntalteenoton hyötysuhteet ynnä muut voivat poiketa kohtalaisen merkittävästikin laskennassa käytetyistä arvoista. Myös rakenteiden todellinen lämmöneristävyys voi olla aavistuksen heikompi kuin RakMK osan D3 antamalla U-arvoilla saatu lämmöneristävyys. Kun hanke mahdollisesti tulevaisuudessa toteutuu ja käytettävissä on oikeasti resursseja kunnollisiin rakennuksen ja järjestelmien tutkimuksiin suunnittelun pohjatyövaiheessa, saadaan kuitenkin varmuudella todellisuutta vastaavat, täysin pätevät mitoitusarvot ja -tiedot.

6.3 Lämpökaivojen mitoitus

Lämpökaivojen mitoitus simuloitiin Earth Energy Designer (EED) -tietokoneohjelmalla, joka laskee ja optimoi kohteen energian- ja tehontarpeeseen soveltuvia kaivoratkaisuja sekä asettaa vaihtoehdot tietynlaiseen paremmuusjärjestykseen. Mitoitusparametreina käytettiin seuraavia arvoja:

Maaperän ominaisuudet, Oulu:

- Lämmönjohtokyky 3,08 W / mK
- Tilavuuslämpökapasiteetti 2,0 MJ / m³
- Maanpinnan lämpötila 4,0 °C
- Maaperän lämpövuoto 0,04 W / m²

Lämmönsiirto-ominaisuuksien kannalta lämpökaivon optimaalisin halkaisija on 165 mm sekä meno- ja paluuputken etäisyys toisistaan 116 mm. Kaivojen etäisyydeksi toisistaan määritettiin 20 metriä.

Mitoittavana maapiirin lämmönsiirtonesteena käytetään tilavuudeltaan 25 %:n etanoli-vesiliuosta, jonka mitoitusparametrit löytyvät valmiina EED-ohjelmasta. Suomessa käytetään lämmönsiirtonesteena usein 30 %:n etanoli-vesiliuosta, mutta 25 %:n ja 30 %:n liuosten ominaisuuseroilla ei ole lopputuloksen kannalta merkittävää vaikutusta kaivomitoituksen simuloinnissa.

Vuosihyötysuhdekertoimeksi (COP) EED-ohjelmaan syötettiin arvo COP = 3, joka on hyvin yleisesti käytetty lähtökohtainen, likimääräinen mitoitusarvo maalämpöjärjestelmille. Useissa nykyaikaisissa pientalojen maalämpöjärjestelmissä, joissa on lattialämmitys, vuotuinen COP-kerroin on useimmiten 3,5:n ja 4:n välillä. Tällaisessa vanhassa patterilämmityskohteessa COP on aina jonkin verran pienempi, joten arvo 3 on sopiva mitoituslähtökohta. Hyötysuhdekerroin COP (Coefficient Of Performance) ilmaisee siis järjestelmästä hyödyksi saadun lämpöenergian ja järjestelmän sähköverkosta ottaman sähköenergian suhteen. Esimerkiksi jos COP = 3 ja tarvittava lämmitysenergian määrä on 218 000 kWh, kuluu tarvittavan lämmitysenergian tuottamiseen sähköenergiaa 218 000 kWh / 3 = 72 667 kWh. Loput 145 333 kWh lämmitysenergiaa saadaan siis maalämpösystemissä maaperästä.

Tehomitoitus

Tehomitoituksessa määrävänä mitoittavana tekijänä käytetään huipputehontarvetta 143 kW. Lasketaan tarvittava lämpökaivosyvyys ensin erään ilmeisen yleisesti käytetyn Oulun ammattikorkeakoulun Lämmönsiirtotekniikka 3 -kurssin oheismateriaalissa esitetyn likiarvomääritelmän kautta, jonka mukaan lämpökaivosta voidaan ottaa tehoa noin 0,035 kW metriä kohden (18). Koska maa-

lämpöpumpun hyötysuhdekerroin $COP = 3$, yksi kolmasosa tarvittavasta tehosta otetaan sähköverkosta. Maaperästä tarvitaan siis $2/3 * 143 \text{ kW} = 95 \text{ kW}$ tehoa. Tällä laskutavalla koko huipputehontarpeen kattamiseksi tarvittaisiin aktiivista kaivosyvyyttä $95 \text{ kW} / 0,035 \text{ kW/m} = 2714 \text{ m}$.

EED-ohjelmalla saadaan monipuolisemmin ja tarkemmin mitoitettua ja simuloitua optimaalinen lämpökaivoratkaisu. Ohjelmaan syötetään mitoittaviksi arvoiksi 143 kW huipputehontarve ja $218\,000 \text{ kWh}$ energiantarve. Tällöin 143 kW tehosta tulee automaattisesti määräävä mitoittava tekijä.

EED-ohjelman optimointilaskuri määrittää edullisimmaksi kaivoratkaisuksi 12 kaivon systeemin, jossa yhden kaivon syvyys on 204 metriä ja kaivojen kokonaissyvyys yhteensä 2447 metriä. Edellä ilmoitetut kaivojen syvyudet ovat lämmönkeruupiirin aktiivisyvyysiksi. Kaivojen todellinen porattava syvyys tulee olemaan jonkin verran suurempi. Mitoituksessa halutaan käytännössä aina käyttää myös jonkin verran varmuuskerrointa. Tässä laskelmassa käytetään 10% ylimitoitusta, joten kaivojen aktiivisyvyudeksi saadaan yhteensä $1,1 * 2447 \text{ m} = 2692 \text{ m}$. Tällöin kaivokohtainen aktiivisyvyys on $2692 \text{ m} / 12 \text{ kpl} = 224 \text{ m} / \text{kpl}$. Kaivojen porattavan syvyyden voidaan ajatella olevan noin 10 metriä tarvittavaa aktiivisyvyyttä suurempi kaivoa kohden. Näin ollen täystehomitoituksen porattavaksi kokonaissyvyudeksi saadaan lopulta $12 * (224 \text{ m} + 10 \text{ m}) = 2808 \text{ m}$.

Energiamitoitus

Energiamitoituksessa määräävänä mitoittavana tekijänä käytetään vuosittaista energiantarvetta, joka on tässä tapauksessa $218\,000 \text{ kWh}$. Energiamitoituksellekin on olemassa paljon käytetty liikiarvomääritelmä, jonka mukaan lämpökaivosta saadaan energiaa noin 100 kWh metriä kohden. Koska maalämpöpumpun hyötysuhdekerroin $COP = 3$, otetaan yksi kolmasosa tarvittavasta kokonaisenergiasta sähköverkosta. Maaperästä tarvitaan siis $2/3 * 218\,000 \text{ kWh} = 145\,000 \text{ kWh}$ energiaa. Tällä laskelmalla koko vuosittaisen energiantarpeen kattamiseksi tarvittaisiin aktiivista kaivosyvyyttä $145\,000 \text{ kWh} / 100 \text{ kWh/m} = 1450 \text{ m}$.

Tässä energiamäärään perustuvassa mitoituksessa EED-ohjelmaan syötetään $218\,000 \text{ kWh}$ energian tarve, mutta koska nimenomaan energiaa halutaan tarkastella määräävänä mitoitustekijänä, tehoarvoksi ei voida luonnollisestikaan syöttää edellä olevaa 143 kW :n huipputehoa. Tarvitaan siis sopiva, jotakuinkin $218\,000 \text{ kWh}$:n energiamäärää vastaava mitoitustehoarvo, joka ei tule tässä mitoituksessa määrääväksi tekijäksi.

Likimääräisillä mitoitustavoilla laskettuna energiantarpeeseen perustuva kokonaiskaivosyvyys on 1450 metriä, ja vastaavasti tehontarpeeseen perustuva kokonaiskaivosyvyys 2714 metriä. Kaivosyvyyksien suhteella voidaan laskea mitoitukseen käypä energiantarvetta suhteellisen hyvin vastaava mitoitustehoarvo. Näin ollen $218\ 000\ \text{kWh}$ energiantarvetta vastaavaksi tehoksi saadaan $(1450\ \text{m} / 2714\ \text{m}) * 143\ \text{kW} = 76\ \text{kW}$, joka syötetään EED-ohjelman simulointiin.

Laskurilla saadaan tässä tapauksessa edullisimmaksi kaivoratkaisuksi 10 kaivon systeemi, jossa yhden kaivon syvyys on 168 metriä ja kaivojen kokonaissyvyys yhteensä 1680 metriä. Kun käytetään 10 prosentin ylimitoitusta, kaivojen aktiivisyvyudeksi saadaan yhteensä $1,1 * 1680\ \text{m} = 1848\ \text{m}$. Tällöin kaivokohtainen aktiivisyvyys on $1848\ \text{m} / 10\ \text{kpl} = 185\ \text{m} / \text{kpl}$. Kun porattavan syvyyden ajatellaan olevan vielä noin 10 metriä aktiivisyvyyttä suurempi kaivoa kohden, porattavaksi kokonaissyvyudeksi saadaan tässä tapauksessa $10 * (185\ \text{m} + 10\ \text{m}) = 1950\ \text{m}$.

EED-mitointien tarkat raportit kaikkine tarkkoine mitoituservoineen, tuloksineen ja kuvaajineen ovat tämän työn liitteinä (liite 1; liite 2).

Mitointiperusteet

Järjestelmän määrääväksi mitoitavaksi tekijäksi tulee oletusarvoisesti lämmityksen tarvittava huipputeho 143 kW. Tämän tehontarpeen kattamiseksi tarvitaan siis EED-laskennan mukaan 2447 metriä aktiivista kaivosyvyyttä, kun ei huomioida varmuuskerrointa. Tässä on kyseessä siis täystehomitoitus. Maalämpöjärjestelmille käytetään usein myös osatehomitoitusta, joka voi pienimmillään olla jopa vain noin 60 % tarvittavasta huipputehosta. Osatehomitoituksessa tarvittava huipputeho tuotetaan lämmitysjärjestelmään kylmillä säillä sähkövastusten avulla, jolloin tarvittavan lisäenergian sähkökustannukset ja sähköliittymän tarvittava kuormituskyky tulee myös huomioida suunnitelmissa ja laskelmissa.

Kun vertaillaan EED-ohjelman antamien aktiivisten kaivosyvyyksien perusteella täystehomitoitusta ja energiantarpeeseen perustuvaa mitoitusta, saadaan kaivosyvyyksien suhteella laskettua energiantarvemitointuksen tehonpeittoaste, joka on $(1680\ \text{m} / 2447\ \text{m}) = 0,7 = 70\ \%$. Tällaisella mitoituksella saataisiin $0,7 * 143\ \text{kW} = 100\ \text{kW}$ tehoa. Tehomitoitukselle sopivana lähtökohtaisena viitearvoina voitaneen pitää siis noin 100 kW tehoa, jolloin maapiiristä saatava energia kattaa käytännössä lähes kokonaan rakennuksen vuosittaisen energiantarpeen.

Tällaisessa patterilämmityskohteessa, jossa menoveden lämpötila on mitoitettu 70 °C lämpöiseksi, käytetään aina osatehomitoitusta. Maalämpöpumpulla ei ole kannattavaa tehdä yli 60 °C lämpöistä vettä. Kun ulkolämpötila on matalampi kuin –20 °C, tarvitaan patteriverkostossa yli 60 °C lämpöistä menovettä. Tällöin veden lämmittäminen 60 °C korkeampiin lämpötiloihin hoidetaan sähköllä. Vuosittaisen lämpötilan pysyvyyssäyrän avulla pystytään määrittämään tehomitoitusten vuosittaisen energiantarpeen kattavuus. 70-prosenttinen tehomitoitus kattaa kokonaisuudessaan noin 98 % vuotuisesta energiantarpeesta, joten 2 % koko tarpeesta ostetaan tällöin suorana sähköenergiana. Vuosittainen lisälämmitykseen tarvittava sähköenergia saadaan laskettua siis seuraavasti.

$$Q_S = 0,02 \cdot 218\,000 \text{ kWh} = 4360 \text{ kWh}$$

Näillä laskentaperusteilla ja mitoitusarvoilla laskettuna voidaan todeta, että vuosittainen sähkövastuksilla tuotettavan lisäenergian tarve on pieni, vaikka kyseessä onkin vain noin 70 % osatehomitoitus. Laskelmassa ei ole kuitenkaan mukana ajoittaisia lämpimän käyttöveden tarpeita erilliselle sähkölämmitykselle, jotka nostavat lisäsähköenergian kokonaiskulutusta hieman. Koska tässä kohteessa lämpimän käyttöveden lämmitystarve on kuitenkin hyvin pieni muuhun lämmitystarpeeseen nähden ja lämpimän käyttöveden varaajaa ladataan vain ilta- ja yöaikaan IV-laitteiston käyttöajan ulkopuolella nähden, ei lämpimän käyttöveden satunnainen lisälämmön tarve nosta lisälämmityksen sähkökulutuksen vuosittaista kokonaismäärää merkittävästi.

On täysin tapauskohtaista, millainen tehomitoitus on lopulta sopivin ja edullisin ratkaisu missäkin kohteessa. Koska Jakun koululla huipputehontarvetta on vain maksimissaan 8 tuntia pitkissä jaksoissa ilmanvaihtolaitteiston ollessa käytössä ja rakennuksen lämmitysjärjestelmä on mitoitettu korkealle 70 °C lämpötilalle, voidaan lähtökohtaisesti todeta osatehomitoituksen olevan hyvä ratkaisu. Täydelle teholle mitoitettujen järjestelmien investointikustannus on selkeästi suurempi johtuen suurimmaksi osaksi tarvittavasta suuremmasta kaivosyvyydestä. Lämpökaivot porauksineen, putkituksineen ja asennuksineen ovat maalämpöinvestoinnin kallein yksittäinen osa-alue. Myös suuritehoisten maalämpöpumppujen hinta on korkeampi.

Lopulta sopivat tehomitoituksen kokonaisratkaisut riippuvat pitkälti tarjolla olevista lämpöpumppukombinaatioista ja niistä saatavista tehomääristä. Ei ole olemassa juuri täysin oikeaa tarkkaa tehoa mitoitukselle, vaan tarjolla olevista hyvistä vaihtoehdoista haarukoidaan ominaisuuksiltaan kohteeseen mahdollisimman hyvin sopiva ratkaisu.

7 MAALÄMPÖJÄRJESTELMÄTYYPIT

Seuraavassa on esiteltyä erilaiset maalämpöpumppu- ja maalämpöjärjestelmätyypit, joita käytetään erilaisissa kohteissa. Arvioidaan järjestelmien ominaisuuksia, hyviä ja huonoja puolia sekä soveltuvuutta erilaisiin lämmitysjärjestelmäkokonaisuuksiin.

7.1 Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumppu

Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumppu lämmittää veden kokonaan erilliseen varaajaan. Lämpöä ohjataan varaajasta yhtä aikaa sekä käyttövedeen että lämmitykseen. Lämmitysverkostoon menevän veden lämpötila säädellään sopivaksi sekoitusventtiiliin avulla, kuten esimerkiksi öljylämmityksessä. Varaajan tulisi olla riittävän iso, jotta saadaan pumpulle pitkiä käyntijaksoja, eikä pumpun kompressorilla liikaa tiheään tapahtuvilla käynnistyksillä. (20, s. 5.)

Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumppu toimii useimmiten käyttöveden lämmitysvaatimusten mukaan. Suurta varaajaa täytyy pitää lämpimänä, jotta riittävä lämpimän käyttöveden saanti on turvattu. Tämä lämpöpumpputyypin kuluttaa selvästi enemmän sähköä muihin lämpöpumpputyyppeihin verrattuna, koska lämpimän veden tuotannon tulee olla koko ajan suhteellisen suurta. Kiinteän lauhdutuksen maalämpöpumpun etuna on, että sen kanssa voidaan helposti hyödyntää muita lämmitysmuotoja, kuten esimerkiksi puukattilaa. Kattilan lämpö voidaan ohjata helposti samaan yhteiseen varaajaan. (20, s. 6.)

Tämä lämpöpumpputyypin ei ole soveltuva Jakun koululle, jossa lämpimän käyttöveden energiankulutus on todella vähäistä suhteutettuna lämmitysenergian kulutukseen.

7.2 Tulistusmaalämpöpumppu

Tulistusmaalämpöpumpulla tuotetaan lämpöä tavanomaisen lämpöpumpun tapaan, mutta siinä käytetään kahta lämmönsiirintä. Ensimmäinen, kiertopiirissä kompressorin jälkeen oleva lämmönsiirrin on tulistin. Kompressorin tuottaman kuumakaasun lämpöä otetaan heti mahdollisimman kuu-

mana talteen siirtämällä lämpöä lauhduttimessa esilämmitettyyn veteen. Tulistinlämmönsiirrin lämmittelee käyttövettä. Kiertopiirissä tulistimen jälkeen oleva lauhdutin siirtää tulistimen jälkeistä hie- man lauhempaa lämpöä lämmitysjärjestelmään.

Tulistinmaalämpöpumpun lämminvesivaraaja on kahteen osaan jaettu. Tulistimesta saatu lämpö ohjataan varaajan yläosaan ja lauhduttimen lämpö alaosaan. Varaaja on jaettu osiin eräänlaisella reikälevyllä. Mitä vähemmän lauhduttimessa esilämmitettyä vettä ohjataan tulistimeen, sitä kuu- mempaa vettä saadaan. Mitä enemmän lämpöä luovutetaan tulistimessa käyttövedeen, sitä vähem- män lämpöä riittää lauhduttimessa tilojen lämmittämiseen. (20, s. 6.)

Tulistimen teho on vain noin 15 - 20 % kompressorin tehosta, joten käyttöveden lataus tapahtuu hitaasti ja vaatii pitkiä käyntijaksoja. Tällöin myös valtaosa lataustehosta ohjautuu lämmitysjärjes- telmään. Lämmityskaudella tämä tulistumaalämpöpumpun ominaispiirre on etu, ja tällöin lämpö- kerroin COP on verrattain korkea. Toisaalta kesäisin tulistusmaalämpöpumppu tuottaa ikään kuin turhaan myös ylimääräistä lämpöä lämmitysjärjestelmään. Tämä rinnakkaistoimivuus on siis myös järjestelmän haittapuoli, kun ei voida optimoida järjestelmän toimintaa tehokkaasti käyttöveden ja lämmitysjärjestelmän tarpeiden mukaan. (20, s. 7.)

Myöskään tämä maalämpöpumpputyyppe ei ole sopiva Jakun koulun tarpeisiin. Tulistusmaalämpö- pumppu on parhaimmillaan kohteissa, joissa käyttöveden kulutus on läpi vuoden tasaista ja kulu- tushuiput kohdistuvat lämmityskaudelle.

7.3 Vaihtuvan lauhdutuksen maalämpöpumppu

Vaihtuvan lauhdutuksen maalämpöpumppu eli ns. vaihtventtiilipumppu tuottaa lämpöä tarpeen mukaan joko lämpimään käyttövedeen tai lämmitysjärjestelmän tarpeisiin. Kun tarvitaan lämmintä käyttövettä, kohdistetaan pumpun koko teho hetkellisesti käyttövesivaraajassa olevaan kierukkaan. Kierukan läpi kulkeva kuuma vesi lämmittelee varaajassa olevan käyttöveden nopeasti haluttuun lämpötilaan.

Kun käyttöveden tavoitelämpötila on saavutettu, käännetään vaihtventtiilillä pumppusysteemi tuottamaan lämpöä lämmitysverkostoon. Pumppu käy silloin, kun lämmitystarvetta on. Vaihtuvan lauhdutuksen maalämpöpumppu tuottaa lämpöä suoraan lämmitysverkostoon oikean lämpöisenä ulkolämpötilasta riippuen. Korkeita menoveden lämpötiloja tarvitaan vain kovimmilla pakkasilla. Lämmityskaudella kovia pakkasia on harvoin, ja näin vaihtuvan lauhdutuksen pumpulla voidaan tuottaa matalalämpöistä vettä pitkiä jaksoja. Hyvän tarpeen mukaisen säädettävyyden ansiosta vaihtuvan lauhdutuksen maalämpöpumpulla on useimmiten helppo saavuttaa parempi vuosihyötysuhde kuin edellä mainituilla maalämpöpumpputyypeillä. (20, s. 8.)

Vaihtuvan lauhdutuksen pumppu on oikea maalämpöpumpputyyppi Jakun koulun tarpeeseen, koska lämpimän käyttöveden energiantarve on hyvin pieni lämmitysverkoston tarpeisiin nähden. Koulun lämmitystarpeet ovat myös jaksoittaisesti epätasaisemmat kuin esimerkiksi asuinrakennuksen. Lämpimän käyttöveden kulutushuiput ajoittuvat muutaman tunnin jaksolle puolen päivän tienoille arkipäivinä. Myös IV-järjestelmän käyttöajan ulkopuolella iltaisin, öisin ja viikonloppuisin lämmitysverkoston energiankulutus on huomattavasti vähäisempää kuin rakennuksen käyttöaikana. Näissä olosuhteissa on siis tarpeellista säädellä maalämpöpumpun toimintaa tarkasti tarpeiden mukaan.

Kun maalämpöjärjestelmällä korvataan öljylämmitteinen korkeille lämpötiloille mitoitettu patteriverkosto, tarvitaan lämmitysverkostolle käytännössä aina puskurivaraaja kasvattamaan lämmitysverkoston vesitilavuutta. Ilman varaajaa maalämpöpumppu lämmittää korkeille lämpötiloille mitoitettun, vesitilavuudeltaan pienehkön patteriverkoston nopeasti, ja lämmitystarpeen loputtua pumppu pysähtyy. Patterit luovuttavat lämmön nopeasti huoneistoihin ja pumpun on käynnistyttävä jälleen pian uudelleen. Tarpeeksi suuren puskurivaraajan avulla pumpun käyntiajat saadaan mahdollisimman pitkiksi. Näin pumpun kompressori ei rasitu turhaan useista tiheistä käynnistyksistä, ja laitteiston huoltovapaa käyttöikä pitenee. Pumpun pitkät käyntijaksot parantavat myös järjestelmän lämpökerrointa. Lämmitysverkoston suuren vesitilavuuden ansiosta myös pattereiden lämpötilat pysyvät tasaisina, eikä lämpimän veden tuoton aikana patterit aiheuta napsuvaa ääntä. (20, s. 9)

8 SUUNNITELMAT JA TARJOUKSET

Optimaalisten toteutusvaihtoehtojen kartoittamiseksi maalämpöjärjestelmien toimittajilta tiedusteltiin järjestelmäsuosituksia ja mitoituskalkelmia edellä esitettyihin omiin tutkimuksiin, laskelmiin ja analyysihin pohjautuen. Lähestyin useita maalämpöalan yrityksiä ja sain kolmelta firmalta hyvät arviointikelpoiset suunnitelmat ja tarjoukset tätä mahdollisesti tulevaisuudessa toteutettavaa maalämpöinvestointia ajatellen. Näitä saatuja suunnitelmia ja tarjouksia arvioitiin ja lopulta valittiin paras vaihtoehto esimerkkiratkaisuksi. Huomattava on toki, että mahdollista investointia toteutetussa tulevaisuudessa tarkat ammattilaisten laatimiin LVI-suunnitelmiin pohjautuvat ratkaisut voivat poiketa jonkin verran tässä työssä esitetyistä ratkaisuista.

8.1 Seneran tarjous

Ensimmäisenä käsitellään ja arvioidaan Seneran tarjousta tähän mahdollisesti tulevaisuudessa toteutettavaan hankkeeseen. Tämä on kolmesta tarkasteltavasta vaihtoehdosta tarjouksena kattavin, koska se sisältää kaikki tarvittavat laitteet ja työvaiheet asennustöineen öljykattilan purkamisesta lähtien.

Senera tarjoaa maalämpöpumppuratkaisuksi yhtä IVT Geo G280 -maalämpöpumppua, joka antaa tehoa noin 100 kW. Tällä mitoituksella katetaan 143 kW:n tehontarve 70-prosenttisesti. Lämpöpumppu toimii kahdella scroll-kompressorilla, joilla saadaan hyvä portaittainen lämpötehon säätyvyys. Kahden kompressorin käyttäminen lisää myös järjestelmän toimintavarmuutta huomattavasti. Tämä maalämpöpumppu on siis tyypiltään vaihteventtiilipumppu, kuten muidenkin tarjoajien pumput.

Seneran laskelmissa mitoittavaksi energiamääräksi on määritetty noin 238 000 kWh. Seneran tarjouksen laskelman mukaan maalämpöpumppu kuluttaa vuodessa sähköenergiaa 69 360 kWh. Näin saadaan määritettyä vuotuinen maalämpöpumpun hyötysuhdekerroin $COP = 238\,000\text{ kWh} / 69\,360\text{ kWh} = 3,43$. Koska varsinainen mitoittava vuotuinen energiantarve on 218 000 kWh, saadaan maalämpöjärjestelmän sähkönkulutukseksi $218\,000\text{ kWh} / 3,43 = 63\,567\text{ kWh}$.

Kovilla pakkasilla tarvittava sähkövastuksilla tuotettava lisälämmitysteho kuluttaa Seneran arvion mukaan suoraa sähköenergiaa vuositasolla vielä noin 2 550 kWh, mutta koska kokonaisenergian tarve onkin lopulta 218 000 kWh Seneran mitoituksessa käytetyn 238 000 kWh sijaan, käytetään vuotuisena lisälämmityksen sähköenergian kulutuksena arvoa $(218\,000\text{ kWh} / 238\,000\text{ kWh}) * 2550\text{ kWh} = 2336\text{ kWh}$. Tämä arvioitu lukema on melko pieni. Osuus vuosittaisesta kokonaisenergian kulutuksesta on vain $2336\text{ kWh} / 218\,000\text{ kWh} = 0,011 = 1,1\%$. Aiemmin on jo todettu, että 70 % tehomitoitettu järjestelmä kattaa maksimissaan noin 98 % kokonaisenergiatarpeesta ja vähintään 2 % osuudesta on suoraa sähköenergiaa. Käytetään siis laskelmassa 2 % osuuden mukaan laskettua vuosittaista lisäsähköenergiamäärää, mikä on $0,02 * 218\,000\text{ kWh} = 4360\text{ kWh}$. Vuosittaiseksi ostettavaksi sähköenergian määräksi saadaan siis lopulta $63\,567\text{ kWh} + 4360\text{ kWh} = 67\,927\text{ kWh}$.

Lämpökaivoratkaisuksi Senera tarjoaa 7 kappaletta 275 metriä syviä kaivoja, joiden kokonaisvyvyys on 1925 metriä. Lämpimän käyttöveden varaajaksi Senera tarjoaa 1000 litran suuruista säiliötä kahdella lämmityskierukalla. Puskurivaraajaksi lämpöpumpun ja lämmitysverkoston väliin tarjotaan 750 litran varaajaa, johon liitetään kaksi 9 kW tehoista sähkövastusta kovien pakkasten huipputehontarpeen kattamiseksi.

Seneran tarjouksen kokonaishinta muodostuu seuraavista osa-alueista:

- Maalämpöpumppulaitteisto	35 047 euroa
- Lämpökaivot ja lämmönkeruuputket lämpökaivoihin	55 724 euroa
- Kokoomakaivoilla toteutettu lämmönkeruujärjestelmä	8 850 euroa
- Runkolinjat kokoomakaivoille	1 696 euroa
- Lämmönkeruujärjestelmä rakennuksen sisällä	2 900 euroa
- Erillinen lämpimän käyttöveden varaaja	4 408 euroa
- Puskurivaraajan asennus	4 297 euroa
- Vanhan öljykattilan purku + piha- ja maansiirtotyöt	5 234 euroa
YHTEENSÄ	118 156 euroa

8.2 Gebwellin tarjous

Toisena käsitellään Gebwellin tarjous, joka sisältää vain maalämpölaitteiston ja kaivojen porauksen. Tarjous ei sisällä asennustöitä eikä laitteiden välisiä putkituksia.

Gebwell tarjoaa maalämpöpumppuratkaisuksi kahta Gemini 52 -maalämpöpumppua. Yhden lämpöpumpun lämpöteho on noin 52 kW. Tämäkin lämpöpumppu toimii kahdella scroll-kompressorilla. Gemini 52 -maalämpöpumpuilla pystytään tarvittaessa tuottamaan lämpöä yhtä aikaa sekä käyttövedeen, että lämmitysjärjestelmään. Kyseessä on siis vaihtoverkkojärjestelmä, jossa kytkennät on toteutettu siten, että molempien systeemien tarpeita voidaan palvella myös yhtä aikaa.

Gebwellin laskelmissa näiden kahden lämpöpumpun antotehoksi on määritetty 96,4 kW, joka on 67 % rakennuksen huipputehon tarpeesta. Gebwellin tarjous taas on mitoitettu 210 000 kWh vuosittaisen energiantarpeen mukaan, jolloin maalämpöpumppu kuluttaa vuodessa sähköenergiaa 54 270 kWh. Lasketaan näiden kahden maalämpöpumpun systeemin vuosittainen hyötysuhde COP = 210 000 kWh / 54 270 kWh = 3,86. Koska varsinainen mitoitettava vuotuinen energiantarve on 218 000 kWh, saadaan maalämpöjärjestelmän sähkönkulutukseksi 218 000 kWh / 3,86 = 56 477 kWh.

Kovilla pakkasilla tarvittava sähkövastuksilla tuotettava lisälämmitysteho kuluttaa Gebwellin arvion mukaan suoraa sähköenergiaa vuositasona vielä noin 6730 kWh. Muutetaan tämäkin arvo vielä 218 000 kWh kokonaisenergiatarvetta vastaavaksi kertomalla suhdeluvulla (218 000 kWh / 210 000 kWh) * 6730 kWh = 6986 kWh. Vuosittaiseksi ostettavaksi sähköenergian määräksi saadaan siis 56 477 kWh + 6986 kWh = **63 463 kWh**.

Lämpökaivoratkaisuksi tarjotaan 10 kappaletta 207 metriä syviä kaivoja, joiden aktiivisyvyys on 1965 metriä ja kokonaissyvyys on 2070 metriä. Gebwellin suunnitelmassa myös käyttövesipuolella käytetään 1000 litran suuruista puskurivaraajaa. Tämän jälkeen piirissä on käyttöveden lämmönsiirrin, jonka tehtävänä on lämmittää käyttövesi. Systeemiin on rinnalle suunniteltu vielä 300 litran suuruinen erillinen sähköinen vedenlämmitin, jonka on tarkoitus toimia varsinaisen käyttöveden lämmönsiirtimen tukena kulutushuippujen aikana. Systeemi eroaa siis esimerkiksi Seneran suunnitelmasta, jossa ei ole puskurivaraajan ja lämmönsiirtimen yhdistelmää, vaan pelkkä 1000 litran lämpimän käyttöveden varaaja, jota ladataan kahdella kierukalla.

Puskurivaraajaksi lämpöpumpun ja lämmitysverkoston väliin Gebwell tarjoaa myös 1000 litran varaajaa, johon sisältyy myös kaksi 9 kW:n tehoista sähkövastusta kovien pakkasten huipputehon tarpeen kattamiseksi.

Gebwellin tarjouksen osa-alueet:

- | | |
|--|----------------------|
| - Maalämpöpumppulaitteisto kokonaisuudessaan | 58 196 euroa |
| o Sisältää maalämpöpumput (2 kpl), käyttöönoton, venttiilit, lämmityksen säätöryh-
mät, käyttövesisiirrinpaketin ja puskurivaraajat (2 kpl) tarvikkeineen | |
| - Lämpökaivot ja lämmönkeruuputket lämpökaivoihin | 71 300 euroa |
| - Erillinen käyttöveden lämmitin 300 l | 1 347 euroa |
| Yhteensä | 130 843 euroa |

Yllä olevasta puuttuu Seneran tarjoukseen verrattaessa seuraavat osa-alueet:

- | | |
|---|-------------|
| - Kokoomakaivoilla toteutettu lämmönkeruujärjestelmä | 8 850 euroa |
| - Runkolinjat kokoomakaivoille | 1 696 euroa |
| - Puskurivaraajan asennus | 4 297 euroa |
| - Vanhan öljykattilan purku + piha- ja maansiirtotyöt | 5 234 euroa |

Kun nämä lasketaan yhteen, saadaan puuttuvien tarvittavien osa-alueiden arvoksi Seneran hinnoittelulla laskettuna noin 20 000 euroa. Jos tämä Gebwellin tarjous halutaan vertailukelpoiseksi Seneran kokonaispaketin kanssa, puuttuville osa-alueille on määritettävä jokin hinta. Käytämme siis yllä listattujen tarjoukseen kuulumattomien töiden ja laitteistojen suuntaa antavana hintana tätä 20 000 euron suuruista Seneran hintaa. Näin Gebwellin kokonaispaketin vertailuhinnaksi saadaan yhteensä 130 843 + 20 000 = **150 843 euroa**.

8.3 Niben tarjous

Niben tarjous on näistä kolmesta vertailtavasta tarjouksesta suppein. Se sisältää vain maalämpöpumppulaitteiston. Tarjoukseen ei ole sisällytetty kaivojen porausta ja lämmönkeruupiirien asennusta, eikä mitään asennustöitä ja tarvittavia oheislaitteita. Tarjousta on siis hieman hankala verrata edellä oleviin täytenä kokonaisuutena, koska esimerkiksi erikseen tilatuille lämpökaivoille on

suhteellisen vaikea määrittellä kustannuksia. Jonkinlaisena yleispätevänä likiarvona porauskustannusten arviointiin Niben edustajat suosittelivat likimain 25 - 30 euroa aktiivista kaivosvyösymetriä kohden. Maalämpöpumppulaitteiston osalta Niben tarjous on varsin hyvä ja kattava.

Nibe tarjoaa maalämpöpumppuratkaisuksi kahta erilaista yhdessä toimivaa lämpöpumppumallia, joista toinen on Nibe 1345-40 ja toinen Nibe 1345-60. Toisen lämpöpumpun maalämpöpumpun nimellisteho on 40 kW ja toisen 60 kW. Edellä esitettyjen lämpöpumppujen tapaan, myös tämä lämpöpumppu toimii kahdella scroll-kompressorilla.

Tästä kahden pumpun systeemistä saadaan Niben laskelmien mukaan hyödyksi noin 88 kW teho, joka kattaa 62 % huipputehontarpeesta. Niben tarjouksen laskelmassa on annettu suoraan maalämpöpumppusysteemin COP-kerroin, joka on 3,71. Näin pumppujen kuluttamaksi sähköenergiaksi saadaan $218\,000\text{ kWh} / 3,71 = 58\,760\text{ kWh}$.

Niben mitoitus perustuu täysin huipputehon tarpeeseen, eikä IV-laitteiston käytön ulkopuolisia aikoja ole huomioitu mitoituksessa. Näin heidän mitoituksensa antaa vuotuisesti energiankulutukseksi 349 246 kWh. Tällä energialaskelmalla tarvittavaksi lisälämmitysenergian sähkökulutukseksi on saatu 9794 kWh. Muunnetaan lukema 218 000 kWh kokonaisenergian tarpeeseen sopivaksi jälleen suhdeluvulla laskien, eli sähköllä tuotettavan lisäenergian kulutukseksi saadaan $(218\,000\text{ kWh} / 349\,246\text{ kWh}) * 9794\text{ kWh} = 6113\text{ kWh}$. Vuosittaiseksi ostettavaksi sähköenergian määräksi saadaan siis $58\,760\text{ kWh} + 6113\text{ kWh} = \mathbf{64\,873\text{ kWh}}$.

Lämpimän käyttöveden varaajaksi Niben suunnitelmassa tarjotaan 750 litran suuruista säiliötä yhdellä lämmityskierukalla. Kuten Seneran systeemissä, myös Niben järjestelmään tarjotaan pientä 300 litran sähkövaraajaa mahdollisten harvinaisten lämpötilanotkahdusten varalle. Puskurivaraajaksi lämpöpumpun ja lämmitysverkoston väliin tarjotaan 1000 litran varaajaa. Lisäksi varaajaan on mitoitettu yksi 9 kW:n tehoinen sähkövastus huipputehontarpeen kattamista varten.

Vaikka Niben tarjoukseen ei sisällykään varsinaista kaivoratkaisua, tarjouksessa on ilmoitettu laskelmiin liittyvä kaivojen aktiivinen porausvyövyys 2166 metriä. Suoritetaan karkea porauskustannuslaskelma siten, että yhden kaivometrin porauskustannus on 30 euroa. Näin Niben ratkaisun porauskustannuksiksi saataisiin $2166\text{ m} * 30\text{ e/m} = 64\,980\text{ e}$ eli noin 65 000 euroa.

Niben maalämpöpumppulaitteiston kokonaishinta on 32 825 euroa (ALV 0 %) ja sisältää kahden maalämpöpumpun lisäksi venttiilit, säätöpiirit, puskurisäiliön, lämminvesivaraajan, lisävastukset. Kun hinta muunnetaan ALV 24 % -hinnaksi, jotta siitä saadaan vertailukelpoinen aiempien toimittajien antamien ALV 24% hintojen kanssa, Niben maalämpöpumppulaitteiston hinta on $1,24 * 32\ 825\ \text{euroa} = 40\ 703\ \text{euroa}$.

Jotta Niben tarjouksesta saadaan vielä kokonaisuutena vertailukelpoinen kahden edellisen kanssa, lisätään maalämpöpumppulaitteiston kokonaishintaan karkeasti arvioidut porauskustannukset ja Gebwellin tarjouksestakin puuttuvat, Seneran tarjoukseen sisältyvät osa-alueet, joiden arvoksi määriteltiin jo aiemmin noin 20 000 euroa. Näin Niben järjestelmän kokonaishinnaksi saadaan $40\ 703\ \text{e} + 65\ 000\ \text{e} + 20\ 000\ \text{e} = \mathbf{125\ 703\ \text{euroa}}$.

9 KUSTANNUKSET JA TAKAISINMAKSUAIKA

Kun eri maalämpötoimittajien tarjoukset on arvioitu, lasketaan investointien kokonaiskustannukset pitkällä aikavälillä. Tarjouksista saatujen investointien hintojen lisäksi lasketaan maalämpöjärjestelmien kuluttaman sähköenergian kustannukset ja verrataan kokonaiskustannuksia toisiinsa sekä vanhan öljylämmityskäyrän kustannuksiin.

9.1 Öljylämmityksen vuosikustannukset

Keuyen polttoöljyn keskihinta toukokuussa 2015 on 0,94 euroa/litra. (21.) Jakun koulun keskimääräinen öljynkulutus on vuosien 2013 ja 2014 tilastoihin perustuen 27 660 litraa/vuosi. Näillä arvoilla laskettuna öljylämmityksen vuosikustannuksiksi saadaan

$$27\ 660\ \text{l/a} * 0,94\ \text{e/l} = \mathbf{26\ 000\ \text{e/a}}$$

9.2 Maalämmön vuosikustannukset

Sähkön kokonaishinnan määrittämiseksi käytetään Oulun Energian hinnastoa toukokuulta 2015. Valitaan tuotteeksi Yleissähkö 2. Kokonaishinta koostuu seuraavista tekijöistä:

- sähkö 4,72 snt/kWh (22.)
- siirtomaksu Yli-lin verkossa 3,25 snt/kWh (23.)
- sähkövero 2,79 snt/kWh (23.)
- **YHTEENSÄ 10,76 snt/kWh = 0,1076 e/kWh**

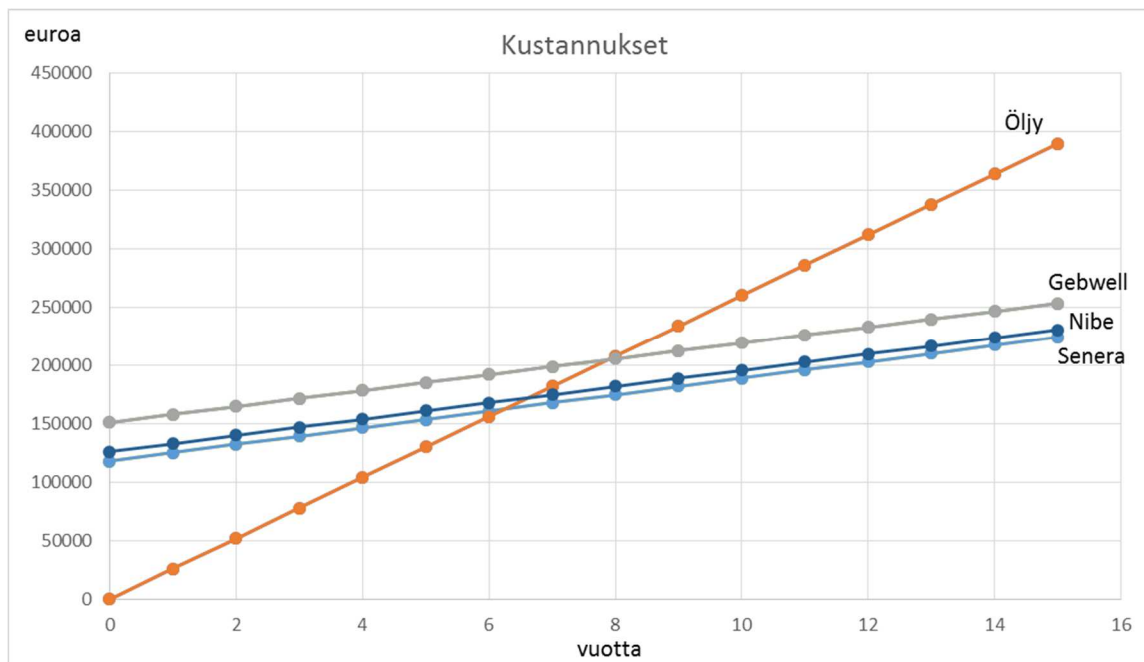
Seneran maalämpöjärjestelmän sähkön kulutukseksi on edellä määritelty 67 927 kWh/vuosi. Tämän maalämpöjärjestelmän lämmöntuoton vuosikustannuksiksi saadaan siis $67\ 927\ \text{kWh/a} * 0,1076\ \text{e/kWh} = \mathbf{7\ 309\ \text{e/a}}$

Gebwellin maalämpöjärjestelmän sähkön kulutukseksi on edellä määritelty 63 463 kWh/vuosi. Tämän maalämpöjärjestelmän lämmöntuoton vuosikustannuksiksi saadaan $63\ 463\ \text{kWh/a} * 0,1076\ \text{e/kWh} = \mathbf{6\ 829\ \text{e/a}}$

Niben maalämpöjärjestelmän sähkön kulutukseksi on edellä määritelty 64 873 kWh/vuosi. Tämän maalämpöjärjestelmän lämmöntuoton vuosikustannuksiksi saadaan $64\,873 \text{ kWh/a} * 0,1076 \text{ e/kWh} = 6\,980 \text{ e/a}$

9.3 Investointien suora takaisinmaksuaika

Seuraavaksi määritetään maalämpöjärjestelmien investoinnin suorat takaisinmaksuajat. Seneran vaihtoehdossa investoinnin hinta on noin 118 000 euroa, Gebwellin ratkaisussa noin 151 000 euroa ja Niben systeemille kustannus on noin 126 000 euroa. Kuvassa 5 on havainnollistettu maalämpöjärjestelmien investointi- ja käyttökustannukset, öljylämmityksen käyttökustannukset ja maalämpöinvestointien suorat takaisinmaksuajat öljylämmityksen kuluihin verrattuna.



KUVA 5. Öljylämmityksen ja vertailussa olevien maalämpöratkaisujen kokonaiskustannukset 15 vuoden aikana

Seneran järjestelmän investoinnin takaisinmaksuaika on hieman yli kuusi vuotta ja Niben järjestelmän noin kuusi ja puoli vuotta. Jonkin verran kalliimpi Gebwellin järjestelmä taas maksaa investoinnin takaisin kahdeksassa vuodessa. Lainojen korkokustannuksia ei ole huomioitu näissä takai-

sinmaksuaikojen laskelmissa, joten todellisuudessa investointikustannukset tulevat olemaan aavistuksen korkeammat ja takaisinmaksuajat hieman pidemmät. Korkokuluilla ei kuitenkaan lopulta ole kovin merkittävää vaikutusta takaisinmaksuajan pituuteen.

9.4 Vertailu

Seneran vaihtoehto on siis investointikustannukseltaan edullisin. Eroa Niben järjestelmän kustannuksiin on 8000 euroa ja Gebwellin kustannuksiin 33 000 euroa. Seneran ja Niben investointikustannuksen välinen ero ei ole kovinkaan merkittävä, mutta Niben tapauksessa vain maalämpöjärjestelmän hinta on tarkasti määritetty. Kaivoporaus-, asennus-, putkitus- ym. kustannukset ovat vain arvioita, joten todellisuudessa Niben järjestelmän kokonaishinta voi olla tästä arviosta jonkin verran poikkeava. Gebwellin järjestelmä on selkeästi investointikustannukseltaan kallein. Kun sitä verrataan esimerkiksi Seneran kokonaisuuteen, tuo selkeä 33 000 euron hintaero selittyy suurimmaksi osaksi porauskustannuksilla, jotka ovat Seneran tarjouksessa jopa noin 16 000 euroa edullisemmat. Myös Gebwellin maalämpöpumppujen hinta on noin 7000 euroa korkeampi Seneran pumppuratkaisuun verrattuna.

Seneran kaivoratkaisun kokonaissyvyys on 1925 metriä, kun taas Gebwellin systeemin kaivosyvyys on 2070 metriä ja Niben ratkaisun syvyys peräti 2166 metriä. EED-ohjelman kaivomitoitus taas antoi täyستehomitoituksella viitteelliseksi tarvittavaksi kaivosyvyudeksi 2447 metriä.

Näissä kolmessa vertailtavassa ratkaisussa ei ole tehomitoituksessa kovin merkittäviä eroja. Seneran vaihtoehdossa tehomitoitus on 70 %, Gebwellillä 67 % ja Nibellä 62 %. Tehomitoituseroilla ei siis suoraan voida selittää suhteellisen suurta kustannuseroa Gebwellin vaihtoehdon sekä halvempien Seneran ja Niben vaihtoehtojen välillä, koska maalämpöpumppujen tehoarvot ja mitoitettut kaivosyvyydet ovat melko lähellä toisiaan. Myöskään tarjouksien kaivosyvyydet eivät ole mitenkään suoraan linjassa tehomitoituslukemien kanssa.

Gebwellin ratkaisuissa on selkeä ero lämpimän käyttöveden tuottotavassa. Seneran ja Niben systeemissä on lämminvesivaraaja, jota lämmitetään kierukalla. Gebwellin systeemissä on puskurivaraaja, joka lämmittää edelleen käyttöveden lämmönsiirintä. Lämmönsiirtimen apuna on lisäksi 300 litran sähköisesti lämmitettävä vedenlämmitin kulutushuippujen äkillistä vedenlämmitystarvetta var-

ten. Gebwellin puskurivaraaja + lämmönsiirrin -systeemi saattaisi olla tyypiltään optimaalinen tällaiseen kohteeseen, jossa lämpimän käyttöveden kulutus on suhteellisesti todella vähäistä, mutta Seneran ja Niben ratkaisut toimivat epäilemättä mainiosti nekin. Tämä Gebwellin lämpimän käyttöveden tuottosysteemi saattaa myös olla pieni osatekijä kalliimman hinnan muodostumisessa.

Seneran vaihtoehto valikoituu vertailussa lopulta parhaaksi kokonaisuudeksi. Tarjous on varsin kattava, yksityiskohtainen, kokonaisvaltainen ja selkeä sekä ainoa, joka sisältää kaikki tarvittavat työvaiheet ja laitteet alusta loppuun. Ratkaisu on myös investointikustannuksiltaan edullisin ja huomattavasti edullisempi esimerkiksi Gebwellin vastaavaan verrattuna. Kokonaishinnan edullisuutta selittää suurelta osin vähäisempi kaivometrimäärä ja pienemmät porauskustannukset. Gebwellin vaihtoehdossa on myös omat etunsa, koska systeemi on teknisesti ehkä jonkin verran monipuolisempi. Niben systeemiin verrattaessa ei Seneran ratkaisu ole merkittävästikään edullisempi, mutta koska Niben tarjous sisältää varsinaisesti ainoastaan maalämpöjärjestelmän laitteet eikä esimerkiksi kaivoporausta sekä muita asennus- ja työkustannuksia, on se kokonaiskustannusarvioltaan kuitenkin suhteellisen karkea verrattuna Seneran kokonaisvaltaiseen tarjoukseen.

Kuvasta 8 voidaan lukea, että viidentoista vuoden aikana Seneran maalämpösysteemin investointi- ja käyttökulut ovat tämänhetkisillä sähkön hinnoilla yhteensä arviolta noin 225 000 euroa, kun Gebwellin vastaava lukema on arviolta 255 000 euroa. Niben järjestelmän vastaavat kustannukset ovat tällä aikavälillä noin 230 000 euroa. Öljylämmityskustannukset ovat tämänhetkisillä öljyn hinnoilla viidessätoista vuodessa noin 390 000 euron suuruiset. Kun verrataan viidentoista vuoden öljylämmityskustannuksia edullisimman Seneran maalämpövaihtoehdon vastaavan ajan kokonaiskustannuksiin, kustannussäästöä on kertynyt viidessätoista vuodessa jo $390\,000\text{ e} - 225\,000\text{ e} = \mathbf{165\,000}$ euroa.

10 YHTEENVETO

Öljyllä lämmitettäviä rakennuksia on Suomessa haja-asutusalueilla varsin paljon. Myös Oulun Tilakeskuksen hallinnoimasta kaupungin kiinteistökannasta löytyy melko paljon näitä öljykohteita. Perusparannushankkeiksi on ehdolla useita vanhoja öljylämmityskohteita, joiden lämmitysjärjestelmä olisi tarkoitus päivittää maalämpöön samalla muidenkin perusparannustoimenpiteiden yhteydessä. Kuten tämäkin suhteellisen kattava tutkimus osoittaa, öljylämmityksen päivittämisessä maalämpöön on suuri potentiaali merkittävälle energia- ja kustannussäästöille. Erittäin merkittävä tekijä on myös lämmitysjärjestelmän ympäristökuormituksen pieneneminen, koska lämmön tuottamiseen tarvittava energiamäärä pienenee murto-osaan eikä synny enää öljyn polton aiheuttamia päästöjä.

Ainoa merkittävä tällaisia lämmitysjärjestelmäpäivityksiä jarruttava tekijä on kuitenkin raha. Maalämpöjärjestelmän investointikustannus on verrattain suuri. Myös takaisinmaksuajan pituudella on suuri merkitys investointipäätöstä tehtäessä. Tässä esimerkkitapauksessa parhaaksi valikoituneen maalämpöjärjestelmän noin kuuden vuoden takaisinmaksuaika on varsin kohtuullinen, ja esimerkiksi kymmenen vuoden päästä lämmityskustannusten säästöä on kertynyt noin 70 000 euroa. Viidessätoista vuodessa säästö on jo noin 165 000 euron suuruinen. Näin voidaan todeta investoinnin olevan pidemmällä tähtäimellä todella kannattava.

Pientaloissa, joissa kokonaisenergiantarve on huomattavasti tätä esimerkkitapausta pienempi, lämmitysjärjestelmän maalämpöpäivityksen takaisinmaksuun kuluu usein selvästikin pidempi aika. Jos lämmönkeruupiiri on mahdollista toteuttaa vaakakeruuputkistolla ja talossa on valmiina esimerkiksi lattialämmitys, saattaa investointikustannus olla kuitenkin hyvin edullinen ja takaisinmaksuaika lyhyt. Vaakakeruuputkisto on lämpökaivoa edullisempi investointi ja lattialämmityksen kanssa maalämpöpumppujen hyötysuhteet ovat selvästi korkeammat kuin kuumempaa vettä vaativan patteriverkoston kanssa. Jos taas talossa on patteriverkosto ja käytetään lämpökaivoa, investointikustannukset ja takaisinmaksuajat ovat suhteellisesti jonkin verran korkeammat kuin edellisessä esimerkkitapauksessa.

Jokainen kohde on kuitenkin lopulta omanlaisensa, ja kuten tästäkin työstä käy ilmi, maalämpöjärjestelmän tarkassa mitoituksessa ja suunnittelussa edellytetään hyvin tarkkoja, monipuolisia koh-

teen taustatutkimuksia ja laskelmia. Oikeassa hankkeen valmistelussa ja suunnittelussa menetelmät ovat vielä selkeästi tarkempia ja kokonaisvaltaisempia kuin mitä näillä opinnäytetyöresursseilla ja saatavissa olleilla arkistomateriaaleilla oli mahdollista toteuttaa.

Tässä kohteessa, sekä kouluissa yleensäkin, on tärkeätä huomioida monien muiden seikkojen ohella esimerkiksi juuri ilmanvaihtolaitteiston käyttöajat ja ominaisuudet huolella ja oikein, koska rakennuksen lämmitystehontarpeessa on todella suuri ero IV-laitteiston käyttöaikana ja sen ulkopuolella. IV-lämmitykseen kuluva vuosittainen kokonaisenergiamäärä on myös varsin suuri osa koko rakennuksen vuosittaisesta lämmitysenergian kulutuksesta. Esimerkiksi asuinrakennuksissa, joissa IV-laitteistoa käytetään käytännössä aina samalla teholla, tämä osa-alue ei vaadi näin monipuolista erityistarkastelua.

Maalämpö on kiistatta taloudellisesti ja ekologisesti kannattava ja tehokas uusiutuva energiantuotantomuoto. Sen mahdollisuudet ja potentiaali pienten ja keskisuurten rakennusten energiankulutuksen pienentämiseksi ovat todella hyvät. Etenkin pientaloja suurempien kohteiden merkittävien investointikustannuskynnysten madaltamiseen tulisi panostaa esimerkiksi valtion toimesta tehokkaammin, jotta maalämpöinvestointien toteuttamista saataisiin vauhditettua. Jonkinlaisia tukimuotoja maalämpöinvestoinneille on jo olemassa, mutta suuremmat kannustimet investointien helpottamiseksi olisivat jo lähitulevaisuudessa tulevaisuudessa todella tervetulleita.

LÄHTEET

1. Heikkinen, Susanna. Lämpöä maasta. 2009. Lämpöä maasta. GeoFoorumi, Retkellä. Geologian tutkimuskeskus.
Saatavissa: <http://www.geofoorumi.fi/retkella/lampoamaasta.html>
Hakupäivä: 22.1.2015
2. Suuri lämpöpumppukirja. 2014. Thermia lämpöpumput Helsinki: Gravity, GVT-Group Oy.
3. Lämmitysjärjestelmän valinta. 2014. Motiva Oy.
Saatavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta
Hakupäivä: 28.1.2015
4. Maalämpöpumppu. 2014. Motiva Oy.
Saatavissa: http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/eri_lammitys_muodot/maalampopumppu
Hakupäivä: 28.1.2015
5. Energiatietoa 2015. Maalämpö. Saimaa Gardens Services.
Saatavissa: <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=43>
Hakupäivä: 30.1.2015
6. Jakun koulu. Koulun esittely. 2015. Oulun kaupunki.
Saatavissa: <http://www.ouka.fi/oulu/jakun-koulu/koulun-esittely>
Hakupäivä: 3.2.2015
7. Kevytöljy-, kaasu- ja yhdistelmäpolttimet. 2014. Oilon.
Saatavissa: http://www.oilon.com/uploadedFiles/Oilon/Materials/Oilon_2_FI.pdf
Hakupäivä: 25.2.2015
8. Vuorelainen, Olavi 1978. LVI-tekniikka, polttoaineet ja polttolaitteet. Espoo: Otapaino.
9. Lämmönsiirtotekniikka -kurssin luentomateriaalit 2013. Oulun ammattikorkeakoulu. Oulu.

10. Öljykattilalaitoksen käyttö- ja suunnittelutietoa. 1989. Neste. Helsinki: Valtion painatuskeskus.
11. D3 (2012). 2011. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
Saatavissa: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf
Hakupäivä: 28.2.2015
12. Kiinteistöjen energianhallinta. 2015. Kulutuksen normitus. Motiva. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi.
Saatavissa: http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi
Hakupäivä: 11.3.2015
13. Rakennusten vesijohdot ja viemärit. 1987. Suomen kunnallisteknillinen yhdistys. Porvoo: Oy Uusimaa.
14. Breilin – Huusko – Martinkauppi – Putkinen – Wik. 2013. Oulun geoenergiapotentiaalin kartointus. Geologian tutkimuskeskus, Kokkola.
Saatavissa: http://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=1f321dbe-e25d-4ee2-bdcd-c87c31a66450&groupId=64220
Hakupäivä: 10.1.2015
15. Lämmitystarveluvut. 2015. Ilmatieteen laitos.
Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut>
Hakupäivä: 31.5.2015
16. D5 1985. Rakennusten lämmityksen ja tehontarpeen laskenta. Ohjeet 1985. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö
Saatavissa: http://www.energiakorjaus.info/pages/files/rakmk_old_fi/D5_1985_Rakennusten_lammituksen_tehon_ ja_energiatarpeen_laskenta.pdf
Hakupäivä: 5.6.2015

17. Rakennustieto 2015. LVI Net. LVI 30047. D3 LTO-laskin 2012, versio marraskuu 2011.
Saatavissa: <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/lvi/kortit/30047>
Hakupäivä: 5.6.2015
18. Lämmitystekniikka 3 -kurssin luentomateriaalit. 2014. Oulun ammattikorkeakoulu. Oulu.
19. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. 2012. Ympäristöministeriö. Maankäyttö ja rakentaminen. Lainsäädäntö ja ohjeet. Rakentamismääräyskokoelma.
Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma\(3624\)](http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Suomen_rakentamismaarayskokoelma(3624))
Hakupäivä: 12.6.2015
20. Lehtinen, Jari. 2013. Maalämpöpumpun ja maalämmön valinta. Lämpövinkki Oy.
Saatavissa: <http://www.lampovinkki.fi/DowebEasyCMS/Sivusto/Dokumentit/ladattavatoppaat-jatyokalut/Maal%C3%A4mp%C3%B6pumpun%20ja%20maal%C3%A4mm%C3%B6n%20valinta%20pikaopas.pdf>
Hakupäivä: 26.4.2015
21. Kevyt polttoöljy (lämmitysöljy) reaalihintaa, ennuste, kehitys. 2015. Consumer Direct.
Saatavissa: <http://www.cdfin.info/light.html>
Hakupäivä: 20.5.2015
22. Sähkön hinta. 2015. Oulun Energia.
Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoa-kotiin/sahkon-hinta>
Hakupäivä: 21.5.2015
23. Yleissähkön siirtohinnoista. 2015. Oulun Energia.
Saatavissa: <https://www.ouluenergia.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoverkkopalvelut/verkkopalveluhinnasto/sahkon-siirtohinnoista/yleissahkon>
Hakupäivä: 21.5.2015

mitoitus_energia

EED Version 3.16 - www.buildingphysics.com - license for ESA.PAKONEN, OAMK.FI
 Syöttö tiedosto:C:\Users\admin2.TTYLL-LVI-A03.002\Desktop\Jakun
 koulu\JAKKU_MITOITUS2_energia.dat
 Tämä tulos tiedosto:JAKKU_MITOITUS2_ENERGIA.OUT Päivä: 6/12/2015 Aika:
 12:38:33 PM

Projektin muistiinpanot
 []

Yhteenveto	
Hinta	-
Porareikien lukumäärä	10
Porakaivon syvyys	168.09 m
Porakaivon yhteispituus	1680.90 m

SUUNNITTELU TIEDOT

=====

MAA

Maaperän lämmönjohtavuus	3.080 W/(m·K)
Maaperän lämpökapasiteetti	2.000 MJ/(m ³ ·K)
Maanpinnan lämpötila	4.00 °C
Maaperän lämpövuoto	0.0400 W/m ²

Porausreikä

Kokoonpano:	113 ("10 : 4 x 4 U-configuration")
Porakaivon syvyys	168.09 m
Porakaivojen väli	20.00 m
Porakaivon asennus	Normi-U
Porakaivon halkaisija	165.10 mm
U-putken halkaisija	32.000 mm
U-putken paksuus	3.000 mm
U-putken lämmönjohtokyky	0.420 W/(m·K)
U-putken käyrän halkaisija	116.000 mm
Kaivonesteiden lämmönjohtavuus	0.600 W/(m·K)
Kontak.Lämpövast. putki/kaivoneste	0.0000 (m·K)/W

LÄMPÖVASTUKSET

Porakaivon lämpövastus neste/maa	0.1000 (m·K)/W
Porakaivon lämpövastus sisäinen	0.5000 (m·K)/W
Sisäinen lämmönsiirto meno ja paluuputken välillä vakio	

LÄMMÖNSIIRTONESTE

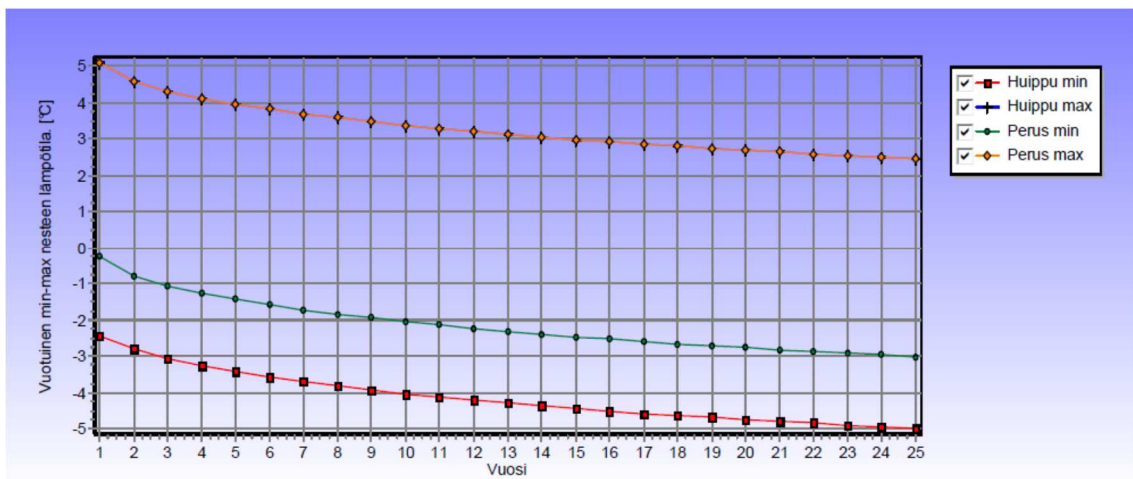
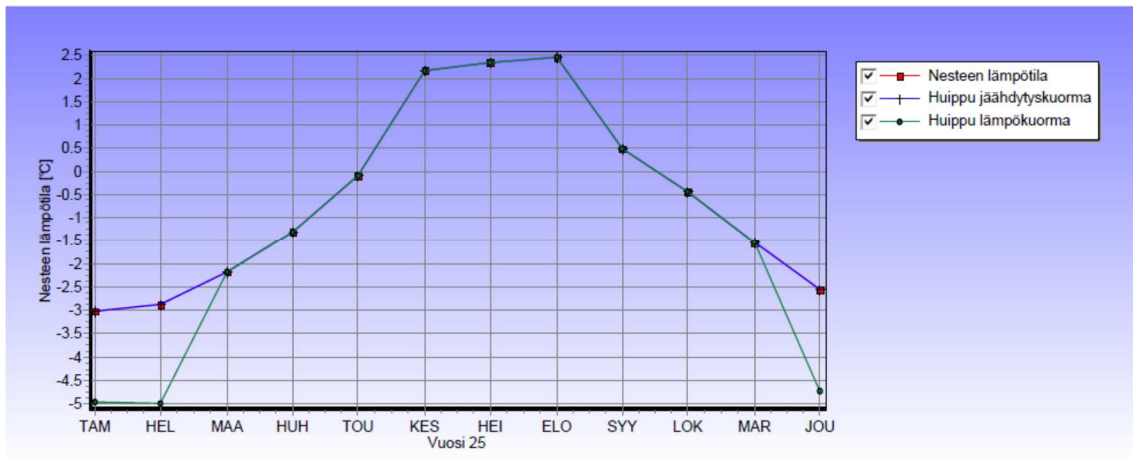
Lämmönjohtokyky	0.4400 W/(m·K)
Ominaislämpökapasiteetti	4250.000 J/(Kg·K)
Tiheys	960.000 Kg/m ³
Viskositeetti	0.007600 Kg/(m·s)
Jäätymispiste	-15.0 °C
Virtaus per porakaivo	2.000 l/s

PERUSKUORMA

Vuotuinen LKV kuorma	4.20 Mwh
Vuotuinen lämpökuorma	218.00 Mwh
Vuotuinen jäähdytyskuorma	0.00 Mwh

LKV:n COP	3.00
vuosi COP (lämmitys)	3.00
vuosi COP (jäähdytys)	3.00

Kuukausittainen energiaprofiili [Mwh]					
Kuukausi	Kerroin	Lämpö	Kerroin	Kylmä	Maaperä
TAM	0.155	34.14	0.000	0.00	22.760



mitoitus_teho

EED Version 3.16 - www.buildingphysics.com - license for ESA.PAKONEN, OAMK.FI
 Syöttö tiedosto:C:\Users\admin2.TTYLL-LVI-A03.002\Desktop\Jakun
 koulu\Jakku_mitoitus2.dat
 Tämä tulos tiedosto:JAKKU_MITOITUS2.OUT Päivä: 6/12/2015 Aika: 12:21:13 PM

Projektin muistiinpanot
 []

Yhteenveto	
Hinta	-
Porareikien lukumäärä	12
Porakaivon syvyys	203.93 m
Porakaivon yhteispituus	2447.22 m

SUUNNITELU TIEDOT
 =====

MAA

Maaperän lämmönjohtavuus	3.080 W/(m·K)
Maaperän lämpökapasiteetti	2.000 MJ/(m ³ ·K)
Maanpinnan lämpötila	4.00 °C
Maaperän lämpövuoto	0.0400 W/m ²

Porausreikä

Kokoonpano:	188 ("12 : 4 x 4 open rectangle")
Porakaivon syvyys	203.93 m
Porakaivojen väli	20.00 m
Porakaivon asennus	Normi-U
Porakaivon halkaisija	165.10 mm
U-putken halkaisija	32.000 mm
U-putken paksuus	3.000 mm
U-putken lämmönjohtokyky	0.420 W/(m·K)
U-putken käyrän halkaisija	116.000 mm
Kaivonesteen lämmönjohtavuus	0.600 W/(m·K)
Kontak.Lämpöväst. putki/kaivoneste	0.0000 (m·K)/W

LÄMPÖVASTUKSET

Porakaivon lämpövästus neste/maa	0.1000 (m·K)/W
Porakaivon lämpövästus sisäinen	0.5000 (m·K)/W
Sisäinen lämmönsiirto meno ja paluuputken välillä vakio	

LÄMMÖNSIIRTONESTE

Lämmönjohtokyky	0.4400 W/(m·K)
Ominaislämpökapasiteetti	4250.000 J/(Kg·K)
Tiheys	960.000 Kg/m ³
Viskositeetti	0.007600 Kg/(m·s)
Jäätymispiste	-15.0 °C
Virtaus per porakaivo	2.000 l/s

PERUSKUORMA

Vuotuinen LKV kuorma	4.20 Mwh
Vuotuinen lämpökuorma	218.00 Mwh
Vuotuinen jäähdytyskuorma	0.00 Mwh

LKV:n COP	3.00
vuosi COP (lämmitys)	3.00
vuosi COP (jäähdytys)	3.00

Kuukausittainen energiaprofiili [Mwh]

Kuukausi	Kerroin	Lämpö	Kerroin	Kylmä	Maaperä
TAM	0.155	34.14	0.000	0.00	22.760
HEL	0.148	32.61	0.000	0.00	21.743

