

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

Talotekniikka

Miika Hietanen

VESISTÖLÄMMÖN HYÖDYNTÄMINEN LÄMPÖPUMPUN
LÄMMÖNLÄHTEENÄ

Opinnäytetyö

Kesäkuu 2021



OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2021
Talotekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä
Miika Hietanen

Nimeke
Vesistölämmön hyödyntäminen lämpöpumpun lämmönlähteenä

Toimeksiantaja
Niemi Energy Oy

Tiivistelmä

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia vesistölämmön hyödyntämistä lämpöpumpun lämmönlähteenä. Työssä käsiteltiin vesistölämmön hyödyntämistä avoimen järjestelmän ja vesistövaihdinratkaisun osalta. Esimerkkikohteenä työssä oli vesistön välittömässä läheisyydessä sijaitseva Kuortaneenjärven urheilupuisto. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Niemi Energy Oy, joka on lappeenrantalainen LVI-tekniikan, rakennusautomaation ja energiatekniikan suunnittelu- ja konsultointitoimisto.

Työssä selvitettiin ensin vesistön soveltuvuus esimerkkikohteen lämmönlähteeksi ja arviointiin vesistöä saatavat lämpötilat. Vertailuun valittiin vesistöä kaksi vaihtoehtoista vedenottoa paikkaa, ja tarkasteltiin, kuinka niiden sijainti ja niistä saatavat lämpötilat vaikuttavat hyötysuhteisiin, putkimitoituksiin ja käyttökustannuksiin. Tulokset laskettiin muutamassa eri tehomitoituspisteessä. Lisäksi työssä vertailtiin vesistölämmön ja maalämmön kustannuksia sekä käsiteltiin vesistölämmön hyödyntämiseen liittyviä lupa-asioita.

Työssä saatiin kokonaiskuva vesilämmön suunnitteluun vaikuttavista seikoista. Työn tulokset osoittavat, että vesistön avulla pystytään tuottamaan esimerkkikohteen vaatima lämpöenergia. Vesistölämmön todettiin olevan maalämpöä edullisempi ratkaisu kyseisessä kohteessa. Avoin järjestelmä oli investointikustannuksiltaan suotuisampi, ja myös kokonaispumppauskustannusten laskettiin useimmissa tehomitoituspisteissä olevan tällä vaihtoehdolla alhaisemmat.

Kieli
suomi

Sivuja 50
Liitteet 8
Liitesivumäärä 21

Asiasanat

vesistölämpö, vesistölämmönsiirrin, lämpöpumppu



THESIS
June 2021
Degree Programme in Building
Services Engineering

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
FINLAND
+ 358 13 260 600

Author
Miika Hietanen

Title
Utilization of Water Heat as a Source for Heat Pump

Commissioned by
Niemi Energy Oy

Abstract

The purpose of this thesis was to study the utilization of water heat as a source for heat pump. This thesis dealt with the utilization of water heat for an open system and a water heat exchanger solution. The subject is the sports college of Kuortaneenjärvi, which is located in the immediate presence of a body of water. This thesis was commissioned by Niemi Energy Oy, which is a HVAC engineering, building automation and energy engineering company located in Lappeenranta.

The suitability of the water body as a heat source for the subject and the assessment of the temperature available from the water body were first investigated. Two alternative water intake places were selected from the body of water, and then examined how their locations and the temperatures affect performances, pipe design and operating costs. The results were calculated in a few different dimensioning points of heat pump power. Furthermore, the costs of water heat and ground heat were compared, and the authorization matters of water heat were handled in this thesis.

In the thesis, a general view of things that affect the designing of water heat systems was formed. The results show that the heat energy required by the subject can be generated with the body of water. Water heat was noted to be more inexpensive than ground heat for the subject. Open system was more affordable, and the overall pumping costs were calculated to be lower in most of the dimensioning points of heat pump power.

Language

Finnish

Pages 50

Appendices 8

Pages of Appendices 21

Keywords

water heat, water heat exchanger, heat pump

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Työn rajauser.....	2
3	Maalämpö ja maalämpöpumppu	2
4	Vesistö ja vesilämpö	5
4.1	Vesistön kerrostuneisuus	5
4.2	Lupa-asiat	7
5	Lämmönotto vesistöstä	9
5.1	Vesistöpiiri	9
5.2	Vesistön veden suora kierrätys	10
5.2.1	Levylämmönsiirrin	11
5.2.2	Pumppaus.....	13
5.3	Vesistölämmönvaihdin	13
6	Esimerkkikohde.....	15
6.1	Energiankulutukset.....	15
6.2	Kuortaneenjärven lämpömäärä	16
7	Putkilinjojen ja pumppauksen mitoitus	20
7.1	Tilavuusvirta	20
7.2	Sisähalkaisija ja virtausnopeus	21
7.3	Painehäviö	21
7.3.1	Reynoldsin luku	22
7.3.2	Kinemaattinen ja dynaaminen viskositeetti	22
7.3.3	Kitkavastuskerroin	23
7.4	Nostokorkeus.....	24
8	Järjestelmän mitoitus	24
8.1	Vedenotto- ja purkupaikka.....	25
8.2	Lämpötilatasojen määrittely	27
8.3	Lämpöpumpun tuotto-osuus.....	28
8.3.1	SCOP	31
8.3.2	COP	33
9	Tulokset.....	36
9.1	Imulinjat.....	36
9.2	Pumppujen valinta.....	37
9.3	Poistolinjat ja keruupiiri	39
10	Maalämpö esimerkkikohteessa	40
11	Kustannusvertailu	41
12	Pohdinta.....	43
	Lähteet	46

Liitteet

- Liite 1 Kuortaneenjärven syvyyskartta
- Liite 2 Kaavat putkiston ja pumppauksen mitoitus varten.
- Liite 3 PE-100-muoviputken hinta- ja kokotaulukko
- Liite 4 Etanoli-vesiseoksen tekniset tiedot
- Liite 5 Etanoli-vesiseoksen laskentakaavat
- Liite 6 Teholaskenta tuottolämpötilojen mukaan
- Liite 7 TL10-BFG-lämmönvaihtimen mittakuva ja tekniset tiedot
- Liite 8 T20-PFM-lämmönvaihtimen mittakuva ja tekniset tiedot

1 Johdanto

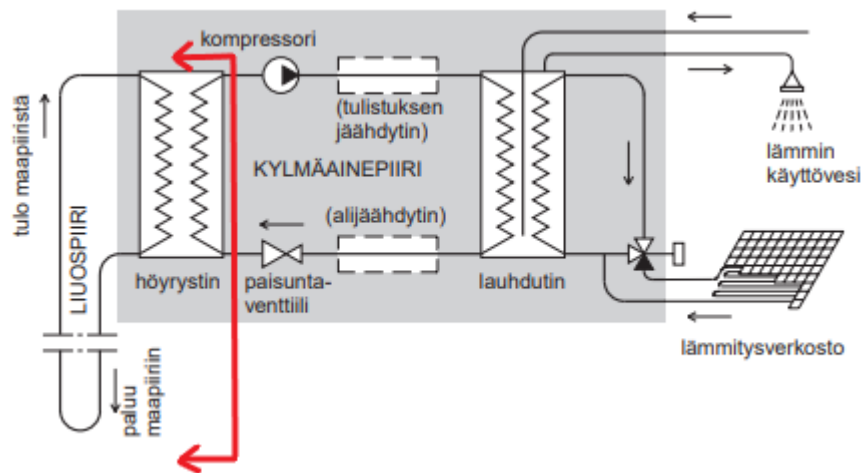
Ilmaston lämpenemistä aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä noin 80 % on peräisin energian tuotannosta ja kulutuksesta mukaan lukien liikenne [1]. Suomi on osana Euroopan unionia (EU) sitoutunut Pariisin ilmastopöytäkirjaan, jonka tavoitteena on saavuttaa EU:n hiilineutraalius vuoteen 2050 mennessä [2]. Hallitusohjelman (2019) tavoitteena on tehdä Suomesta sekä hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä että ensimmäinen fossiilivapaa hyvinvointiyhteiskunta [3]. Uusiutuvat energianlähteet ovat keskeisessä roolissa näiden tavoitteiden saavuttamisessa, ja energian hintojen noustessa erilaiset lämpöpumpusovellukset ovatkin kohentaneet kannattavuuttaan [4].

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin vesistölämmön hyödyntämistä lämpöpumpun lämmönlähteenä. Esimerkkikohteena oli Kuortaneenjärven läheisyydessä sijaitseva lämpöverkosto. Työn tavoitteena oli selvittää mitoitusparametrit vesistölämmön hyödyntämiselle ja saada käsitystä siitä, kuinka erilaiset vesistölämmön hyödyntämisvaihtoehdot eroavat toisistaan.

Työssä tarkastellaan avointa järjestelmää ja vesistövaihdinratkaisua. Avoimessa järjestelmässä vesistön vettä kierrätetään lämmönjakohuoneessa lämmönsiirtimen kautta ja palautetaan takaisin vesistöön. Vesistövaihdinratkaisussa lämmönkeruu toteutetaan vesirajaan asennettavan vaihtimen avulla, jonka läpi vesistön vettä kierrätetään. Molemmille järjestelmille mitoitettiin imu- ja poistolinjat sekä valittiin pumput kahdesta eri vaihtoehdoisesta vedenotto paikasta saatavien lämpötilojen mukaan. Työssä laskettiin myös lämpöpumpun hyötysuhteet vedenotto paikoista saatavien lämpötilojen mukaan. Avointa ja vesistövaihdinratkaisua vertailtiin sekä pumppaus- että investointikustannusten osalta. Lisäksi arvioitiin vesistölämpöratkaisujen kannattavuutta suhteessa energiakenttään. Idea opinnäytetyöhön syntyi LVI-tekniikkaan, rakennusautomaatioon ja energiatekniikkaan erikoistuneen suunnittelu- ja konsultointitoimiston Niemi Energy Oy:ltä.

2 Työn rajaus

Maalämmöstä, maalämpöpumpuista ja niiden toiminnasta löytyy jo paljon tutkimustietoa. Sen sijaan vesistölämmönsiirrinten tai vesistöjen suora käyttö lämpöpumpun lämmönlähteenä on vielä Suomessa suhteellisen uusi asia. Opinnäytetyössä keskitytään käsittelemään kuvan 1 mukaisesti lämpöpumppprosessin höyrystin- ja lämmönkeruupuolta. Tässä opinnäytetyössä höyrystin- ja lämmönkeruupuoli käsittää vesistöön johdettavan imu- ja poistoputkiston, pumpun, lämmönvaihtimen ja keruupiirin.



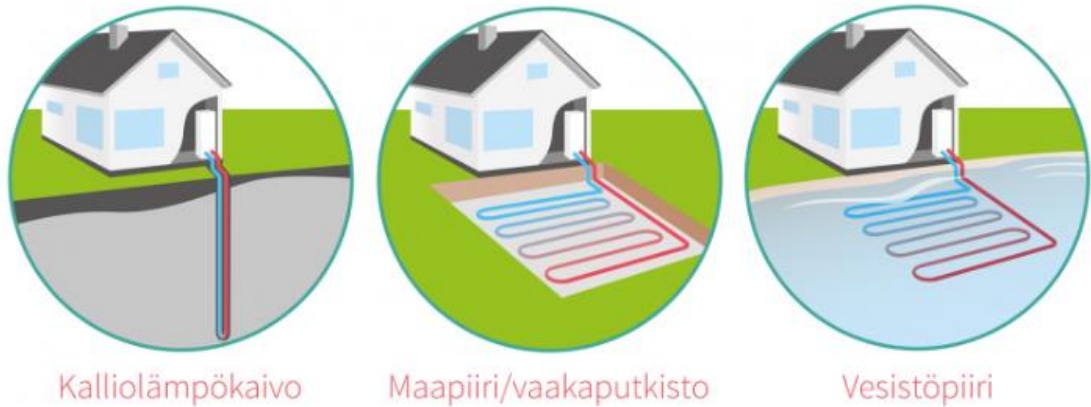
Kuva 1. Työn rajaus lämpöpumppprosessin suhteen [mukaiillen 5, 2].

3 Maalämpö ja maalämpöpumppu

Maalämmöksi kutsutaan auringon lämpöenergiasta peräisin olevaa, maahan, kallioperään ja vesistöihin varastoitunutta energiaa. Aurinko lämmittää maan pintakuorta, kalliota ja vesistöjä ympäri vuoden, mikä tekee maalämmöstä varman lämmönlähteen vuodenajasta riippumatta. [5.]

Lämpö kerätään maaperästä ja vesistöistä talteen yleensä lämmönkeruuputkiston ja maalämpöpumpun avulla. Lämpöä voidaan kerätä porakaivosta, lähelle maanpintaa asennettavasta vaakaputkistosta tai vesistöpiiristä (kuva 2). Saatua

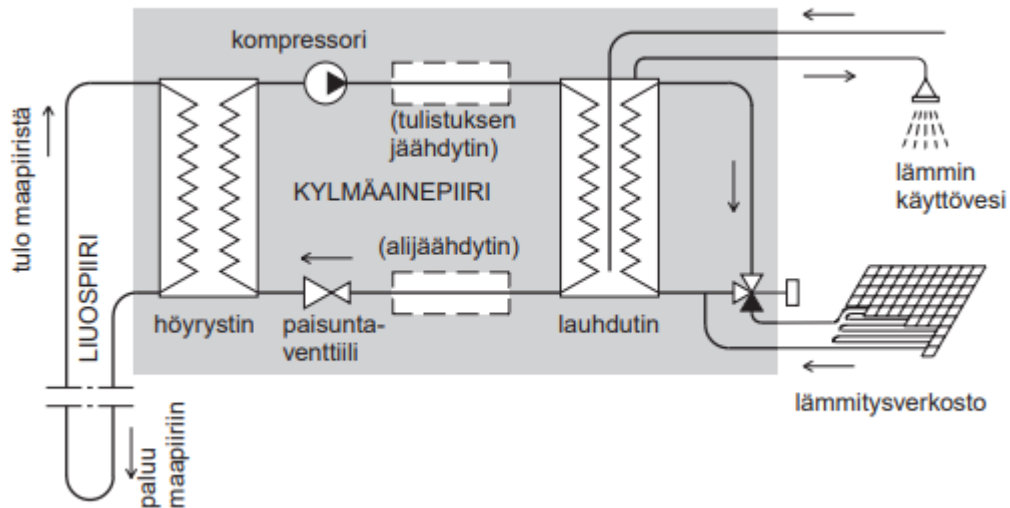
lämpöä voidaan hyödyntää sekä rakennuksen lämmitykseen vesikiertoisen patteri- ja lattialämmitysverkoston avulla tai käyttää käyttöveden lämmitykseen.



Kuva 2. Erilaiset lämmönkeruutavat lämmönkeruuputkistojen avulla [6.]

Maalämpöpumppu koostuu yksikertaisimmillaan kompressorista, paisuntaventtiilistä ja kahdesta lämmönsiirtimestä, höyrystimestä ja lauhduttimesta (kuva 3). Liuospiiri on höyrystinlämmönsiirtimen toisiopiiri, jonka lämmönkeruuputkistossa kierrätetään jäätymätöntä nestettä, johon maassa tai vesistössä oleva lämpö sitoutuu. Maalämpö sijaitsee yleensä alhaisessa lämpötilassa, esimerkiksi $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpö kulkeutuu liuosnesteeseen mukana höyrystimeen, jossa sen annetaan kiehua ja muuttua höyryksi. Höyrystimen ensiöpiirinä on kylmäainepiiri, johon liuospiiristä höyrystyneen kylmäaineen lämpö sitoutuu. [5, 2.]

Kylmäaine siirtyy seuraavaksi kompressorin, joka ylläpitää kaasumaisessa olo muodossa olevan kylmäaineen kiertoprosessia puristamalla sitä eteenpäin. Puristuksen aikana kylmäkaasuun siirtyy kompressorin tuottamaa energiaa, jolloin kylmäkaasu tulistuu ja lämpenee kuumaksi. Lauhduttimessa kuuma kaasu jälleen lauhtuu ja muuttuu nestemäiseksi, samalla luovuttaen höyrystimestä sitomansa lämpöenergian toisiopiirissä kiertävään aineeseen, yleensä lämmitysverkoston veteen tai lämpimään käyttöveteen. Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine alenee ja samalla lämpötila laskee, jolloin se pystyy taas sitomaan itseensä keruupiirin tuomaa lämpöä. [5, 2.]



Kuva 3. Maalämpöpumpun osat ja toimintaperiaate [5, 2.]

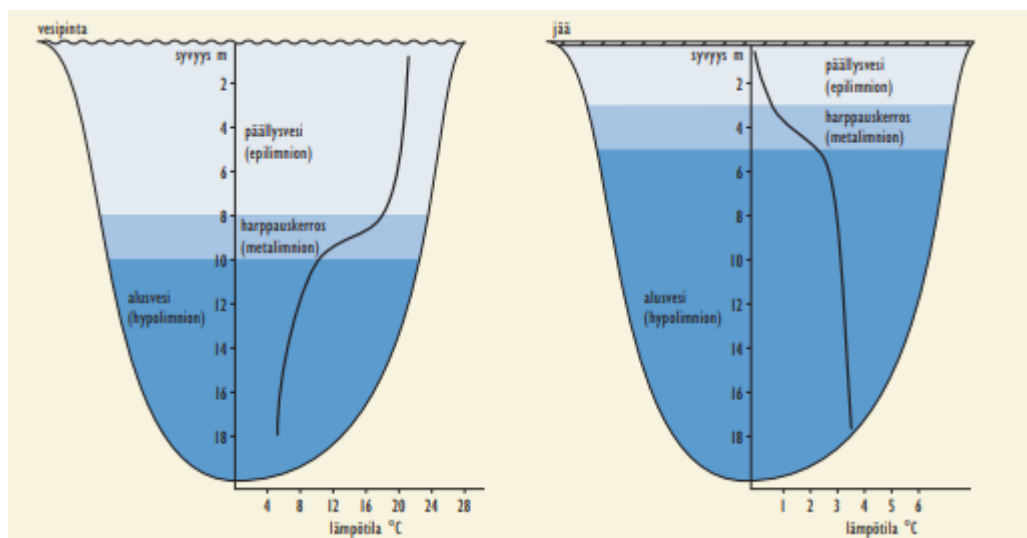
Lämpöpumppua mitoitettaessa täytyy ottaa huomioon, minkälaiseen järjestelmään pumppu liitetään. Pumppu voidaan mitoittaa joko täystehoiseksi, jolloin lämpöpumppu tuottaa koko rakennuksen tarvittavan lämmitysenergian, tai osatehoiseksi jonkin toisen, ensisijaisena lämmöntuottajana toimivan järjestelmän rinnalle. Osatehomitoituksessa lämpöpumpun enimmäisteho mitoitetaan yleensä vastaamaan 50–70 % rakennuksen lämmitystehon enimmäistarpeesta, jolloin lämpöpumppu kuitenkin tuottaa lämmitysenergian kokonaisvuositarpeesta 80–95 %. [5, 5.]

Kun lämmönlähteenä käytetään suoraan luonnonvesiä, on mitoitus hieman erilainen. Jani Kiantan (2016) mukaan luonnonvesien suora käyttö lämpöpumppujen lämmönlähteenä tuottaa Suomessa hankaluuksia, sillä talvella vesistön lämpötilat laskevat liian alhaisiksi. Esimerkiksi virtaavissa vesissä, kuten koskissa ja joissa, lämpötila voi kylmimmillään olla alle 1°C, mikä luo riskin veden jäätymiselle lämmönvaihtimessa. Jos lämmöntuotto vesistöstä päätetään toteuttaa avoimen järjestelmän avulla, tulee varmistua, ettei otettavan veden lämpötila ole liian matala ja että vesistössä ylipäättään riittää tarpeeksi lämpöenergiaa hyödynnettäväksi. Suoraan vesistön vettä kierrätettävä järjestelmä kannattaakin yleensä mitoittaa osatehoiseksi (noin 20–30 % kiinteistön maksimilämmitystehosta) täystehoiseksi mitoitettun primäärijärjestelmän rinnalle. [7.]

4 Vesistö ja vesilämpö

4.1 Vesistön kerrostuneisuus

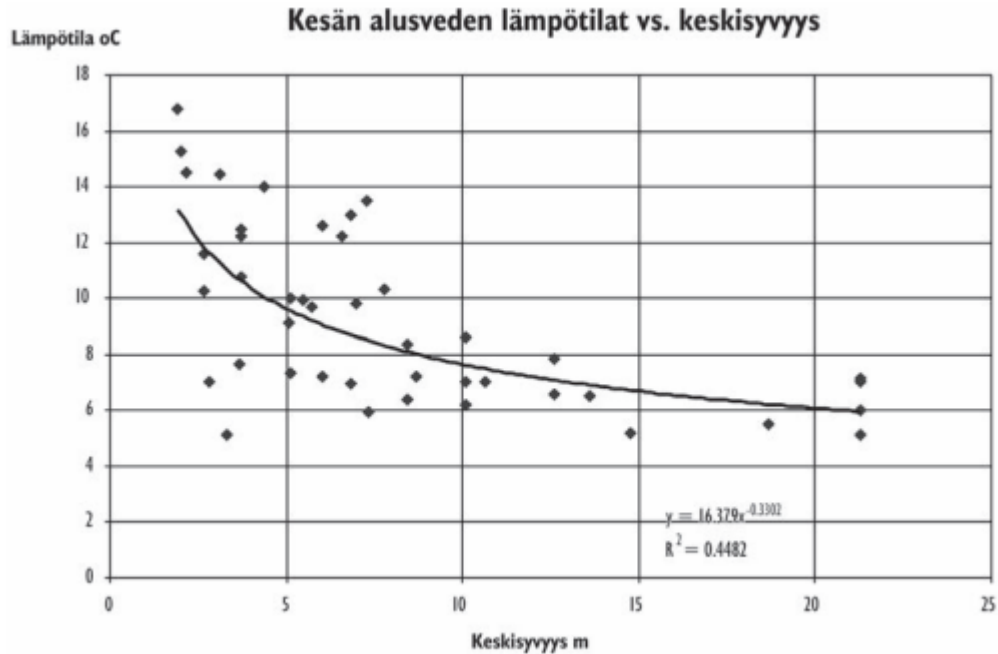
Makeavesiset järvet voidaan yleensä jakaa kolmeen kerrokseen: päällysveteen, alusveteen ja niiden välissä olevaan harppauskerrokseen, jossa lämpötila muuttuu jyrkästi lyhyen matkan aikana. Järvi- ja merivesi kerrostuvat lämpötilan mukaan, ja 4 °C lämpötilassa vesi on raskaimmillaan, jolloin tämän lämpöinen vesi laskeutuu vesistön pohjalle. Kesäaikana vallitsee kesäkerrostuneisuus, jolloin lämpimämpi vesi on pinnassa ja kylmempi vesi pohjalla, kun taas talvikerrostuneisuuden aikana tilanne on päinvastainen. Kuvassa 4 on havainnollistettu esimerkkitalanne järvien vesirungon kerrostuneisuudesta ja lämpötiloista kesä- ja talvikerrostuneisuuden aikana. Lämpötiloihin vaikuttavat järven sijainti, syvyysuhteet, avoimuus ja sääolot, joten kuvassa esitetyt lämpötilat ovat vain suuntaa antavia. Virtaavissa vesissä, kuten joissa, vesi ei yleensä pääse kerrostumaan yhtä merkittävästi jatkuvan, erilämpöisiä vesikerroksia sekoittavan virtauksen vuoksi. [8, 17–19.]



Kuva 4. Järven lämpötilakerrostuneisuus kesällä ja talvella [15].

Talvikerrostuneisuuden aikana järven pinnassa on jääpeite, joka estää tuulen sekoittavan vaikutuksen ja aiheuttaa sen, että veden lämpötilaolot jäävät vallitseviksi lähes jäidenlähtöön saakka. Jääpeite pitää heti jään alla olevan järveden lämpötilan jatkuvasti jäätympisteessä. Kevään tullen auringon lämpö hie- man lämmittää jääpeitteen alla olevaa pintavettä, kuitenkin pitäen sen lämpötilan lähellä nollaa. Alusvedeen johtuu lämpöä järven pohjasedimentistä, johon on kesän aikana varastoitunut lämpöenergiaa. Alusvesi on 0–4 °C as- teista riippuen järven syvyydestä ja syksyn täyskierron kulusta. [9, 103.]

Kesäkerrostuneisuuden aikana tuuli sekoittaa vettä aina 5–20 metrin syvyyteen, riippuen järven muodosta ja koosta sekä sääoloista. Alusveden sekoittuminen on vähäisempää ja riippuvaista järven virtausoloista. [9, 103.] Leppärannan ym. mukaan alusveden lämpötila voi kesän aikana olla suuntaa antavasti +4–8 °C [9, 103]. Sen sijaan Kettusen ym. mukaan alusveden lämpötila voi olla kesällä puhtaissa, kirkaissa ja melko syvissä järvissä noin +11–13 °C luokkaa [8, 22]. Matalien järvien tapauksessa kesäkerrostuneisuutta ei aina pääse syntymään, jolloin ne ovat lähes tasalämpöisiä pinnasta pohjaan [10, 34]. Kuvassa 5 on esi- tetty järven keskisyvyyden vaikutus alusveden lämpötilaan kesällä.



Kuva 5. Pohjanläheisen alusveden lämpötila keskisyvyyden mukaan kesällä [10, 35].

Kun pintavesi alkaa syksyllä jäähtyä ja keväällä lämmitä, alkaa se sekoittua tiheydeltään sitä vastaavan alemman vesikerroksen kanssa. Kun vesimassa tulee pikkuhiljaa tasalämpöiseksi ja saavuttaa tiheysmaksiminsa $+4^{\circ}\text{C}$ asteessa, tapahtuu veden täyskierto. Suomen ilmastovyöhykkeellä täyskierto tapahtuu syksyllä ja keväällä. [9, 102.]

4.2 Lupa-asiat

Vesitaloushankkeita toteutettaessa täytyy aina hakea aluehallintovirastolta lupa vesistön käytölle. Aluehallintovirasto käsittelee vesitaloushankkeet vesilain mukaisesti. Esimerkiksi keruuputkiston asentaminen vesistöön luetaan vesistöhankeeksi ja sen toteuttaminen edellyttää vesilain mukaan sitä, "ettei siitä aiheudu vältettävissä olevaa yleisen tai yksityisen edun loukkausta, jos hankkeen tai käytön tarkoitus voidaan saavuttaa ilman kustannusten kohtuutonta lisääntymistä kokonaiskustannuksiin ja aiheutettavaan vahingolliseen seuraukseen verrattuna" [11]. Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) 126a §:n mukaan keruuputkisto vaatii toimenpideluvan, joka ei kuitenkaan korvaa mahdollista vesilain mukaista lupaa [12, 9]. Myös veden alla olevan pohjasedimentin käyttöönotto vaatii hyväksytyyn luvan viranomaisilta [13, 10].

Asia pannaan vireille lupaviranomaisessa hakemuksella. Hankkeesta vastaavan on lupahakemuksessa esitettävä:

- 1) asian ratkaisemisen kannalta riittävä selvitys hankkeen tarkoituksesta ja hankkeen vaikutuksista yleisiin etuihin, yksityisiin etuihin ja ympäristöön;
- 2) suunnitelma hankkeen toteuttamiseksi tarpeellisista toimenpiteistä;
- 3) arvio hankkeen tuottamista hyödyistä ja edunmenetyksistä maa- ja vesialueen rekisteriyksiköille ja niiden omistajille sekä muille asianosaisille;
- 4) selvitys toiminnan vaikutusten tarkkailusta. [11.]

Vesilain 3 luvun mukaan vesitaloushankkeesta vastaava on velvollinen ilmoittamaan kirjallisesti valtion valvontaviranomaiselle pinta- ja pohjaveden ottamisesta, jos otettava määrä on yli 100 kuutiometriä vuorokaudessa ja ottaminen ei 3 luvun 2 tai 3 §:n mukaan edellytä lupaa. Lämmönotolle luonnonvesien kierrätyksen avulla ei ole säädetty tarkkoja virtaama- tai kuutiomääriä samoin kuten veden ottamiselle, jolloin tulee kiinnittää huomioita seuraaviin asioihin:

- Vesitaloushankkeella on oltava lupaviranomaisen lupa, jos se voi muuttaa vesistön asemaa, syvyyttä, vedenkorkeutta tai virtaamaa, rantaa tai vesiympäristöä taikka pohjaveden laatua tai määrää, ja tämä muutos:
- 1) aiheuttaa tulvan vaaraa tai yleistä vedenvähyttä;
 - 2) aiheuttaa luonnon ja sen toiminnan vahingollista muuttumista taikka vesistön tai pohjavesiesiintymän tilan huononemista;
 - 3) melkoisesti vähentää luonnon kauneutta, ympäristön viihtyisyyttä tai kulttuuriarvoja taikka vesistön soveltuvuutta virkistyskäyttöön;
 - 4) aiheuttaa vaaraa terveydelle;
 - 5) olennaisesti vähentää tärkeän tai muun vedenhankintakäyttöön soveltuvan pohjavesiesiintymän antoisuutta tai muutoin huonontaa sen käyttökelpoisuutta taikka muulla tavalla aiheuttaa vahinkoa tai haittaa vedenotolle tai veden käytölle talousvetenä;
 - 6) aiheuttaa vahinkoa tai haittaa kalastukselle tai kalakannoille;
 - 7) aiheuttaa vahinkoa tai haittaa vesiliikenteelle tai puutavaran uitolle;
 - 8) vaarantaa puron uoman luonnon-tilan säilymisen; tai
 - 9) muulla edellä mainittuun verrattavalla tavalla loukkaa yleistä etua.
- [11.]

Jos lämpö tuotetaan vesistön vettä kierrättämällä, vesi luovuttaa osan lämmöstään lämmönvaihtimessa ja palaa sitten viileämpänä vesistöön. Mikäli lämpöpumpun vaatima lämpökuorma on suuri, voi se pienissä vesistöissä johtaa siihen, ettei vesistöön ehdi varautua yhtä paljon lämpöä kuin siitä otetaan, jolloin tulee varmistua, ettei maksimilämmöntuotto jäädytä järveä pinnasta pohjaan. Nyrkkisääntönä voidaan kuitenkin todeta, ettei $-0,5 \dots +0,5$ °C lämpötilan vaihtelulla ole merkittäviä vaikutuksia järvien tai jokien ekologiseen tilaan [14, 7299]. Merestä otettaessa ei tätä ongelmaa synny, koska meri on lämmönlähteenä niin laaja että lämpötila muuttuu ainoastaan paikallisesti [15, 41].

Vettä pumpattaessa täytyy ottaa huomioon sen vaikutus vesistön happitalouteen, sillä happipitoisuus on tärkeä veden laatua kuvaava suure. Avovesikautena vesimassaan sitoutuu happea ilmakehän hapen ja täyskiertojen ansiosta. Pintavedessä happipitoisuus pysyy hyvänä, mutta syvemmälle mentäessä sen pitoisuus laskee ja pohjalla se voi pahimmassa tapauksessa olla loppunut [9, 47]. Talvikautena hapekkaan veden imeminen pois syvänteistä voi edesauttaa happikatoa. Pohjan hapettomuuden seurauksena voi aiheutua kalakuolemia ja vesistön rehevöitymistä pohjasedimentistä vapautuvien ravinteiden vuoksi [16].

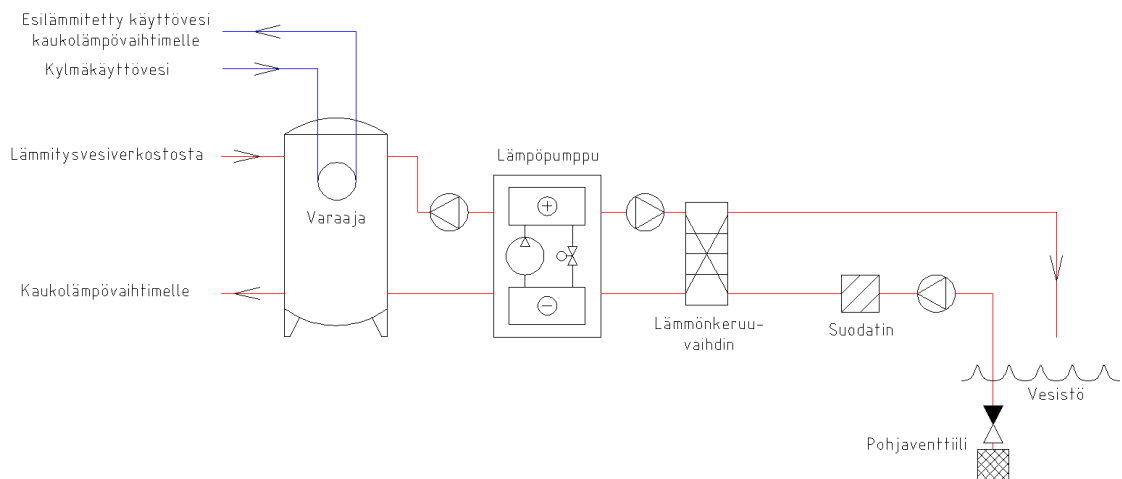
5 Lämmönotto vesistöistä

5.1 Vesistöpiiri

Lämpö voidaan tuoda vesistöistä ns. perinteiseen malliin, jolloin vesistöön asennetaan kuvan 2 (ks. s. 3) mukainen vaakasuuntainen suljettu vesistöpiiri. Vesistön olisi hyvä olla syvyydeltään rannan läheisyydestä mitattuna jo 2 metriä, että putket voidaan tuoda vesistöön routarajan alapuolella, ja kokonaissyvyyden suositus on vähintään 3 metriä, jolloin jää ei riko putkistoa. Vesistöpiiri ankkuroidaan vesistön pohjaan 6–30 kg:n betonipainoilla 1–2 metrin välein, ja piirin sijainti tulee merkitä selkeästi, etteivät esimerkiksi ankkuroivat veneet vaurioita sitä. Vesistöistä vuodessa saatava teho on luokkaa 70–80 kWh/putkimetri. [5, 4.]

5.2 Vesistön veden suora kierrätys

Vettä voidaan myös kierrättää lämmönjakohuoneessa sijaitsevan lämmönsiirtimen kautta, jolloin keruupiiriä ei tarvita ja lämpöenergia siirtyy suoraan kiertävästä vedestä (kuva 6). Luonnonvesiä kierrättävät järjestelmät ovat avoimia eli niihin vaikuttaa myös ilmakehän paine. Veden kierrätys vesistöstä voidaan toteuttaa kahdella periaatteella: vesi tulee rakennukseen joko vietolla tai se voidaan imeä vesistöstä pumppua käyttäen. Vietolla toteutetussa vedenotossa vesimassa siirtyy rakennukseen vesistön ja rakennuksen välillä olevan korkeuseron aiheuttaman staattisen paineen avulla. Vesi ohjataan joko erilliselle vesialtaalle tai kaivoon, josta se pumpataan eteenpäin. Mikäli vedenotto viedon avulla ei ole mahdollista, joudutaan vesi tuomaan rakennukseen pumpun ja imuputken avulla. [7.]



Kuva 6. Periaatekuva vesistöä pumpun avulla lämmönlähteenä käyttävästä järjestelmästä [7].

Avoimessa järjestelmässä kuitenkin syntyy riski lämmönsiirtopintojen likaantumiseksi vedessä olevien likapartikkeleiden ja eliöiden vuoksi, jolloin suodattamisen tärkeys korostuu. Lämmönsiirtopintojen likaantuessa vaihtimen lämmönsiirtokerroin heikkenee, jolloin lämpöpumpun pumppausta joudutaan tehostamaan, mikä puolestaan kasvattaa energiakustannuksia. Myös likaantuneen lämmönsiirtopin-

nan puhdistaminen tuottaa omalta osaltaan huoltokustannuksia. [17, 3.] Imuputkessa tulee olla karkea suodatus, esimerkiksi kuvan 7 mukainen metalliverkko imuaukkojen suulla, suurempia partikkeleita, kuten kaloja varten.



Kuva 7. Vesistön pohjaan ja imuputken päähän asennettava keruutukki [7].

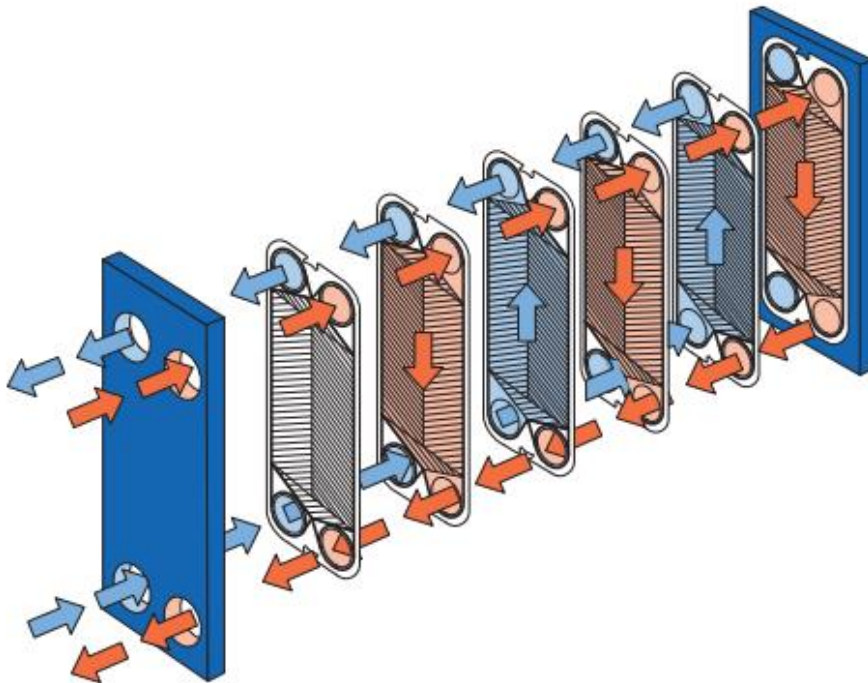
Esimerkiksi Norjassa Oslovuonon rannalla Drammenissa sijaitsee lämpöpumpulaitos, joka tuottaa lämpöä luonnonvesiä kierrättämällä. Norja on otollinen paikka tällaiselle järjestelmälle, sillä vesi saattaa syventyä huomattavasti jo rantaviivan tuntumassa. Vettä pumpataan 40 metrin syvyydestä, jolloin veden lämpötila ei ole riippuvainen kesän helteistä tai talven kovista pakkasista, ja lämpötila pysyy 8 – 9 °C suurimman osan vuodesta. Imuputken etäisyys on 800 metriä rantaviivasta ja poistoputkien 600 metriä, minkä avulla vältetään 4 °C paluuv veden sekoittuminen otettavaan veteen. Pumput on sijoitettu maalle vedenkorkeuden alapuolelle. [18.]

5.2.1 Levylämmönsiirrin

Avoimen järjestelmän lämmönsiirrintyyppiä valitaan levylämmönsiirrin, sillä ne soveltuvat parhaiten sovelluksiin, joissa molemmilla puolilla virtaa neste. Levylämmönsiirtimiä on sekä tiivisteellisiä, hitsattuja että juotettuja malleja, joista

ensimmäiset soveltuvat parhaiten luonnonvesiä kierrättäviin sovelluksiin niiden helpon puhdistettavuuden takia. Hitsatuista ja juotetuista malleista poiketen tiivisteelliset lämmönsiirtimet voidaan avata ja lämpölevyt irrottaa, jolloin ne voidaan pestä liasta esimerkiksi painepesurin avulla [19, 7-9]. Tukkiutumisen minimoimiseksi kannattaa valita luonnonvesissä olevien partikkeleiden läpikulun kestävä levylämmönsiirrin.

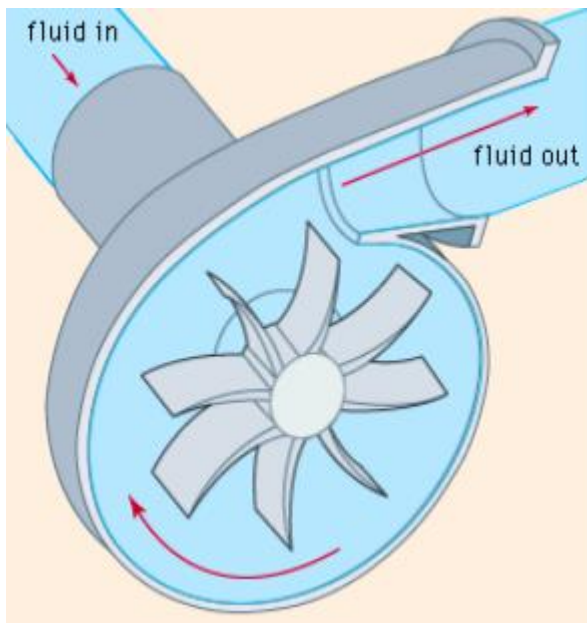
Levylämmönsiirtimissä lämmön siirtyminen tapahtuu konduktion avulla, usein teräksisen pinnan läpi fluidista toiseen. Levylämmönsiirrin koostuu levypakasta eli useasta peräjälkeen kiinnitetystä lämpölevystä, joista joka toisen läpi kulkee kuuma ja joka toisen kylmä ainevirta (kuva 8). Käytännössä lämmönsiirto on sitä tehokkaampaa mitä enemmän lämpölevyjä lämmönsiirtimessä on. Kylmä ja kuuma ainevirta laitetaan yleensä virtaamaan vastakkaisiin suuntiin lämmönsiirron tehokkuuden maksimoimiseksi [20].



Kuva 8. Levylämmönsiirtimen räjäytyskuva ja fluidivirtojen kulku siirtimessä [21].

5.2.2 Pumppaus

Luonnonvesien pumppauksessa tulee käyttää pumppuja, jotka soveltuvat puhdistamattomille vesille ja kestävät suurempienkin likapartikkeleiden läpimenon. Tällaisia ovat esimerkiksi jätevesipumput ja normaalia suuremmat juoksupyörän ja pumpun pesän väliset välykset omaavat pumput. [7]. Yleisimmin vesihuollon piirissä käytetään keskipakopumppuja, jotka muodostuvat juoksupyörästä ja pumppukammioista (kuva 12) [22, 27]. Pumput täytyy mitoittaa niin, että ne toimisivat prosessin kannalta parhaimmalla mahdollisella hyötysuhteella [23, 9].



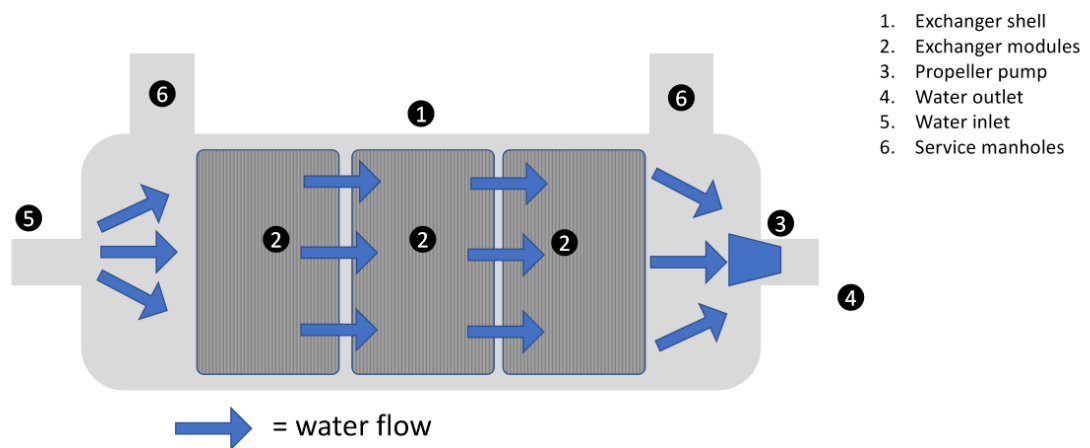
Kuva 9. Keskipakopumppu [24, 17].

5.3 Vesistölämmönvaihdin

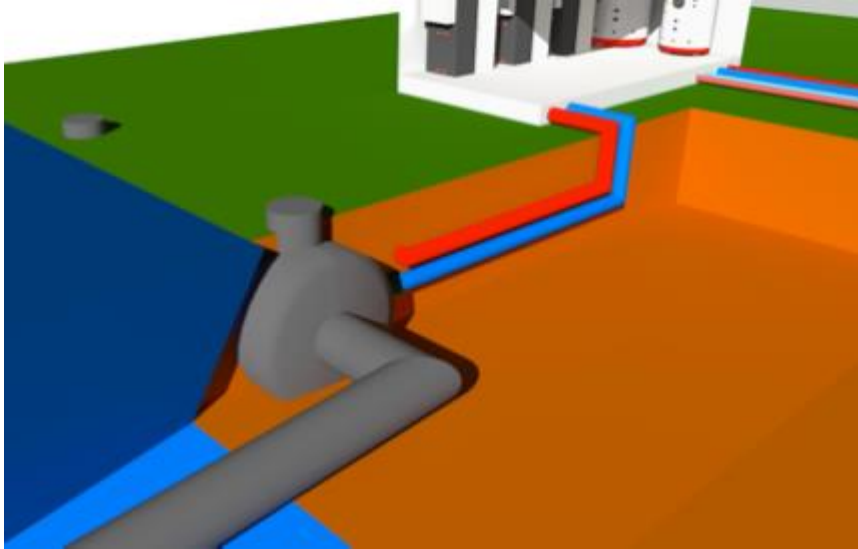
Lämpö voidaan tuottaa suljetun piirin menetelmällä myös siten, että pohjaan asennettava putkisto korvataan vesistövaihtimella. Vesistövaihtimia valmistaa muun muassa suomalainen GeoPipe, jonka valikoimasta löytyvät WHCEP Mini ja WHCEP Mega. WHCEP Minissä keruuneste kiertää PE-muoviputkissa, jotka on kierretty kerälle kehikon ympärille. WHCEP Miniä ei tarvitse erikseen ankkuroida pohjaan, vaan sen kehikko muodostuu ontoista runkoputkista, jotka vaeleetaan täyteen betonia vaihtimen upottamiseksi. Yhdestä vaihtimesta saadaan

energiaa noin 13 kW lämpöpumpulle. Vaihtimia voidaan asentaa myös rinnakkain, jolloin lämpöenergian saanti kasvaa. [25.]

Geopipen WHCEP Mega toimii samalla periaatteella kuin vettä kierrättävä avoin järjestelmä: luonnonvesi kiertää pumpun avulla lämmönsiirtomoduurien läpi palaten takaisin vesistöön (kuva 9). Tässä ratkaisussa vettä ei kuitenkaan tarvitse kierrättää lämmönjakohuoneessa asti, sillä WHCEP Mega voidaan sijoittaa vesistön rantaan (kuva 10). Keruuputkistolla kerätään lämpö moduuleista ja tuodaan lämmönjakohuoneeseen maalämpöpumpulle. Yhden moduulin kylmäteho on noin 120 kW, ja vaihtimeen voidaan asentaa 2 - 6 moduulia energiantarpeesta riippuen. [26.] Lämmönsiirtopinnat likaantuvat myös tässä ratkaisussa luonnonvesien suoran kosketuksen vuoksi.



Kuva 10. WHCEP Mega –vesistölämmönvaihtimen toimintaperiaate [26].



Kuva 11. WHCEP Mega –vesistölämmönvaihdin kaivettuna rantaan [26].

6 Esimerkkikohde

Esimerkkikohteena toimii Kuortaneenjärven rannalla sijaitseva aluelämpöverkko. Nykyisenä lämmönlähteenä toimivat puupolttoaineet ja palaturve, joilla tuotetaan lämpöä 1,5 MW:n kattilalla. Kylmempien ajanjaksojen varalta lämpökeskuksesta löytyy 2,5 MW:n öljykattila. [27.]

Kuortaneenjärvi sijaitsee Lapuanjoen vesistössä Etelä-Pohjanmaan maakunnassa. Sen pinta-ala on noin 14,9 km², tilavuus 0,049 km³, keskisyyvyys 3,3 metriä ja suurin syvyys 16 metriä. [28.] Lapuanjoki virtaa Kuortaneenjärven läpi laskien lopulta Pohjanlahteen, jolloin virtaus Kuortaneenjärvestä tapahtuu etelästä pohjoiseen päin. Kuortaneenjärvi voidaan jakaa kahteen altaaseen, eteläiseen ja pohjoiseen.

6.1 Energiankulutukset

Esimerkkikohteen vuoden 2018 energiankulutuksia (taulukko 1) käytetään laskennan pohjana. Kulutukset on normitettu kaavan 1 mukaisesti, jotta eri kuukausien lämmitysenergiankulutukset olisivat keskenään vertailukelpoisia [29].

$$Q_{norm} = \frac{S_N \text{ vpkunta}}{S_{toteutunut} \text{ vpkunta}} * Q_{toteutunut} + Q_{lämmin käyttövesi} \quad (1).$$

- missä Q_{norm} = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus
 $Q_{\text{toteutunut}}$ = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
 Q_{kok} = rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus
 $Q_{\text{lämmin käyttövesi}}$ = käyttöveden lämmittämisen vaatima energia
 $S_{\text{N vpkunta}}$ = normaalivuoden tai – kuukauden (1981 – 2010) lämmitystarveluku v tilupaikkakunnalla
 $S_{\text{toteutunut vpkunta}}$ = toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

vuosi 2018														
kerroin	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu	Vuosi yht.	
Kylmä vesi yhteensä m ³	1 852	1 875	1 988	1 573	1 580	1 762	2 372	2 060	1 949	2 300	1 901	1 559	22 771	
Arvioitu lämmin vesi m ³ (0,36xKV)	667	675	716	566	569	634	854	742	702	828	684	561	8 198	
LV lämmityksen energiantarve MWh	39	39	42	33	33	37	50	43	41	48	40	33	475	
Mitattu lämpö yhteensä MWh	638	680	663	386	179	125	91	105	203	386	467	581	4 504	
Lämmitystarveluvut 2018	689	789	752	422	63	37	0	5	139	386	471	652	4 405	
Lämmitystarveluvut vertailukausi	785	721	646	440	206	40	10	56	227	414	569	718	4 832	
Normitettu lämmöntarve MWh	716	629	582	400	247	129	113	186	281	408	547	633	4 872	
Norm. lämmöntarve vuodelle MWh													4895	

Taulukko 1. Kiinteistöjen normitettujen lämmöntarpeet vuonna 2018

6.2 Kuortaneenjärven lämpömäärä

Lämpömäärään vaikuttavat aineen ominaislämpökapasiteetti, massa (tilavuus ja tiheys) ja lämpötilan muutos (kaava 2) [30].

$$Q = cm\Delta T \quad (2)$$

missä Q = lämpömäärä (kJ)

c = ominaislämpökapasiteetti (kJ/(K*kg))

m = massa (kg)

ΔT = lämpötilan muutos (°C)

Vesistön lämpömäärää laskettaessa massa pystytään selvittämään kerroksen tarkastelupisteessä (keskisyvytydessä) vaikuttavan tiheyden, pinta-alan sekä kerroksen paksuuden perusteella (kuva 11). Lämpötilan muutos kuvaa otettavan ja

lämmönsiirtimen läpi kierrätetyn viilenneen veden erotusta, jolloin saadaan selville todellinen lämpömäärä, joka vesistöstä saadaan talteen. Lämpömäärä lasketaan kaavalla 3.

$$Q = c\rho Ah\Delta T \quad (3)$$

missä Q = lämpömäärä (kJ)

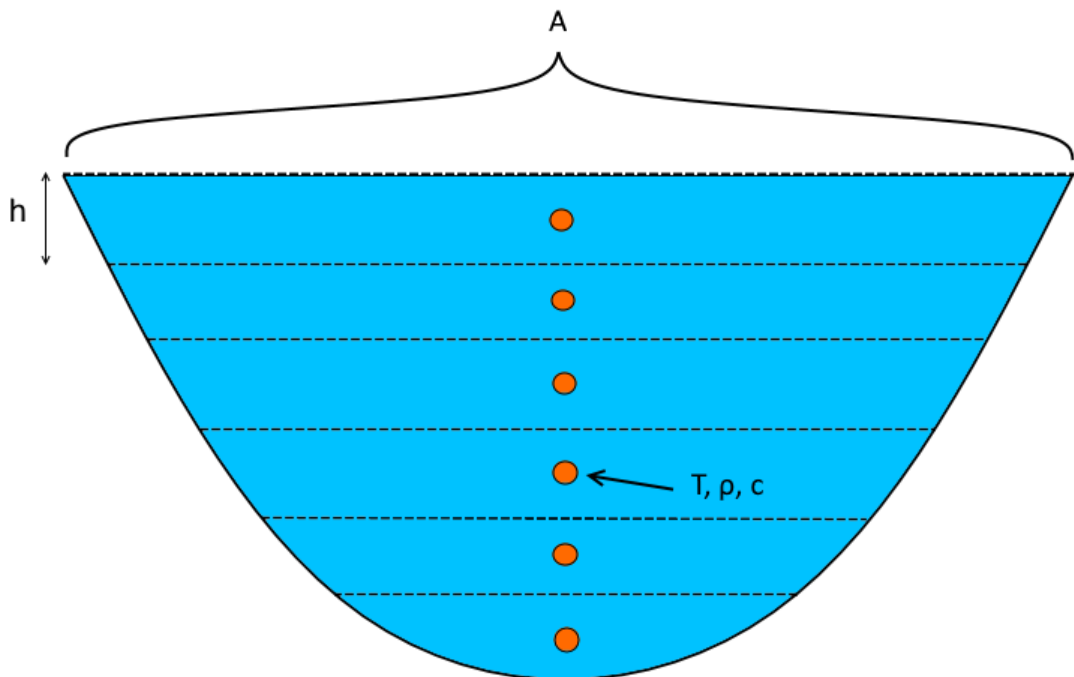
c = ominaislämpökapasiteetti (kJ/(K*kg))

ρ = veden tiheys (kg/m³)

A = pinta-ala (m²)

h = kerroksen paksuus (m)

ΔT = otettavan ja purettavan veden lämpötilan erotus (°C)



Kuva 12. Havaintokuva järvestä ja sen lämpömäärän laskemiseen tarvittavista suureista.

Koska Kuortaneenjärven todellisia kerrostuneisuus- ja lämpötilatietoja ei ollut saatavilla, eroteltiin järvestä kerrokset ja niiden pinta-alat syvyyskartan (liite 1)

syvyyskäyrien mukaan. Syvyystaulukkoon (taulukko 2) on koottu maanmittauslaitoksen karttapalvelun verkkosivuilta järven kerrosten pinta-alat, paksuudet, keskisyvyudet sekä syvyyspisteet kerroksittain. Keskisyvyys kuvaa syvyyspisteiden keskiarvoa, kun taas kerroksen paksuus on syvyyskäyrien välinen korkeusero. Syvyystaulukon arvoja hyödynnetään myöhemmin taulukossa 3, johon on laskettu kerroksien sisältämät lämpömäärät.

	A (m ²)	Syvyyspisteet (m)						keskisyvyys (m)	h (m)	
Päälyysvesi	12933000	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,81	1,5	
		0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7			
		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7			
		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7			
		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7			
		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8			
		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8			
		0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9			
		0,9	0,9	1	1	1	1			
		1	1	1	1,1	1,1	1,1			
1,2	1,2	1,2	1,2	1,3						
Kerros 2	8185000	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,8	2,25	1,5	
		1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	2			
		2	2	2	2	2	2			
		2	2	2	2	2	2			
		2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2			
		2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3			
		2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3			
		2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4			
		2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5			
		2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5			
		2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6			
		2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7			
		2,7	2,8	2,8						
Kerros 3	3024000	3	3,1	3,2	3,2	3,3	3,5	4,23	3	
		3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,8			
		3,9	4	4	4,3	4,3	4,6			
		4,6	4,6	4,7	4,8	5	5,1			
		5,2	5,2	5,2	5,3	5,5	5,6			
Pohjoinen syväne	Kerros 4	373900	7,1	7,3	7,8	9,2	9,5	9,5	8,56	4
	Kerros 5	59900	10,5	11	11	11,5	12	13	11,71	3
Eteläinen syväne	Kerros 6	1278093	7	7,5	7,5	7,5	7,5	8	8,16	4
			8	8	8	8,5	8,5	8,5		
	Kerros 7	368600	11	11	12	13,5	13,5	14	13,15	5
Kerros 8	15450	14	14	14	14,5			16,07	1,2	

Taulukko 2. Kuortaneenjärven syvyystaulukko.

Kuortaneenjärvi jäätyy yleensä marraskuun lopussa tai joulukuun alussa ja jäiden lähtö tapahtuu toukokuussa, joten laskennoissa oletetaan lämpötilojen olevan

joulu – huhtikuun aikaväliltä samat. Kuortaneenjärven kesäkerrostuneisuus kestää normaalisti kesäkuun lopulta elokuun keskivaiheille. [31, 62.] Kerrosten lämpötilat määriteltiin niiden keskisyvyyden perusteella kuvan 9 suuntaa antavien arvojen mukaan.

Taulukkoon 3 on laskettu kaavan 3 mukaan järvestä saatava lämpö talvikerrostuneisuuden aikana, jos veden jäähtymäksi määritellään 0,5. Taulukko laskee syötettyjen lämpötilojen perusteella keskimääräisen tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin. Esimerkiksi kerrokselle 3 lasketaan lämpömäärä (kJ) ja muunnetaan se energiaksi (MWh): $999,87 \text{ kg/m}^3 * 4,21 \text{ kJ/kgK} * 3\,024\,000 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * (1,5 \text{ °C} - 1 \text{ °C}) = 19\,111\,199\,063,54 \text{ kJ} = 5\,308,67 \text{ MWh}$. Vertailuarvoina käytetään järvestä saatavaa maksimilämpömäärää, jonka laskennassa kaavan 3 lämpötilan muutos on korvattu kerroksen todellisella lämpötilalla. Kerroksesta 3 saatava maksimilämpömäärä $999,87 \text{ kg/m}^3 * 4,21 \text{ kJ/kgK} * 3\,024\,000 \text{ m}^2 * 3 \text{ m} * 1,5 \text{ °C} = 20\,409\,360\,065,01 \text{ kJ} = 5\,669,27 \text{ MWh}$

		ajanjakso joulukuu - huhtikuu										Vertailuarvot				
		A (m ²)	p (kg/m ³)	T_alku	T_loppu	ΔT (K)	h (m)	keskisyvyys (m)	c (kJ/kg*K)	Q (kJ)	MWh	p (kg/m ³)	c (kJ/kg*K)	T	kJ	MWh
	Kerros 1	12933000	999,86	0,5	1,0	-0,5	1,50	0,81	4,22	0	0	999,85	4,22	1	4 849 164 020	1 347
	kerros 2	8185000	999,86	0,5	1,0	-0,5	1,50	2,25	4,22	0	0	999,85	4,22	1	3 068 925 037	852
	kerros 3	3024000	999,87	1,5	1,0	0,5	3,00	4,23	4,21	19 111 199 064	5 309	999,87	4,21	2	20 409 360 065	5 669
Pohjoinen syväanne	kerros 4	373900	999,87	3,0	2,5	0,5	4,00	8,56	4,21	3 147 199 823	874	999,87	4,21	3	13 458 689 722	3 739
	kerros 5	59900	999,87	3,2	2,7	0,5	3,00	11,71	4,21	378 090 616	105	999,87	4,21	3	1 839 890 843	511
Eteläinen syväanne	kerros 6	1278093	999,87	3,0	2,5	0,5	4,00	8,16	4,21	10 757 990 076	2 988	999,87	4,21	3	46 005 483 800	12 779
	kerros 7	368600	999,87	3,5	3,0	0,5	5,00	13,15	4,21	3 876 882 521	1 077	999,87	4,21	4	22 573 757 621	6 270
	kerros 8	15450	999,86	4,0	3,5	0,5	1,20	16,07	4,21	38 986 920	11	999,86	4,21	4	296 598 138	82
	yht.									37 310 349 019	10 364				112 501 869 247	31 251

Taulukko 3. Järven sisältämä lämpöenergia talvikerrostuneisuuden (joulukuu – huhtikuu) aikana.

Esimerkkikohteen vaatima energiamäärä joulukuu – huhtikuun ajanjaksolta on yhteensä 2 960 MWh. Talvella järven sisältämä maksimilämpömäärä on noin 31 251 MWh, josta esimerkkikohteen saman ajanjakson energiantarve on vain alle 10 %. Kesän ja täyskiertojen aikaan lämpömäärä on vesistön korkeampien lämpötilojen vuoksi suurempi ja lämmitystarve vastaavasti pienempi kuin talvella, joten ympärivuotinen lämmöntuotto vesistöstä on mahdollista. Lasketusta lämpömäärästä voidaan todeta, että vesistö on esimerkkikohteen lämmöntarpeelle tarpeeksi suuri takaamaan lämpöä turvallisesti useille käyttäjille. Taulukon 3

avulla voidaan todeta, että tarvittava lämmöntuotto onnistuu ylittämättä luvussa 4.2 esitettyjä lämpötilamuutosten raja-arvoja.

7 Putkilinjojen ja pumppauksen mitoitus

Putkilinjat mitoitetaan yleensä joko taloudellisen optimoinnin tai ääni- ja tasapainotusteknisen optimoinnin perusteella. Taloudellisessa optimoinnissa mitoituskriteerinä käytetään joko suurinta kuljetettavaa ainevirtaa tai tehoa, tai määritetään jokaiselle putkikoolle suurin sallittu kitkapainehäviö pituutta kohden. Ääni- ja tasapainotusteknisessä optimoinnissa kriteerinä putkihalkaisijan valinnalle käytetään suurinta sallittua virtausnopeutta. [32, katso 33,15]. Imu- ja purkulinjojen mitoituksessa päädyttiin käyttämään taloudellista optimointia linjojen yksinkertaisen rakenteen ja vähäisten äänitekniisten vaatimusten vuoksi.

Putkiston mitoituksella voidaan suoraan vaikuttaa pumppausjärjestelmän energiatehokkuuteen. Putkisto voidaan mitoittaa väljäksi, jolloin virtausvastuksia saadaan pienemmiksi ja niin edelleen putkiston vaatima nostokorkeus laskee. Pumppauksesta aiheutuvia käyttökustannuksia saadaan edellä mainitulla tavalla pienennettyä, mutta vastaavasti suurempi putkikoko nostaa investointikustannuksia. [23, 5.] Väljemmästä putkistomitoituksesta on kuitenkin se hyöty, että järjestelmää on jälkikäteen helpompi ja halvempi muunnella tai laajentaa kuin tarkasti mitoitettuja putkistoja [34, katso 33, 17]. Kaikki tässä luvussa mainitut kaavat on koottu liitteeseen 2.

7.1 Tilavuusvirta

Putkilinjojen mitoitus aloitetaan tarvittavan tilavuusvirran selvittämisestä. Tilavuusvirran laskemisessa täytyy tietää putkiston siirtämä lämpöteho, joka on tässä tapauksessa vesistöstä lämmönsiirtimen läpi kerättävä lämpöteho eri tehomitoitustilanteissa. Tilavuusvirtaan vaikuttaa oleellisesti myös veden lämpöti-

lan muutos, joten mitä suurempi veden jäähtymä on lämmönsiirtimen ensiöpuolella, sitä pienempi on vaadittu virtaama ja putkikoko. Veden jäätyminen paluuputkessa tulee estää rajoittamalla paluuv veden lämpötila esimerkiksi $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$:een. Tilavuusvirta lasketaan kaavalla 4.

7.2 Sisähalkaisija ja virtausnopeus

Putken tarvittava sisähalkaisija voidaan laskea tilavuusvirran ja virtausnopeuden avulla kaavalla 5. Todellista virtausnopeutta ei vielä tiedetä, joten virtausnopeuksien arvoina käytetään tässä vaiheessa suurimpia suositeltuja nopeuksia, jotka ovat imuputkessa $1,5\text{ m/s}$ ja paluuputkessa 3 m/s [35]. Muoviputken suurin nopeus voi olla jopa 3 m/s [36, 147].

Imu- ja poistolinja sekä vesistövaihtimen ja lämpöpumpun välinen keruuputkisto valitaan toteutettavaksi PE 100 -muovista valmistetulla vesijohtoputkella. Sisähalkaisijan laskennan jälkeen voidaan valita lopullinen putkikoko liitteen 3 taulukosta [37, 206]. Esimerkiksi jos tarvittava sisähalkaisija $d_s = 96\text{ mm}$, pyöristettäisiin normaalisti suurempaan ja valittaisiin $d_s = 103,4\text{ mm}$, mutta koska halutaan mitoittaa putkisto väljäksi, valitaan seuraava putkikoko $d_s = 131,7\text{ mm}$. Lopulliset putkikoot on esitetty tarkemmin Tulokset-luvussa.

Kun tiedetään putken lopullinen sisähalkaisija ja tilavuusvirta, voidaan todellinen virtausnopeus laskea kaavalla 6 [38, katso 39, 25]. Pyöreän putken poikkipinta-alan laskennassa käytetään ympyrän pinta-alan kaavalla 7.

7.3 Painehäviö

Putkessa syntyvät painehäviöt voidaan jakaa paikallisvastusten eli putkiosien aiheuttamiin painehäviöihin ja kitkavastusten aiheuttamiin painehäviöihin. Paikallisvastukset muodostuvat putkistossa sijaitsevista osista kuten käyristä, mutkista ja supistuksista sekä erilaisista mittaus- ja sulkuelimistä [40, 20]. Opinnäytetyössä ei lähdetty tarkemmin selvittämään putkilinjojen osien

paikallisvastusten osuutta, vaan arvioitiin niiden olevan noin 10 % kokonaispainehäviöstä. Putkiston kokonaispainehäviö lasketaan kaavalla 8 [41, 26]. Painehäviö per putkimetri saadaan jakamalla kokonaispainehäviö putkimetriensä määrällä.

7.3.1 Reynoldsin luku

Koska kitkavastukset syntyvät virtaavan aineen sisäisestä kitkasta eli viskositeetista ja putken sisäpinnan ja virtaavan aineen välille muodostuvasta kitkasta, vaikuttaa siihen oleellisesti myös virtauksen luonnetta kuvaava Reynoldsin luku. Reynoldsin luku (Re) voidaan laskea kaavalla 9, kun tiedetään todellinen virtausnopeus, putken sisähalkaisija ja virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti [42, 101]. Kun $Re \leq 2320$ virtaus on pyörteetöntä eli laminaarista ja pyörteistä eli turbulenttista kun $Re > 3000$.

7.3.2 Kinemaattinen ja dynaaminen viskositeetti

Kinemaattinen viskositeetti saadaan aineen dynaamisen viskositeetin ja aineen tiheyden osamäärästä kaavan 10 mukaan [40, 7]. Taulukosta 4 voidaan lukea veden dynaaminen viskositeetti ja tiheys tietyssä lämpötilassa.

Lämpötila	Tiheys	Pintajännitys	Sisäinen kitka	Kyllästetyn höyryn	
°C	$10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	$10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$	$10^{-3} \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$	paine mmHg*	tiheys $10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
0	0,99984	75,6	1,794	4,6	4,8
1	0,99990	75,5	1,732	4,9	5,2
2	0,99994	75,3	1,674	5,3	5,6
3	0,99996	75,2	1,619	5,7	6,0
4	0,99997	75,0	1,568	6,1	6,4
5	0,99996	74,9	1,519	6,5	6,8
6	0,99994	74,7	1,473	7,0	7,3
7	0,99990	74,6	1,429	7,5	7,8
8	0,99985	74,4	1,387	8,0	8,3
9	0,99978	74,3	1,348	8,6	8,8
10	0,99970	74,1	1,310	9,2	9,4
11	0,99961	74,0	1,274	9,8	10,0
12	0,99950	73,8	1,239	10,5	10,7
13	0,99938	73,7	1,206	11,2	11,4
14	0,99924	73,5	1,175	12,0	12,1
15	0,99910	73,4	1,145	12,8	12,8
16	0,99894	73,2	1,116	13,6	13,6
17	0,99877	73,0	1,088	14,5	14,5
18	0,99860	72,9	1,060	15,5	15,4
19	0,99841	72,7	1,034	16,5	16,3
20	0,99820	72,6	1,009	17,5	17,3
21	0,99799	72,4	0,984	18,6	18,3
22	0,99777	72,3	0,961	19,8	19,4
23	0,99754	72,1	0,938	21,1	20,6
24	0,99730	72,0	0,916	22,4	21,8
25	0,99705	71,8	0,895	23,8	23,0
26	0,99679	71,7	0,875	25,2	24,4
27	0,99651	71,5	0,855	26,7	25,8
28	0,99623	71,3	0,836	28,3	27,2
29	0,99595	71,2	0,818	30,0	28,7
30	0,99565	71,0	0,800	31,8	30,3

Taulukko 4. Puhtaan veden ominaisuuksia tietyissä lämpötiloissa [42].

Lämmönsiirtonesteenä keruupiirissä käytetään 30 % etanoli-vesiseosta, jonka tekniset tiedot voidaan lukea liitteestä 4 [41, 124–125]. Liitteessä 5 on esitetty laskentakaavat etanoli-vesiseoksen tiheyden, ominaislämpökapasiteetin ja painoprosentin laskennalle [41, 208].

7.3.3 Kitkavastuskerroin

Käytännön vesijohdoissa virtaus on yleensä aina turbulenttista alueella $Re > 4000$, joten kitkavastuskertoimen määrittämisessä voidaan käyttää kyseisellä virtausalueella pätevää Colebrookin kaavaa (kaava 11) [42, 101]. Laskennoissa

käytetään kuitenkin kaavaa 12, jolloin välttyään Colebrookin kaavan vaatimalta iteroinnilta ja virtausvastuskerroin saadaan silti riittävällä tarkkuudella. Kitkavastuskerroin saadaan ratkaistua muokkaamalla kaava 11 kaavan 12 muotoon. Putken sisäpinnan karheuden arvona muoviputkille käytetään 0,005 mm [44, 26].

7.4 Nostokorkeus

Pumpun kokonaisnostokorkeus muodostuu staattisesta nostokorkeudesta ja dynaamisesta nostokorkeudesta. Staattisella nostokorkeudella tarkoitetaan vesistön pinnan ja pumpun välistä imukorkeutta ja pumpun ja nostotason välistä staattista painekorkeutta. Staattinen nostokorkeus voidaan laskea liitteen 2 kaavalla 13. [45, 20.]

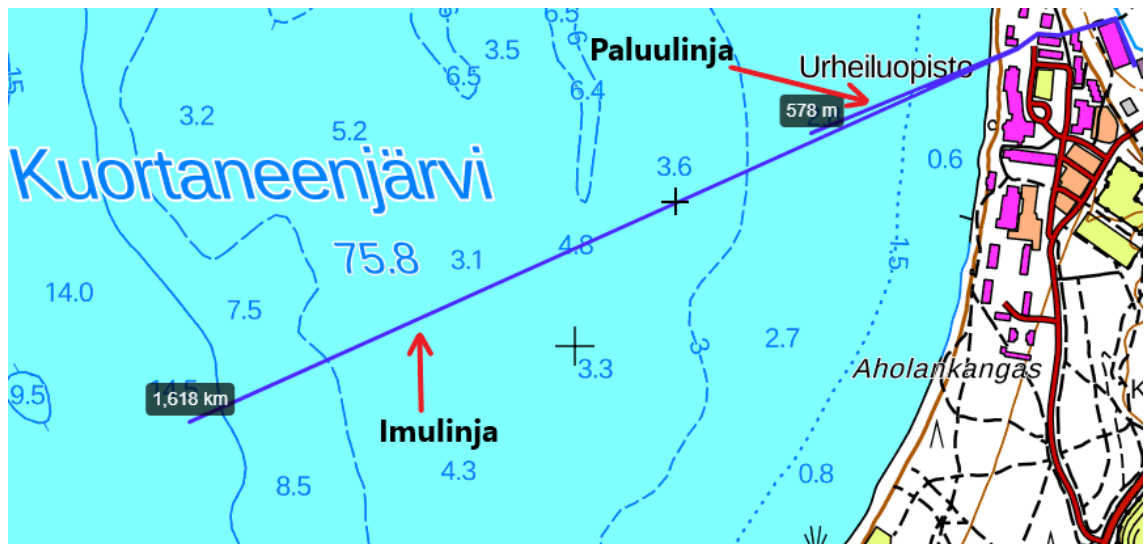
Esimerkkikohteen tapauksessa vedenotto ja palautus kohdistuu samaan vesistöön, joten staattinen nostokorkeus määräytyy vesistön pinnan ja putkilinjan korkeimman kohdan välisenä erotuksena. Vesistön keskivedenkorkeus on noin 75,8 m ja esimerkkikohteen lämmönjakohuoneen korkeus 80 m. Paluulinjan olisi suositeltavaa käydä noin metrin korkeammalla kuin imulinjan osien, jotta vaihtimelta lähtevät putket olisivat aina vesitäytössä [7]. Staattiseksi nostokorkeudeksi muodostuu näin ollen $80 \text{ m} - 75,8 + 1 = 5,2 \text{ m}$.

Dynaamiseen nostokorkeuteen vaikuttavat virtaavan nesteen tiheys, putoamis- kiihtyvyys sekä putkistossa ja sen osissa syntyvät virtauspainehäviöt, jotka on selvitetty aiemmin kaavalla 5. Dynaaminen nostokorkeus lasketaan liitteen 2 kaavalla 14 [45, 21]. Lopullinen tarvittava nostokorkeus voidaan laskea liitteen 2 kaavalla 15 [45, 22].

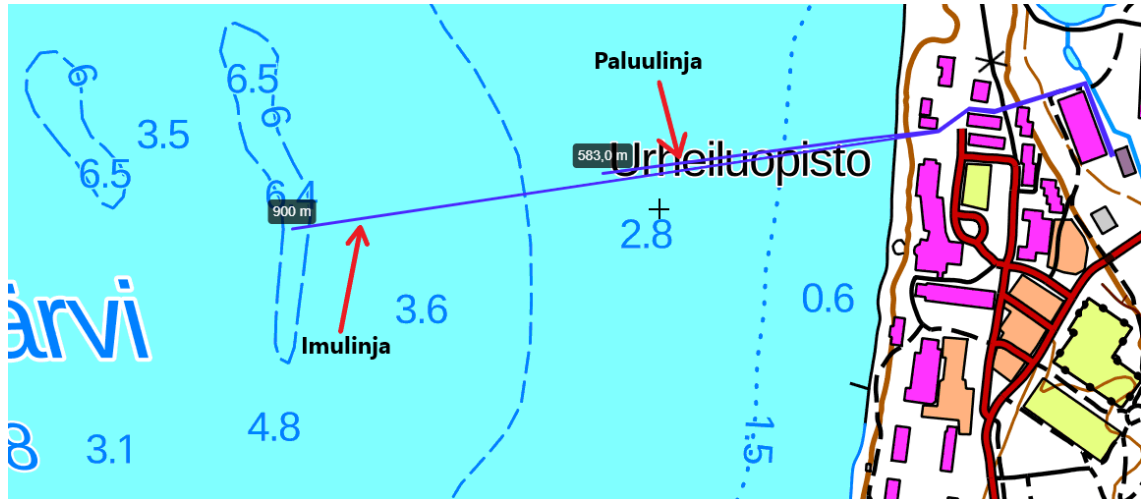
8 Järjestelmän mitoitus

8.1 Vedenotto- ja purkupaikka

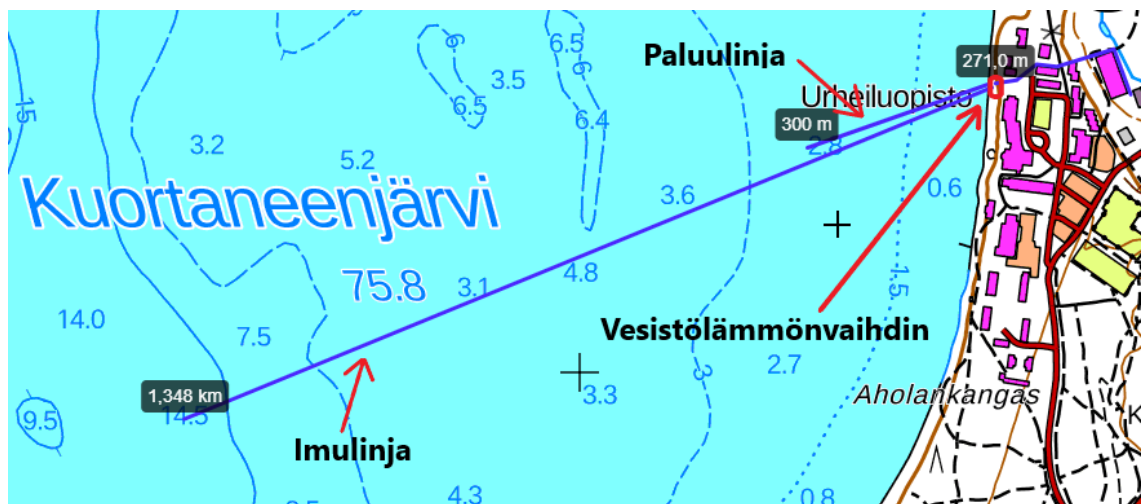
Opinnäytetyössä tarkasteltiin sekä avoimelle järjestelmälle että vesistölämmönvaihtimelle kahta vaihtoehtoista vedenotto- ja purkupaikkaa, joiden sijainti ja putkilinjojen kulku on esitetty kuvissa 13–16. Imulinjan pituudeksi tulisi avoimella järjestelmällä noin 1618 m, jos vettä haluttaisiin pumpata 14,5 metrin syvänteestä (kuva 13). Mikäli vettä halutaan ottaa lähemmästä, noin reilun kuuden metrin syvyydestä syvänteestä, tulisi imulinjan pituudeksi avoimella järjestelmällä 900 m (kuva 14). Lähempänä pintaa olevan kuuden metrin syvänteestä saatavan veden lämpötila olisi talvioloissa todennäköisesti jonkin verran viileämpää, esimerkiksi $+2,5^{\circ}\text{C}$. Toisaalta kesällä siitä saatava vesi lämpenee auringonvalon vaikutuksesta tehokkaammin kuin 14,5 metrin syvänteen vesi. Kuvan 4 mukaisesti voidaan käyttää vaihtoehdolle 1 lämpötila-arvoina kesällä $+5$ ja talvella $+4^{\circ}\text{C}$, ja vaihtoehdossa 2 kesällä $+18^{\circ}\text{C}$ ja talvella $+2,5^{\circ}\text{C}$.



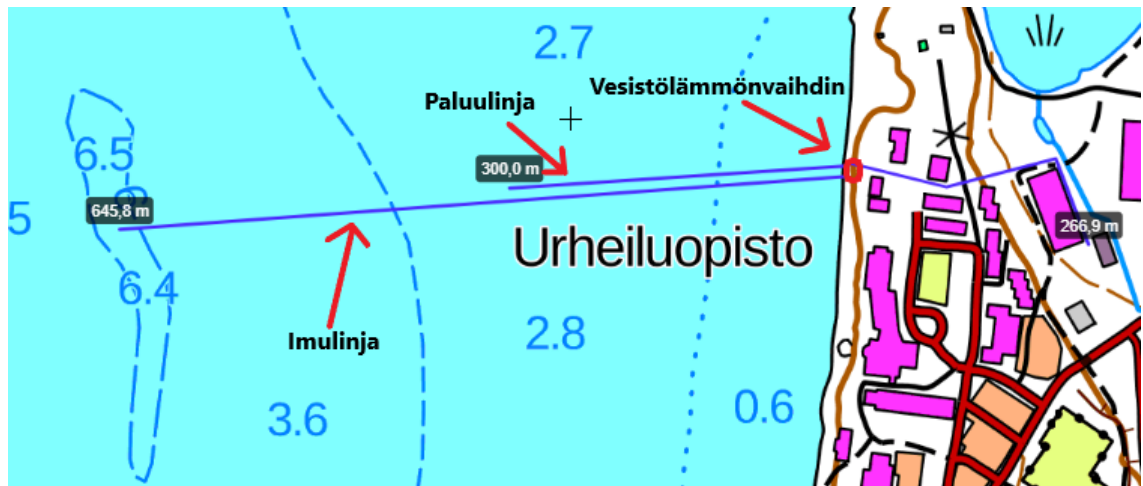
Kuva 13. Imu- ja purkulinjojen kulku avoimessa järjestelmässä, vaihtoehto 1.



Kuva 14. Imu- ja purkulinjojen kulku avoimessa järjestelmässä, vaihtoehto 2.



Kuva 15. Imu- ja purkulinjojen kulku vesistölämmönvaihtimelle, vaihtoehto 1.



Kuva 16. Imu- ja purkulinjojen kulku vesistölämmönvaihtimelle, vaihtoehto 2

Veden imemisestä ja purkamisesta vesistöön aiheutuu virtausta, joka voi talvella aiheuttaa sen, ettei jääkantta pääse muodostumaan imu- ja purkupaikkojen kohdalle. Pakkasilmän kanssa kosketuksissa oleva virtaava vesi voi alijäähtyä pakkasen puolelle synnyttäen suppojääkiteitä, jotka voivat putkistoon joutuessaan tukkia sen. Jääkannen puuttuminen myös estää talvikalastuksen. Pintavedessä tapahtuvan virtauksen minimoimiseksi veden imu ja purku olisi suositeltavaa ottaa lähempänä pohjaa, kuitenkin niin, ettei happi pääsisi sieltä loppumaan.

8.2 Lämpötilatasojen määrittely

Kaukolämpöverkostoissa käytetty menoveden lämpötila vaihtelee vuodenajasta riippuen $+75^{\circ}$ - 115°C välillä. Pienempien kokoluokkien lämmönjakoverkostoissa lämpötilatasot voidaan määrittellä myös perinteisiä kaukolämpöverkostoja alhaisemmiksi, kuten niistä erillään olevien aluelämpöverkostojen tapauksissa on usein tehty. Tällaisissa matalalämpöverkoille menoveden lämpötila on usein selvästi alle $+100^{\circ}\text{C}$. [46, 4].

Suurimmaksi menoveden lämpötilaksi arvioidaan +95 °C, ja paluuveden arvioidaan vaihtelevan välillä +45...40 °C. Lämpöpumpun tuottaman lämmitysveden enimmäislämpötilaksi arvioidaan +80 °C, johon päästään esimerkiksi Oilonin P-sarjan teollisuuslämpöpumpuilla ja kylmäaineilla R134a ja R513A [47].

Kaukolämpöverkon tarvittava tulolämpötila voidaan arvioida kaavan 16 mukaan, kun ulkolämpötila laskee alle +8 °C:n [48, 9]. Käyttöveden lämmityksen vuoksi aluelämpöverkoissa menoveden lämpötila ei laske kesäaikanakaan alle +70 °C [46, 17]. Esimerkkikohteen lämpöverkon tapauksessa käytetään kaavaa 17, jonka avulla on laskettu ensiöpuolen menoveden lämpötila ulkolämpötilan mukaan taulukkoon 5.

$$Tulolämpötila = 115 \text{ °C} + (t_u - t_x) * \frac{45 \text{ °C}}{(8 \text{ °C} - t_u)} \quad (16)$$

$$Tulolämpötila = 95 \text{ °C} - \left(\frac{t_x - t_u}{8 \text{ °C} - t_u} \right) * (95 \text{ °C} - 70 \text{ °C}) \quad (17)$$

joissa t_u = paikkakunnan mitoitusulkolämpötila, °C

t_x = tarkasteltava ulkolämpötila, °C

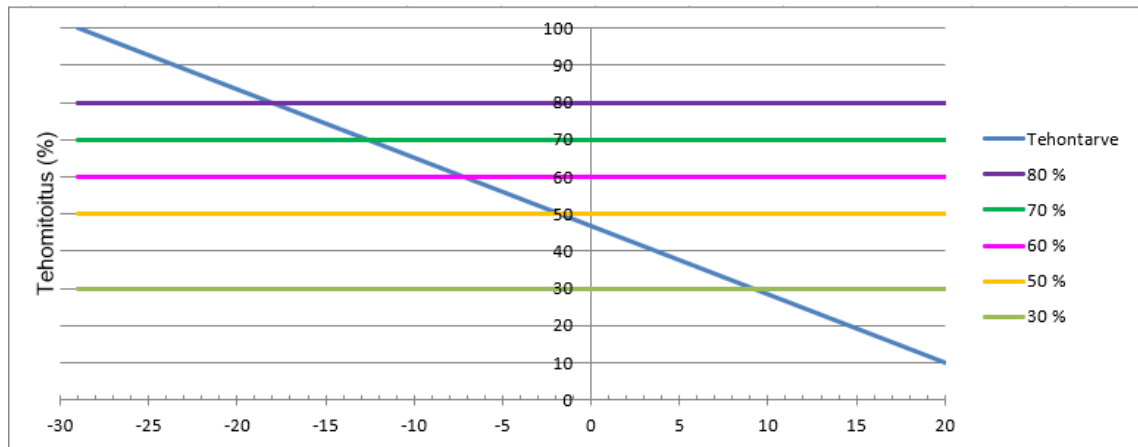
Ulkolämpötila	Ensiöpuolen lämpötila		
8 °C	70,0 °C		
5 °C	72,0 °C	Menoveden lämpötila mitoitusulkolämpötilassa	95 °C
0 °C	75,4 °C	Paikkakunnan mitoitusulkolämpötila:	-29 °C
-5 °C	78,8 °C		
-10 °C	82,2 °C		
-15 °C	85,5 °C		
-20 °C	88,9 °C		
-25 °C	92,3 °C		

Taulukko 5. Ensiöpuolen lämpötilataso ulkolämpötilan suhteen.

8.3 Lämpöpumpun tuotto-osuus

Lämpöpumpun tuotto-osuuden laskentaa varten tulee selvittää, missä ulkolämpötilassa tehomitoitus kohtaa tehontarpeen. Ulkolämpötila saadaan hakemalla leikkauspiste tehontarpeen ja tehomitoituksen käyrien väliltä kuvan 17 mukaan.

Mitoitusulkolämpötilassa -29 °C tehontarve on 100% . Alin tehontarve on $+20\text{ °C}$ arviolta 10% , koska kesäaikaan joudutaan lämmittämään käyttövettä.

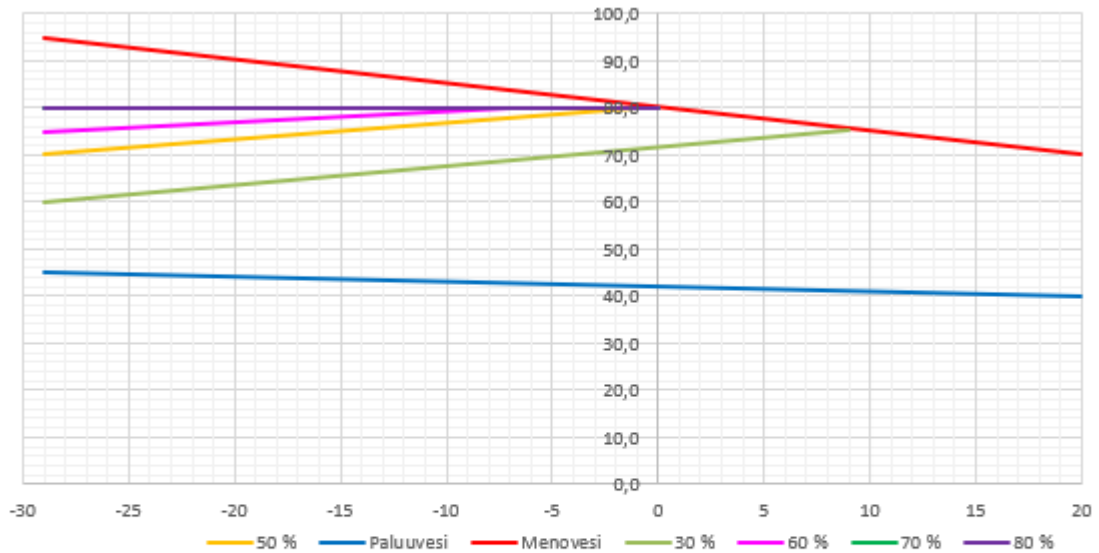


Kuva 17. Tehontarve ja tehomitoituspisteet.

Kuvassa 18 on esitetty energiantuotto-osuudet eri mitoitustilanteissa, kun lämpöpumpulla lämmitetään maksimissaan $+80\text{ °C}$ vettä. Tuottolämpötila pisteessä -29 °C määräytyy tehomitoituksen ja pisteessä vaikuttavien meno- ja paluulämpötilojen erotuksen mukaan kaavalla 18. Esimerkiksi jos tehomitoitus on 30% , meno- ja paluuveden lämpötilojen erotus $95 - 45 = 50\text{ °C}$, määräytyy tuottolämpötilaksi mitoitussulkolämpötilassa $0,3 * 50 + 45 = 60\text{ °C}$.

$$\text{Tuottolämpötila} = \text{Tehomitoitus} * \Delta T + 45\text{ °C} \quad (18)$$

missä ΔT = verkoston meno- ja paluulämpötilojen erotus



	Tehomitoitus	leikkauspiste Tu	Menovesi	Paluuvesi	deltaT	loppupiste
	30	9	75,5	45,0	50,0	60,0
	50	-1	80	45,0	50,0	70,0
	60	-7	80	45,0	50,0	75,0
	70	-13	80	45,0	50,0	80,0
	80	-18	80	45,0	50,0	85,0

Kuva 18. Lämpöpumpun tehomitoituspisteiden tuottolämpötilat ulkolämpötiloissa.

Kuvasta 18 nähdään, että 70 % tehomitoituksen kohdalla loppupiste vastaa lämpöpumpun suurinta tuottolämpötilaa, joten sitä suuremmaksi ei lämpöpumpun teho-osuutta kannata mitoittaa.

Tietyn tehomitoituksen kattama osuus vuosittaisesta energiantarpeesta saadaan pinta-aloista. Kuvan 18 meno- ja paluuveden väliin jäävä alue kuvastaa kokonaisenergiatarvetta, ja tehomitoituskäyrien ja paluuveden väliin jäävä alue tehomitoituksen osuutta kokonaistarpeesta. Taulukossa 6 on esitetty pinta-alat ja verkostoon tuotettava lämpöenergia sekä käyttöveden lämmityksen osuus, kun vuotuinen kokonaislämpöenergiatarve on 4895 MWh ja käyttöveden lämpöenergiatarve 475 MWh.

Teho- mitoitus (%)	A	Osuus lämmön tarpeesta	Tuotettu kokonaislämpö energia (MWh)	Käyttöveden osuus (MWh)
30	1292	0,66	3227	313
50	1673	0,85	4177	405
60	1683	0,86	4202	408
70	1738	0,89	4339	421
100	1960	1,00	4895	475
Paluuvesi	2083			

Taulukko 6. Kokonaislämmöntarpeen ja lämpimän käyttöveden osuudet kokonaisenergiatarpeesta.

8.3.1 SCOP

SCOP-arvo (Seasonal Coefficient of Performance) on lämpöpumpun vuosittainen hyötysuhde ja se lasketaan kaavalla 19. Sen laskentaa varten tulee jakaa ulkolämpötila lämpötilaväleihin ja laskea niille painokertoimet. Painokertoimien avulla saadaan lämpötilavälin osuus vuotuisesta energiantuotosta.

$$SCOP = \frac{\text{Vuotuinen lämpöenergian tuotto}}{\text{Vuotuinen sähköenergian kulutus}} \quad (19)$$

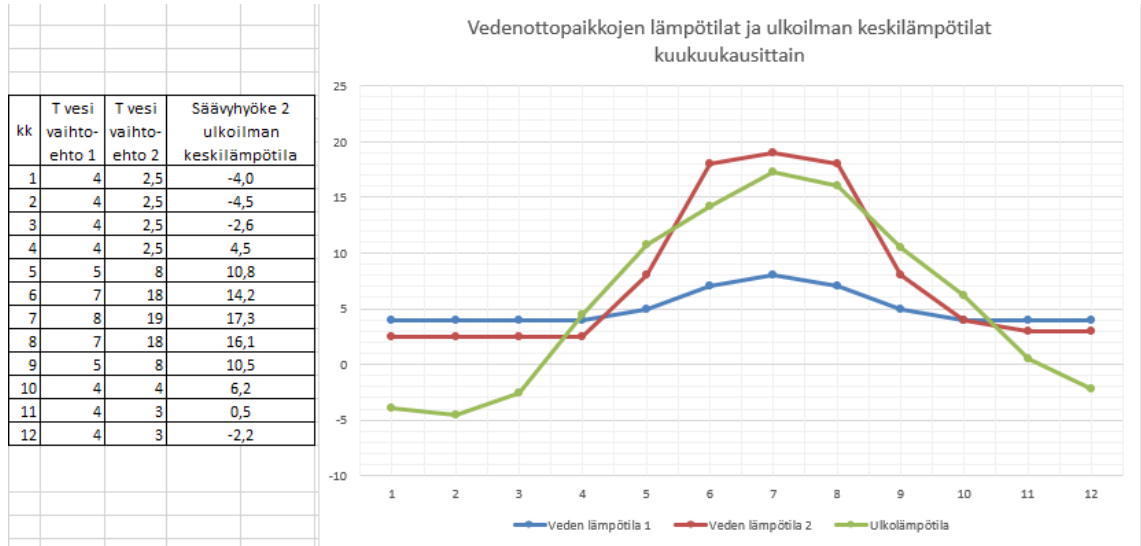
Ennen SCOP:n laskentaa selvitetään Carnot-lämpökerroin eli COP_c . Se ilmaisee parhaimman mahdollisen hyötysuhteen lämmönlähteen ja tarvittavan menoveden lämpötilan suhteena. Kun menoveden lämpötila jo tiedetään halutussa ulkolämpötilan arvossa, tulee COP_c -arvon laskentaa varten selvittää myös lämmönlähteen lämpötila ulkolämpötilassa (taulukko 7). Carnot-lämpökerroin voidaan laskea kaavalla 20 [49, 20].

$$COP_c = \frac{T_L}{T_L - T_H} \quad (20)$$

missä COP_c = Carnot-lämpökerroin (-)

T_L = lämpöpumpun lauhtumislämpö (K)

T_H = lämpöpumpun höyrystymislämpö (K)



Taulukko 7. Vedenottoaikkojen lämpötilat ja ulkoilman keskilämpötilat kuukausittain.

Lämpöpumpun todellinen hyötysuhde on kuitenkin aina pienempi kuin ideaalilanteen COP_c , joka ei huomioi muun muassa kitkan ja lämpöhäviöiden vaikutuksia. Todellinen hyötysuhde saadaan laskettua kaavan 21 mukaisesti kertomalla Carnot-lämpökerroin ideaalisuuskertoimella η_c , jonka arvo on yleensä välillä 0,5 – 0,7 [50, 3]. Opinnäytetyössä käytettiin ideaalisuuskertoimena arvoa 0,5.

$$COP_{1t} = \eta_c COP_c \quad (21)$$

missä COP_{1t} = todellinen lämpökerroin
 η_c = ideaalisuuskeroin (-)
 COP_c = Carnot-lämpökerroin

Taulukossa 8 on esitetty, kuinka vaihtoehtoisista vedenottoaikoista saatavat lämpötilatasot ja vaikuttavat todelliseen hyötysuhteeseen.

Lämpötila välien keskiarvo	Menoveden lämpötilat lämpötilavälien keskiarvossa				Veden lämpötilat lämpötilavälien keskiarvossa		COP1t							
	30 %	50 %	60 %	70 %	T vesi 1	T vesi 2	Vaihtoehto 1				Vaihtoehto 2			
							30 %	50 %	60 %	70 %	30 %	50 %	60 %	70 %
-21	63	73	77	80	4	2,5	2,8	2,5	2,4	2,3	2,8	2,5	2,4	2,3
-18	64	74	78	80	4	2,5	2,8	2,5	2,4	2,3	2,7	2,4	2,3	2,3
-14	65	75	78	80	4	2,5	2,8	2,5	2,4	2,3	2,7	2,4	2,3	2,3
-10,5	67	77	79	80	4	2,5	2,7	2,4	2,3	2,3	2,6	2,4	2,3	2,3
-7,5	69	78	79	80	4	2,5	2,6	2,4	2,3	2,3	2,6	2,3	2,3	2,3
-4	70	79	80	80	4	2,5	2,6	2,3	2,3	2,3	2,5	2,3	2,3	2,3
-0,5	72	80	80	80	4	2,5	2,5	2,3	2,3	2,3	2,5	2,3	2,3	2,3
2,5	73	79	79	79	4	2,5	2,5	2,3	2,3	2,3	2,5	2,3	2,3	2,3
6,5	74	77	77	77	4	4	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,4	2,4
10,5	75	75	75	75	5	7	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6
14	73	73	73	73	7	18	2,6	2,6	2,6	2,6	3,1	3,1	3,1	3,1
22	70	70	70	70	7	18	2,7	2,7	2,7	2,7	3,3	3,3	3,3	3,3

Taulukko 8. Todellinen hyötysuhde lämpötilaväleittäin.

Taulukossa 9 on esitetty painokertoimien avulla lasketut tuotetut ja otetut energiamäärät sekä kaavalla 19 lasketut SCOP-luvut. Lämpötilavälille +16...+28 °C on laskettu käyttöveden painokerroin, koska näissä ulkolämpötiloissa tarvitsee lämmittää ainoastaan käyttövettä. Painokerrointen summa on tästä syystä yli 1.

	Asetetunnit välillä	ajan kesto välillä (h)	aikavälin painokerroin k	Vuotuinen sähköenergiankulutus (MWh)											
				Vuotuinen lämmitystarve (MWh)				Vaihtoehto 1				Vaihtoehto 2			
				30 %	50 %	60 %	70 %	30 %	50 %	60 %	70 %	30 %	50 %	60 %	70 %
-22..-20	1058	26	0,00818012	26	34	34	35	9	14	14	15	10	14	15	16
-20..-16	4776	129	0,03692650	119	154	155	160	42	62	65	69	43	64	67	70
-16..-12	9082	270	0,07021912	227	293	295	305	82	120	124	131	84	122	127	134
-12..-9	5202	174	0,04022020	130	168	169	175	48	70	72	75	49	71	73	77
-9..-6	11829	440	0,09145804	295	382	384	397	112	161	164	171	115	164	167	174
-6..-2	19103	817	0,14769828	477	617	621	641	183	263	267	276	188	268	272	281
-2..+1	26087	1314	0,20169633	651	842	848	875	256	363	365	377	262	370	372	384
+1..+4	18780	1094	0,14520095	469	607	610	630	187	258	260	268	191	264	265	274
+4..+9	18810	1445	0,14543290	469	607	611	631	189	253	255	263	189	253	255	263
+9..+12	7881	846	0,06093337	197	255	256	264	79	102	103	106	77	99	100	103
+12..+16	6730	1219	0,05203420	168	217	219	226	64	83	83	86	53	69	69	72
+16..+28	0	956	0,10950745	34,3	44,4	44,7	46,1	12,6	16,3	16,4	16,9	10,4	13,5	13,5	14,0
	129338	8730	1,109507446	3227	4177	4202	4339	1265	1765	1789	1855	1271	1772	1796	1862 yht.
								2,6	2,4	2,3	2,3	2,5	2,4	2,3	2,3 SCOP

Taulukko 9. Tuotetut ja otetut energiamäärät sekä SCOP-arvot.

8.3.2 COP

COP-luvulla tarkoitetaan lämpöpumpun lämpökerrointa, joka kertoo lämpöpumpulla tuotetun tehon suhteen lämpöpumpun käyttämään sähkötehoon ja ilmaisee täten lämpöpumpujärjestelmän tehokkuuden. Esimerkiksi jos lämpöpumpun COP on 4,8, tarkoittaa se sitä, että laite tuottaa 4,8 kilowattia lämpötehoa käyttämällä yhden kilowatin sähkötehoa [51]. COP voidaan siis laskea kaavalla 22.

$$COP_{1t} = \frac{\Phi_{out}}{W_{in}} \quad (22)$$

missä COP_{1t} = todellinen lämpökerroin (-)

Φ_{out} = tuotettu lämpöteho (kW)

W_{in} = lämpöpumpun ottama sähköteho (kW)

Lämpöpumpun käyttämä sähköteho saadaan kaavalla 23.

$$W_{in} = \frac{\Phi_{out}}{COP_{1t}} \quad (23)$$

Vedestä otettava teho saadaan tuotettavan lämpötehon ja kompressorin ottotehon erotuksena (kaava 24).

$$Vedestä\ otettava\ teho = \Phi_{out} - W_{in} \quad (24)$$

		Lämmönlähde (°C)	Menovesi (°C)	TL (K)	TH (K)	COP _c	η	COP _{1t}
Talvi	Vaihtoehto 1	4	80	353,15	277,15	4,65	0,5	2,32
		4	75	348,15	277,15	4,90	0,5	2,45
		4	70	343,15	277,15	5,20	0,5	2,60
		4	60	333,15	277,15	5,95	0,5	2,97
		4	50	323,15	277,15	7,03	0,5	3,51
		4	40	313,15	277,15	8,70	0,5	4,35
	Vaihtoehto 2	2,5	80	353,15	275,65	4,56	0,5	2,28
		2,5	75	348,15	275,65	4,80	0,5	2,40
		2,5	70	343,15	275,65	5,08	0,5	2,54
		2,5	60	333,15	275,65	5,79	0,5	2,90
		2,5	50	323,15	275,65	6,80	0,5	3,40
		2,5	40	313,15	275,65	8,35	0,5	4,18
Kesä	Vaihtoehto 1	5	80	353,15	278,15	4,71	0,5	2,35
		5	75	348,15	278,15	4,97	0,5	2,49
		5	70	343,15	278,15	5,28	0,5	2,64
		5	60	333,15	278,15	6,06	0,5	3,03
		5	50	323,15	278,15	7,18	0,5	3,59
		5	40	313,15	278,15	8,95	0,5	4,47
	Vaihtoehto 2	18	80	353,15	291,15	5,70	0,5	2,85
		18	75	348,15	291,15	6,11	0,5	3,05
		18	70	343,15	291,15	6,60	0,5	3,30
		18	60	333,15	291,15	7,93	0,5	3,97
		18	50	323,15	291,15	10,10	0,5	5,05
		18	40	313,15	291,15	14,23	0,5	7,12

Taulukko 10. Todellinen lämpökerroin.

Taulukkoon 10 on laskettu COP_{1t} kaavalla 22. Arvot on laskettu muutamassa eri menoveden arvossa, kun lämmönlähteen lämpötilat ovat talvioloissa +4 °C ja +2,5 °C.

Taulukossa 11 on esitetty lämpöpumpun ottoteho ja vedestä otettava teho kaavoilla 23 ja 24 sekä taulukon 10 hyötysuhteiden avulla. Huipputehontarve on 810 kW. Esimerkiksi 30 % tehomitoituksella ja +2,5 °C lämpötilassa käytetty sähköteho on 243 kW / 2,4 = 101 kW. Vedestä otettava teho on silloin 243 kW – 101 kW = 142 kW. Taulukon arvot on laskettu menoveden arvossa + 80 °C kaikissa muissa tehomitoituspisteissä paitsi 30 %, joka lasketaan siinä vaikuttavan suurimman menoveden lämpötilan +75 °C mukaan. Liitteessä 6 on esitetty laskenta myös muilla menoveden arvoilla.

Tuottolämpötila 80 °C (30% mitoituksella 75 °C)									
Teho mitoitus (%)	Φ _{out} (kW)	W _{in} (kW)				Vedestä otettava teho (kW)			
		Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C	Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C
30	243	101	99	98	80	142	144	145	163
50	405	178	174	172	142	227	231	233	263
60	486	213	209	206	171	273	277	280	315
70	567	249	244	241	199	318	323	326	368

Taulukko 11. Lämpöpumpun ottoteho ja vedestä otettava teho.

9 Tulokset

9.1 Imulinjat

Koska veden kierrätys ja lämmöntuotto tulee tapahtumaan ensisijaisesti talvella, on imulinjat mitoitettu talviolosuhteiden mukaan. Laskelmissa käytettiin vedestä otettavana tehona järjestelmän maksimituottolämpötilalla 80 °C laskettua tehoa. Pienemmällä tuottolämpötilalla vedestä otettava teho kasvaa, jolloin myös putkikoko kasvaa, mutta vastaavasti lämpöpumpun kompressorin tehontarve pienenee. Kesätilanteessa pumpattava vesi on lämpimämpää, jolloin lämpötilaero on suurempi ja pumppauskustannuksia saadaan talvitilannetta pienemmiksi. Taulukoissa 12 ja 13 on esitetty, kuinka vedenottoaikoista 1 ja 2 saatavat lämpötilat ja eri tehomitoituspisteet vaikuttavat virtaamiin, painehäviöihin, tarvittaviin putkikokoihin ja nostokorkeuteen. Taulukoiden arvot on laskettu liitteen 2 kaavoja 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14 ja 15 käyttäen. Lisäksi taulukkoihin on laskettu linjoille muodostuvat kokonaishinnat.

	Tehomitoitus (%)	Vedestä otettava teho (kW)	T _m (°C)	T _p (°C)	ΔT (°C)	c (kJ/(kg·K))	ρ (kg/m ³)	qv (l/s)	v (m/s ²)	Tarvittava sisähalkaisija (mm)	Valitun putken ulkohalkaisija (mm)	Valitun putken seinämävahvuus (mm)	Valitun putken sisähalkaisija (mm)	Reynoldsin luku	v1 (m ² /s)	λ	Painehäviö (kPa/m)	L (m)	Kokonaispainehäviö (kPa)	Hinta (alv 24%) (€/m)	Kokonaishinta (€)	Hdyn	Hst	H
Vaihtoehto 1	30	144	4	1	3	4,21	999,88	11,4	0,95	98	140	8,3	123,4	74969	1,57E-06	0,0193	0,078	1618	126,56	33,92	54 881	12,9	5,2	18,1
	50	231	4	1	3	4,21	999,88	18,3	1,17	125	160	9,5	141,0	105189	1,57E-06	0,0180	0,096	1618	155,73	44,17	71 467	15,9	5,2	21,1
	60	277	4	1	3	4,21	999,88	21,9	1,11	136	180	10,7	158,6	112219	1,57E-06	0,0178	0,076	1618	122,79	56,01	90 619	12,5	5,2	17,7
	70	323	4	1	3	4,21	999,88	25,6	1,29	147	180	10,7	158,6	130922	1,57E-06	0,0172	0,100	1618	162,16	56,01	90 619	16,5	5,2	21,7
Vaihtoehto 2	30	142	2,5	1	2	4,21	999,87	22,4	1,14	138	180	10,7	158,6	109422	1,65E-06	0,0179	0,080	900	71,96	56,01	50 406	7,3	5,2	12,5
	50	227	2,5	1	2	4,21	999,87	36,0	1,17	175	225	13,4	198,2	140325	1,65E-06	0,0170	0,064	900	57,62	87,43	78 687	5,9	5,2	11,1
	60	273	2,5	1	2	4,21	999,87	43,2	1,13	191	250	14,8	220,4	151429	1,65E-06	0,0167	0,053	900	48,03	106,50	95 851	4,9	5,2	10,1
	70	318	2,5	1	2	4,21	999,87	50,4	1,32	207	250	14,8	220,4	176667	1,65E-06	0,0162	0,071	900	63,47	106,50	95 851	6,5	5,2	11,7

Taulukko 12. Imulinjojen kustannukset ja nostokorkeus, avoin järjestelmä.

	Teho- mitoitus (%)	Vedestä otettava teho (kW)	Tm (°C)	Tp (°C)	ΔT (°C)	c (kJ/(kgK)	ρ (kg/m ³)	qv (l/s)	v (m/s ²)	Tarvittava sisä- halkaisija (mm)	Valitun putken ulko- halkaisi- ja (mm)	Valitun putken seinämä- vahvuus (mm)	Valitun putken sisä- halkaisi- ja (mm)	Reynold- sin luku	v1 (m ² /s)	λ	Paine- häviö (kPa/ m)	L (m)	Kokonais- paine- häviö (kPa)	Hinta (alv 24%) (€/m)	Kokonais- hinta (€)	Hdyn	Hst	H
Vaihto ehto 1	30	144	4	1	3	4,21	999,88	11,4	0,95	98	140	8,3	123,4	74969	1,57E-06	0,0193	0,078	1348	105,44	33,92	45 723	10,8	0,0	10,8
	50	231	4	1	3	4,21	999,88	18,3	1,17	125	160	9,5	141,0	105189	1,57E-06	0,0180	0,096	1348	129,74	44,17	59 541	13,2	0,0	13,2
	60	277	4	1	3	4,21	999,88	21,9	1,11	136	180	10,7	158,6	112219	1,57E-06	0,0178	0,076	1348	102,30	56,01	75 497	10,4	0,0	10,4
	70	323	4	1	3	4,21	999,88	25,6	1,29	147	180	10,7	158,6	130922	1,57E-06	0,0172	0,100	1348	135,10	56,01	75 497	13,8	0,0	13,8
Vaihto ehto 2	30	142	2,5	1	2	4,21	999,87	22,4	1,14	138	180	10,7	158,6	109422	1,65E-06	0,0179	0,080	646	51,64	56,01	36 169	5,3	0,0	5,3
	50	227	2,5	1	2	4,21	999,87	36,0	1,17	175	225	13,4	198,2	140325	1,65E-06	0,0170	0,064	646	41,34	87,43	56 462	4,2	0,0	4,2
	60	273	2,5	1	2	4,21	999,87	43,2	1,13	191	250	14,8	220,4	151429	1,65E-06	0,0167	0,053	646	34,46	106,50	68 778	3,5	0,0	3,5
	70	318	2,5	1	2	4,21	999,87	50,4	1,32	207	250	14,8	220,4	176667	1,65E-06	0,0162	0,071	646	45,55	106,50	68 778	4,6	0,0	4,6

Taulukko 13. Imulinjojen kustannukset ja nostokorkeus, vesistölämmönvaihdin.

9.2 Pumppujen valinta

Pumppujen valinnassa käytettiin Grundfosin verkkosivujen valintatyökalua. Valintatyökaluun syötettiin tilavuusvirta ja nostokorkeus, jolla pumppua tullaan käyttämään. Työkalu antaa syötetyille arvoille sopivimmat pumppuvaihtoehdot, joista valitaan parhaimmalla hyötysuhteella toimiva pumppu myös elinkaarikustannuksia silmällä pitäen.

Niben mukaan maalämpöpumppujen käyttötuntien määrä on tyypillisesti 3 000–4 500 per vuosi, joten laskennassa käytetään jätevesi- ja kiertopumppujen käyttötuntien määränä keskimääräistä arvoa, 3 750 tuntia. Sähkön hintana on käytetty mitoitusohjelman oletusarvoa 0,16 €/kWh. Taulukossa 14 on esitetty avoimelle järjestelmälle mitoitusohjelman avulla valitut jätevesipumput vaihtoehtoisista vedenottopaikoista 1 ja 2 eri mitoitusilanteiden mukaan.

		Avoin järjestelmä										
	Teho mitoitus (%)	Vedestä otettava teho (kW)	qv (l/s)	H (m)	Pumppu	Hyötysuhde pumppu (%)	Hyötysuhde pumppu + moottori (%)	Pumpun hinta (€)	Energian kulutus (kWh/a)	Energiakustannukset (€/a)	Elinkaarikustannus (€/10 vuodet)	
Vaihtoehto 1	30	144	11,4	18,1	SL1.50.65.40.2.51D.C	62,9	53,9	3706	14030	2244,87	34174	
	50	231	18,3	21,1	SL1.75.100.130.2.52S.S.N.51D.A	58,4	48,2	8192	39965	6394,47	94980	
	60	277	21,9	17,7	SL1.80.100.75.4.51D.C	68,0	61,9	6937	23935	3829,53	61687	
	70	323	25,6	21,7	SL1.75.100.130.2.52S.S.N.51D.A	64,0	53,5	8192	45476	7276,15	188849	
Vaihtoehto 2	30	142	22,4	12,5	SL1.80.100.55.4.51D.C	68,9	61,6	6035	17505	2800,76	44423	
	50	227	36,0	11,1	SL1.80.100.75.4.51D.C	77,1	69,9	6937	26450	4231,93	67205	
	60	273	43,2	10,1	SL1.100.100.75.4.51D.C	76,1	68,9	7424	27631	4420,97	72268	
	70	318	50,4	11,7	SL1.85.100.130.4.52H.S.N.51D.A	78,1	68,7	10922	43379	6940,67	105123	

Taulukko 14. Jätevesipumput avoimelle järjestelmälle.

Vesistölämmönsiirtimen keruupiirin kiertovesipumpun mitoituksessa valitaan sovellusalueeksi liikerakennukset ja sovellukseksi liikerakennusten lämmitys niiden ollessa lähimpänä esimerkkihohdetta. Asennustavaksi valitaan pääkiertovesipumppu. Kuvassa 19 on kuvankaappaus Grundfosin valintaohjelmaan syötettävistä keruuliuksen tiedoista. Koska kiertovesipumppu asennetaan keruupiirin paluupuolelle lämmönsiirtimen jälkeen, valitaan nesteen lämpötilaksi käytön aikana 0 °C.

Pumpattava neste	Etanoli	▼
Pitoisuus	30	%
Min. nestelämpötila	0	°C
Nesteen lämpötila käytön aikana	0	°C
Maks. nesteen lämpötila	40	°C
Maks. käyttöpaine	10	▼ bar
Min. tulopaine	1.5	bar
Sallittu virtaaman alimitoitus	10	%
Sallittu virtaaman ylimitoitus		%

Kuva 19. Valintatyökaluun syötettävät kiertonesteen tiedot.

Taulukossa 15 on esitetty valintatyökalun avulla valitut kiertovesipumput ja niiden hinnat sekä valintatyökalun laskemat energiankulutukset, energiakustannukset ja elinkaarikustannukset.

Taulukko 15. Kiertovesipumput vesistölämmönvaihtimelle.

Kiertopumppu (keruuputkisto)											
	Tehomitoitus (%)	Vedestä otettava teho (kW)	qv (l/s)	H (m)	Pumppu	Hyötysuhde pumppu (%)	Hyötysuhde pumppu + moottori + taajuusmuuttaja (%)	Pumpun + taajuusmuuttajan hinta (€)	Energian kulutus (kWh/a)	Energiakustannukset (€/a)	Eliinkaarikustannus (€/15 vuodet)
Vaihtoehto 1	30	144	11,2	17,3	TPE 65-210/2 S-A-F-A-BQQE-JDB	71,7	65,2	4775	9596	1535	41572
	50	231	17,9	12,5	TPE 80-240/2 S-A-F-A-BQQE-LDB	71,2	65,7	5908	11295	1807	49222
	60	277	21,5	17,3	NB 50-125/144 AF2ABAAQE	76,1	67,1	5090	18747	3000	76981
	70	323	25,1	12,0	NB 65-160/177 AF2ABAAQE	76,5	66,9	7171	14903	2385	64322
Vaihtoehto 2	30	142	19,1	13,5	TPE 80-240/2 S-A-F-A-BQQE-LDB	70,8	56,3	5908	11621	1859	50474
	50	227	30,6	16,5	NB 65-160/177 AF2ABAAQE	75,6	67,7	7171	23793	3807	98411
	60	273	36,8	13,0	NB 65-125/144 AF2ABAAQE	76,7	67,9	6361	22227	3556	91597
	70	318	42,9	17,2	TPE 100-250/2 S-A-F-A-BQQE-NC	73,3	68,3	9660	34152	5464	140628

9.3 Poistolinjat ja keruupiiri

Mikäli järjestelmää halutaan ajaa myös vastakkaiseen suuntaan esimerkiksi vastavirtahuuhtelua tehtäessä, tulee poistolinjan putket mitoittaa siten, että valittu pumppu kykenee imemään myös poistolinjan vaatiman nostokorkeuden. Koska suurin suositeltu poistoputken virtausnopeuden arvo on suurempi kuin imuputken, on vastaavasti poistoputkessa tarvittava sisähalkaisija pienempi kuin imuputkessa. Taulukkoihin 12 ja 13 valittuja imuputkien kokoja voidaan siis soveltaa myös poistolinjoihin, jolloin myös niiden nostokorkeus saadaan valitulle pumpulle sopivaksi. Taulukoissa 16 ja 17 on esitetty linjojen hankintakustannukset ja nostokorkeudet.

	Tehomitoitus (%)	Vedestä otettava teho (kW)	Tm (°C)	Tp (°C)	ΔT (°C)	c (kJ/kg K)	p (kg/m ³)	qv (l/s)	v (m/s ²)	Tarvittava sisähalkaisija (mm)	Valitun putken ulkohalkaisija (mm)	Valitun putken seinämävahvuus (mm)	Valitun putken sisähalkaisija (mm)	Reynoldsin luku	v1 (m ² /s)	λ	Painehäviö (kPa/m)	L (m)	Kokonaispainehäviö (kPa)	Hinta (alv 24%) (€/m)	Kokonais-hinta (€)	Hdyn	Hst	H
Vaihtoehto 1	30	144	4	1	3	4,21	999,88	11,4	1,0	70	140	8,3	123,4	74969	1,57E-06	0,0193	0,078	578	45,21	33,92	19 605	4,6	5,2	9,8
	50	231	4	1	3	4,21	999,88	18,3	1,2	88	160	9,5	141,0	105189	1,57E-06	0,0180	0,096	578	55,63	44,17	25 530	5,7	5,2	10,9
	60	277	4	1	3	4,21	999,88	21,9	1,1	96	180	10,7	158,6	112219	1,57E-06	0,0178	0,076	578	43,86	56,01	32 372	4,5	5,2	9,7
	70	323	4	1	3	4,21	999,88	25,6	1,3	104	180	10,7	158,6	130922	1,57E-06	0,0172	0,100	578	57,93	56,01	32 372	5,9	5,2	11,1
Vaihtoehto 2	30	142	2,5	1	2	4,21	999,87	22,4	1,1	98	180	10,7	158,6	109422	1,65E-06	0,0179	0,080	583	46,62	56,01	32 652	4,8	5,2	10,0
	50	227	2,5	1	2	4,21	999,87	36,0	1,2	124	225	13,4	198,2	140325	1,65E-06	0,0170	0,064	583	37,32	87,43	50 972	3,8	5,2	9,0
	60	273	2,5	1	2	4,21	999,87	43,2	1,1	135	250	14,8	220,4	151429	1,65E-06	0,0167	0,053	583	31,11	106,50	62 090	3,2	5,2	8,4
	70	318	2,5	1	2	4,21	999,87	50,4	1,3	146	250	14,8	220,4	176667	1,65E-06	0,0162	0,071	583	41,12	106,50	62 090	4,2	5,2	9,4

Taulukko 16. Poistolinjan kustannukset ja nostokorkeus, avoin järjestelmä.

	Tehomitoitus (%)	Vedestä otettava teho (kW)	Tm (°C)	Tp (°C)	ΔT (°C)	c (kJ/kg K)	p (kg/m ³)	qv (l/s)	v (m/s ²)	Tarvittava sisähalkaisija (mm)	Valitun putken ulkohalkaisija (mm)	Valitun putken seinämävahvuus (mm)	Valitun putken sisähalkaisija (mm)	Reynoldsin luku	v1 (m ² /s)	λ	Painehäviö (kPa/m)	L (m)	Kokonaispainehäviö (kPa)	Hinta (alv 24%) (€/m)	Kokonais-hinta (€)	Hdyn	Hst	H
Vaihtoehto 1	30	144	4	1	3	4,21	999,88	11,4	1,0	70	140	8,3	123,4	74969	1,57E-06	0,0193	0,078	300	23,47	33,92	10 176	2,4	0,0	2,4
	50	231	4	1	3	4,21	999,88	18,3	1,2	88	160	9,5	141,0	105189	1,57E-06	0,0180	0,096	300	28,87	44,17	13 251	2,9	0,0	2,9
	60	277	4	1	3	4,21	999,88	21,9	1,1	96	180	10,7	158,6	112219	1,57E-06	0,0178	0,076	300	22,77	56,01	16 802	2,3	0,0	2,3
	70	323	4	1	3	4,21	999,88	25,6	1,3	104	180	10,7	158,6	130922	1,57E-06	0,0172	0,100	300	30,07	56,01	16 802	3,1	0,0	3,1
Vaihtoehto 2	30	142	2,5	1	2	4,21	999,87	22,4	1,1	98	180	10,7	158,6	109422	1,65E-06	0,0179	0,080	300	23,99	56,01	16 802	2,4	0,0	2,4
	50	227	2,5	1	2	4,21	999,87	36,0	1,2	124	225	13,4	198,2	140325	1,65E-06	0,0170	0,064	300	19,21	87,43	26 229	2,0	0,0	2,0
	60	273	2,5	1	2	4,21	999,87	43,2	1,1	135	250	14,8	220,4	151429	1,65E-06	0,0167	0,053	300	16,01	106,50	31 950	1,6	0,0	1,6
	70	318	2,5	1	2	4,21	999,87	50,4	1,3	146	250	14,8	220,4	176667	1,65E-06	0,0162	0,071	300	21,16	106,50	31 950	2,2	0,0	2,2

Taulukko 17. Poistolinjan kustannukset ja nostokorkeus, vesistövaihdin.

Vesistövaihdinratkaisun lämpöpumpun ja vaihtimen välisen keruupiirin mitoitus ja kokonaishinta on esitetty taulukossa 18. Putkimitoitus ja painehäviölaskenta on tehty liitteen 2 kaavoja 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12, 13, 14 ja 15 käyttäen.

	Teho mitoitus (%)	Vedestä otettava teho (kW)	T _m (°C)	T _p (°C)	ΔT (°C)	c (kJ/kgK)	ρ (kg/m ³)	qv (l/s)	v (m/s ²)	Tarvittava sisä- halkaisija (mm)	Valitun putken ulko- halkaisija (mm)	Valitun putken seinämä- vahvuus (mm)	Valitun putken sisä- halkaisija (mm)	Reynoldsin luku	μ (Pas)	v1 (m ² /s)	λ	Paine häviö (kPa/m)	L (m)	Kokonais- paine- häviö (kPa)	Hinta (alv 24%) (€/m)	Kokonais- hintaa (€)	Hdyn	Hst	H
Vaihto ehto 1	30	144	0	3,5	3,5	3,44	1069,68	11,2	1,5	69	110	6,6	96,8	26337	0,00596	5,6E-06	0,024	0,341	534	182,0	21,78	11 625	17,3	0,0	17,3
	50	231	0	3,5	3,5	3,44	1069,68	17,9	1,5	87	140	8,3	123,4	33122	0,00596	5,6E-06	0,023	0,247	534	131,6	33,92	18 106	12,5	0,0	12,5
	60	277	0	3,5	3,5	3,44	1069,68	21,5	1,8	95	140	8,3	123,4	39746	0,00596	5,6E-06	0,022	0,341	534	181,9	33,92	18 106	17,3	0,0	17,3
	70	323	0	3,5	3,5	3,44	1069,68	25,1	1,6	103	160	9,5	141	40582	0,00596	5,6E-06	0,022	0,237	534	126,4	44,17	23 578	12,0	0,0	12,0
Vaihto ehto 2	30	142	0	2	2	3,47	1068,11	19,1	1,6	90	140	8,3	123,4	42884	0,00491	4,6E-06	0,022	0,265	534	141,5	33,92	18 106	13,5	0,0	13,5
	50	227	0	2	2	3,47	1068,11	30,6	2,0	114	160	9,5	141	60149	0,00491	4,6E-06	0,020	0,324	534	173,2	44,17	23 578	16,5	0,0	16,5
	60	273	0	2	2	3,47	1068,11	36,8	1,9	125	180	10,7	158,6	64169	0,00491	4,6E-06	0,020	0,256	534	136,5	56,01	29 896	13,0	0,0	13,0
	70	318	0	2	2	3,47	1068,11	42,9	2,2	135	180	10,7	158,6	74864	0,00491	4,6E-06	0,019	0,337	534	179,9	56,01	29 896	17,2	0,0	17,2

Taulukko 18. Keruupiirin kustannukset ja nostokorkeus, vesistölämmönvaihdin.

10 Maalämpö esimerkkikohteessa

Suurten, useammasta porakaivosta muodostuvien energiakenttien metrihinta on noin 35–40 € sisältäen porauksen, keruuputkiston ja energiakaivojen yhteen liittämissä [52]. Säävyöhykkeeltä 2 saatava keskimääräinen tehomäärä on lämpökaivolle noin 39,5 W/m [53, 20].

Tarkka maaperän lämpötilan selvittäminen vaatisi termisen vastatestin eli TRT-mittauksen. Opinnäytetyössä käytetään kallioperän lämpötilana oletusarvoa 5 °C, koska sääolosuhteiden vaikutus maaperään häviää noin 10–15 metrin syvyydessä ja energiakaivojen syvyys on tavallisesti alle 300 metriä [54, 8]. Energiakaivosta saatava hyötysuhde vastaa siis taulukon 10 vaihtoehdon 1 kesäaikaisia arvoja, ja kompressorin ottoteho ja maaperästä otettava teho vastaisivat taulukon 11 vastaavia arvoja.

Taulukosta 11 luetaan 30 % tehomitoituksen ja 5 °C:een kohdalta kaivosta otettavaksi tehoksi 145 kW. Energiakaivoa pitäisi asentaa näillä arvoilla 145 kW / 0,0395 kW/m = 3 671 m, jonka hinnaksi tulisi 37,50 € * 3 671 m = 137 663 €. Vastaavasti 30 % tehomitoituksella avoimen järjestelmän ratkaisussa imu- ja poistoputkien kustannuksiksi tulee taulukkojen 12 ja 16 mukaan 54 881 € + 19 605 € = 74 486 €. 30 % tehomitoituksella vesistövaihdinratkaisussa imu-,

poisto- ja keruuputkiston kokonaiskustannuksiksi muodostuu taulukkojen 13, 17 ja 18 mukaan $45\,723\text{ €} + 10\,176\text{ €} + 11\,625\text{ €} = 67\,524\text{ €}$.

11 Kustannusvertailu

Jos lämmönkeruu toteutettaisiin pelkällä vesistöpiirillä ja vuotuisena vesistöstä saatavana energiamääränä käytettäisiin luvun 3.1. mukaan 75 kWh/m , olisi vaadittava pituus $\frac{4\,895\,000\text{ kWh}}{75\frac{\text{kWh}}{\text{m}}} = 65\,267\text{ m}$ asennettua keruuputkistoa. Vesistöpiiri voidaan siis rajata pois esimerkkikohteen vaihtoehdoista. Myös WHCEP Mini soveltuu paremmin pienempiin kohteisiin, sillä esimerkkikohteeseen vaatisi 10–40 kyseistä vesistövaihdinta ja keruunestettä kuluisi 1800–7200 litraa tehomitoituksesta ja veden lämpötilasta riippuen.

WHCEP Megalla toteutettaessa riittäisi kyseinen vesistövaihdin 2–5 moduulilla tehomitoituksesta ja veden lämpötilasta riippuen. Maksimikapasiteetin eli 720 kW ja 6 moduulia omaavan WHCEP Mega-vaihtimen hinta on noin 150 000 €, joten yhden moduulin hinnaksi on työssä arvioitu noin 25 000 €.

Investointikustannukset koostuvat avoimessa järjestelmässä imu- ja poistolinjasta, jätevesipumpusta, taajuusmuuttajasta sekä levylämmönsiirtimistä. Vesistövaihdinratkaisussa investointikustannukset koostuvat itse vaihtimesta, imu- ja poistolinjoista, keruupiiristä ja sen kiertovesipumpusta ja taajuusmuuttajasta. Lisäksi molemmille järjestelmille on laskettu putkikaivannolle hinta, jonka alvitto- man hinnan on arvioitu olevan noin 150 €/m.

Taulukossa 19 on esitetty vesistövaihdinratkaisun investointi- ja käyttökustannukset eri tehomitoituspisteissä. Vesistövaihtimen pumpun tarkempien tietojen puuttuessa pumppauskustannukset arvioitiin suhteuttamalla avoimen järjestelmän nostokorkeus vesistövaihdinratkaisun nostokorkeuteen. Esimerkiksi kun 30 % tehomitoituksella avoimen järjestelmän nostokorkeus on 17,2 m ja vesistövaihtimen 10,0 m, arvioidaan vesistövaihtimen pumppauskustannusten olevan $10,0\text{ m} / 17,2\text{ m} = 0,58 = 58\%$ avoimen järjestelmän pumppauskustannuksista.

	Teho mitoitus (%)	Teho (kW)	Energiakenttä	Vesistövaihdin			
			Investointi kustannukset (€)	Investointi kustannukset (€)	Energiaa talteen vuodessa (MWh)	Lämpöpumpun sähkön kustannukset (€/a)	Pumppaus- sähkön kustannukset (€/a)
Vaihtoehto 1	30	144	137 927	171 942	3 227	202 455	2 868
	50	231	221 180	196 450	4 177	282 413	5 820
	60	277	265 417	240 138	4 202	286 257	5 254
	70	323	309 653	247 691	4 339	296 763	6 996
Vaihtoehto 2	30	142	137 927	176 629	3 227	203 383	3 036
	50	227	221 180	213 084	4 177	283 510	5 418
	60	273	265 417	261 629	4 202	287 349	5 095
	70	318	309 653	264 928	4 339	203 383	8 226

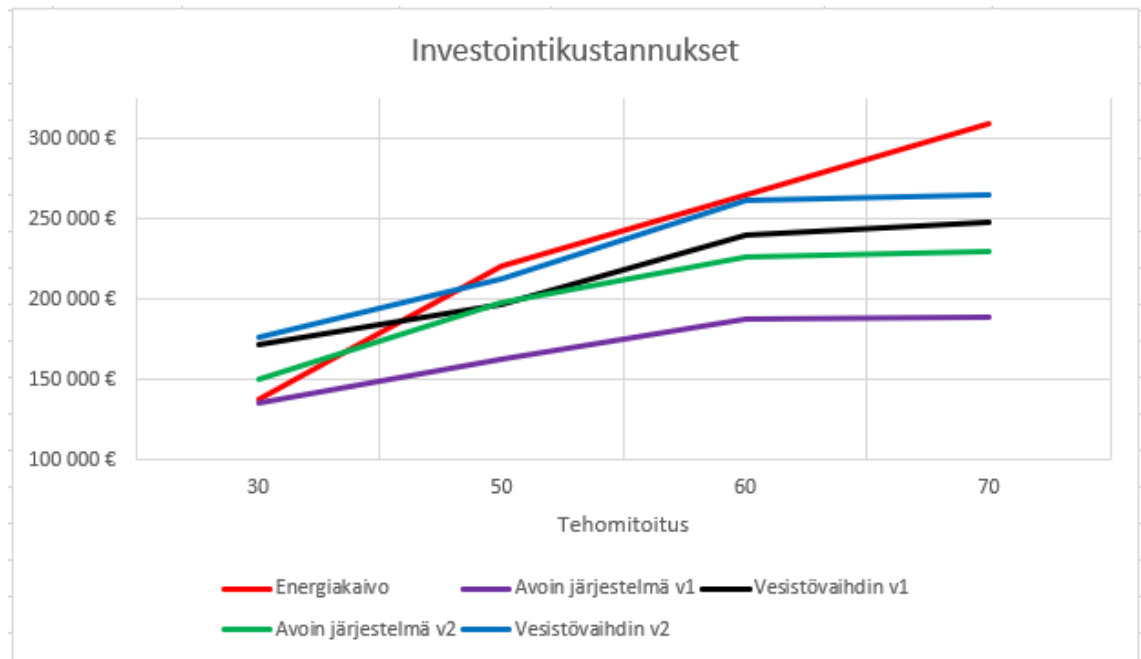
Taulukko 19. Kustannusvertailu, vesistövaihdin.

Avoimen järjestelmän investointi- ja käyttökustannukset on esitetty taulukossa 20. Alfa-Lavalin toimesta mitoitettiin levylämmönvaihtimet. Vaihtoehdolle 1 valittiin TL10-BFM-levylämmönsiirrin, jonka hinnaksi muodostuu 7 800 €. Vaihtoehdon 2 lämmönsiirtimeksi valikoitui T20-PFM, jonka hinta on 12 000 €. [55.] Liitteissä 7 ja 8 on esitetty lämmönvaihtimien mittakuvat ja tekniset tiedot eri tehomitoituspisteissä.

	Teho mitoitus (%)	Teho (kW)	Energiakenttä	Avoin järjestelmä			
			Investointi kustannukset (€)	Investointi kustannukset (€)	Energian tuotto vuodessa (MWh)	Lämpöpumpun sähkön kustannukset (€/a)	Pumppaus- sähkön kustannukset (€/a)
Vaihtoehto 1	30	144	137 927	135 636	3 227	202 455	2 245
	50	231	221 180	162 633	4 177	282 413	6 394
	60	277	265 417	187 371	4 202	286 257	3 830
	70	323	309 653	188 626	4 339	296 763	7 276
Vaihtoehto 2	30	142	137 927	150 736	3 227	203 383	2 801
	50	227	221 180	198 239	4 177	283 510	4 232
	60	273	265 417	227 008	4 202	287 349	4 421
	70	318	309 653	230 506	4 339	203 383	6 941

Taulukko 20. Kustannusvertailu, avoin järjestelmä.

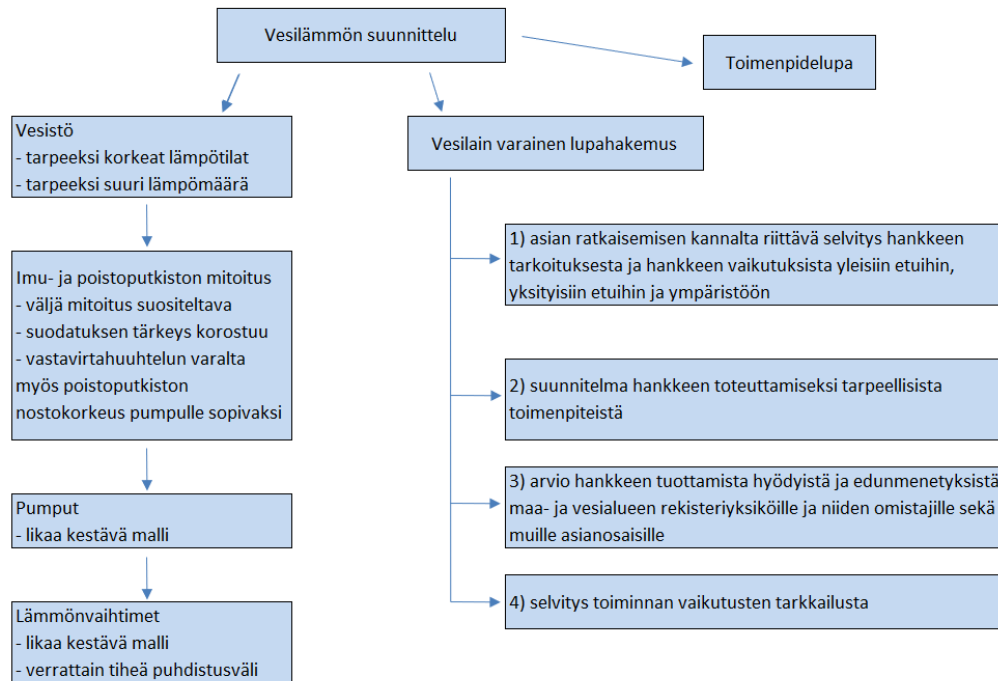
Kuvassa 20 on esitetty kaavio energiakentän ja vesilämpövaihtoehtojen investointikustannusten kasvamisesta tehomitoituspisteiden mukaan.



Kuva 20. Kaavio energiakentän ja vesilämpövaihtoehtojen investointikustannuksista.

12 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli saada lisätietoa vesilämmöstä ja sitä hyödyntävistä vaihtoehtoista. Työssä saatiin selkeä kuva erilaisista vesilämpöä hyödyntävistä vaihtoehtoista, suunnitteluprosessin kulusta ja seikoista, joihin vesilämpöratkaisuissa tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kuvassa 21 on esitetty kaavio suunnitteluprosessin etenemisestä.



Kuva 21. Vesilämmön suunnitteluprosessin eteneminen.

Luonnonvesiä kierrättävät järjestelmät ovat alttiimpia likaantumiselle, jolloin järjestelmän säätö on maalämpöä monimutkaisempaa. Veden roskaisuus ja ilma-liukoisuus ovat epävarmuustekijöitä, joiden vuoksi järjestelmään kannattaa varata tarpeeksi sulkua- ja pesuyhteitä. Lisäkustannuksia aiheutuu säännöllisistä lämmönsiirrinten puhdistuksista.

Esimerkkikohteeseen tehdyssä hintavertailussa vesilämpö osoittautui investointikustannuksiltaan energiakenttää halvemmaksi kaikissa vertailuissa. Vertailussa tehoalueena oli 142–323 kW. Kuvasta 20 huomataan, että energiakentän keruupiirin tarvittava kokonaispituus kasvaa lineaarisesti tehontarpeen mukaan. Sen sijaan vesistölämpöratkaisussa investointikustannukset pysyvät maltillisempina, koska samoja lämmönvaihtimia tai lämmönsiirtomoduuleja voidaan soveltaa useampiin tehomitoituspisteisiin ja lämmöntuottoa tehostaa lisäämällä pumppausta. Avoin järjestelmä osoittautui investointikustannuksiltaan vesistö-vaihdinta halvemmaksi kaikissa tapauksissa. Vaihtoehdossa 1 avoin järjestelmä oli mitoituspisteestä riippuen noin 36 000–59 000 € ja vaihtoehdossa 2 noin 26 000–35 000 € halvempi ratkaisu.

Opinnäytetyössä hankalaksi osoittautui vesistöstä saatavien lämpötilojen selvittäminen. Järjestelmän hyötysuhteiden laskenta perustui pitkälti vesistön arvioituihin lämpötiloihin, joten hyötysuhteet voivat vaihdella vuosittain sääolosuhteiden mukaan. Vesistöstä saatavat lämpötilat ovat etenkin kesäaikaan korkeampia kuin maaperän lämpötila, jolloin päästään parempiin hyötysuhteisiin. Toisaalta talviolloissa vesi voi etenkin virtaavissa vesissä jäähtyä niin alhaiseksi, että syntyy jäätymisvaara. Järjestelmälle turvallisesti hyödynnettävän luonnonveden lämpötila-alueena voidaan pitää 2–20 °C. Laskennoissa varmistuttiin siitä, että esimerkkivesistön avulla pystytään tuottamaan turvallisesti lämpöä esimerkkikohteen vaatima määrä melko suurillakin tehomitoituspisteillä ilman, että vesistön ekologinen tila kärsii.

Vesistöstä saatavat lämpötilat ovat etenkin kesäaikaan korkeampia kuin maaperän lämpötila, jolloin päästään parempiin hyötysuhteisiin. Sen vuoksi vesistölämpö on vartenotettava vaihtoehto esimerkiksi alue- ja kaukolämpöverkostoihin, joihin pitää tuottaa vähintään 70 °C vettä läpi vuoden. Kun tulevaisuudessa kaukolämmössä luovutaan fossiilisten polttoaineiden käytöstä, tulevat uudistuvat lämmönlähteet, mukaan lukien vesistölämpösovellukset, entistä ajankohtaisemmiksi.

Lähteet

1. Työ- ja elinkeinoministeriö. 2020. Energia- ja ilmastostrategia. <https://tem.fi/energia-ja-ilmastostrategia>. 15.4.2020.
2. Valtioneuvosto. 2020. Hiilineutraali ja luonnon monimuotoisuuden turvaava Suomi. <https://valtioneuvosto.fi/marinin-hallitus/hallitusohjelma/hiilineutraali-ja-luonnon-monimuotoisuuden-turvaava-suomi>. 15.4.2020.
3. Ympäristöministeriö. 2020. Hiilineutraali Suomi 2035. <https://www.ym.fi/hiili-neutraalisuomi2035> 15.4.2020.
4. Raitanen, O. 2019. Maalämpö laskee kiinteistöjen käyttökustannuksia. Lassikko. <https://lassikko.lt.fi/maalampo-laskee-kiinteistojen-kayttokustannuksia> 15.4.2020.
5. LVI 11-10332. 2002. Lämpöpumput. Helsinki: Rakennustieto.
6. Nivos. 2020. Näin maalämpöpumppu toimii. <https://www.nivos.fi/nain-maalam-popumppu-toimii> 19.3.2020.
7. Kianta, Jani. 2016. Luonnonvedet hyötykäyttöön. Talotekniikka-lehti. <https://talotekniikka-lehti.fi/luonnonvedet-hyotykayttoon-rakennusten-jaahdytyksessa-lammityksessa/> 20.3.2020.
8. Kettunen I., Mäkelä A., & Heinonen P. 2008. Vesistötietoa näyteenottajille. Helsinki. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38813/YO_2008_Vesist%C3%B6tietoa.pdf?sequence=5. 15.4.2020.
9. Leppäranta M., Virta J. & Huttula T. 2017. Hydrologian perusteet. Helsingin yliopisto, Fysiikan laitos. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/241220/Hydrologian%20perusteet.pdf?sequence=12&isAllowed=y>. 13.4.2020.
10. Granberg, K. 2004. Arvio eräiden Keski- ja Väli-Suomen järvien tuotantotyypistä ja kuormitussiedosta. Keski-Suomen ympäristökeskus. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134580/KSUm%C3%B6n%2050.pdf?sequence=8>. 10.11.2020.
11. Vesilaki 587/2011.
12. Juvonen, J. & Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo – maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöministeriö. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4&isAllowed=y 18.4.2020.
13. RT 103137. 2020. Lämpöenergian kausivarastointi. Rakennustieto.

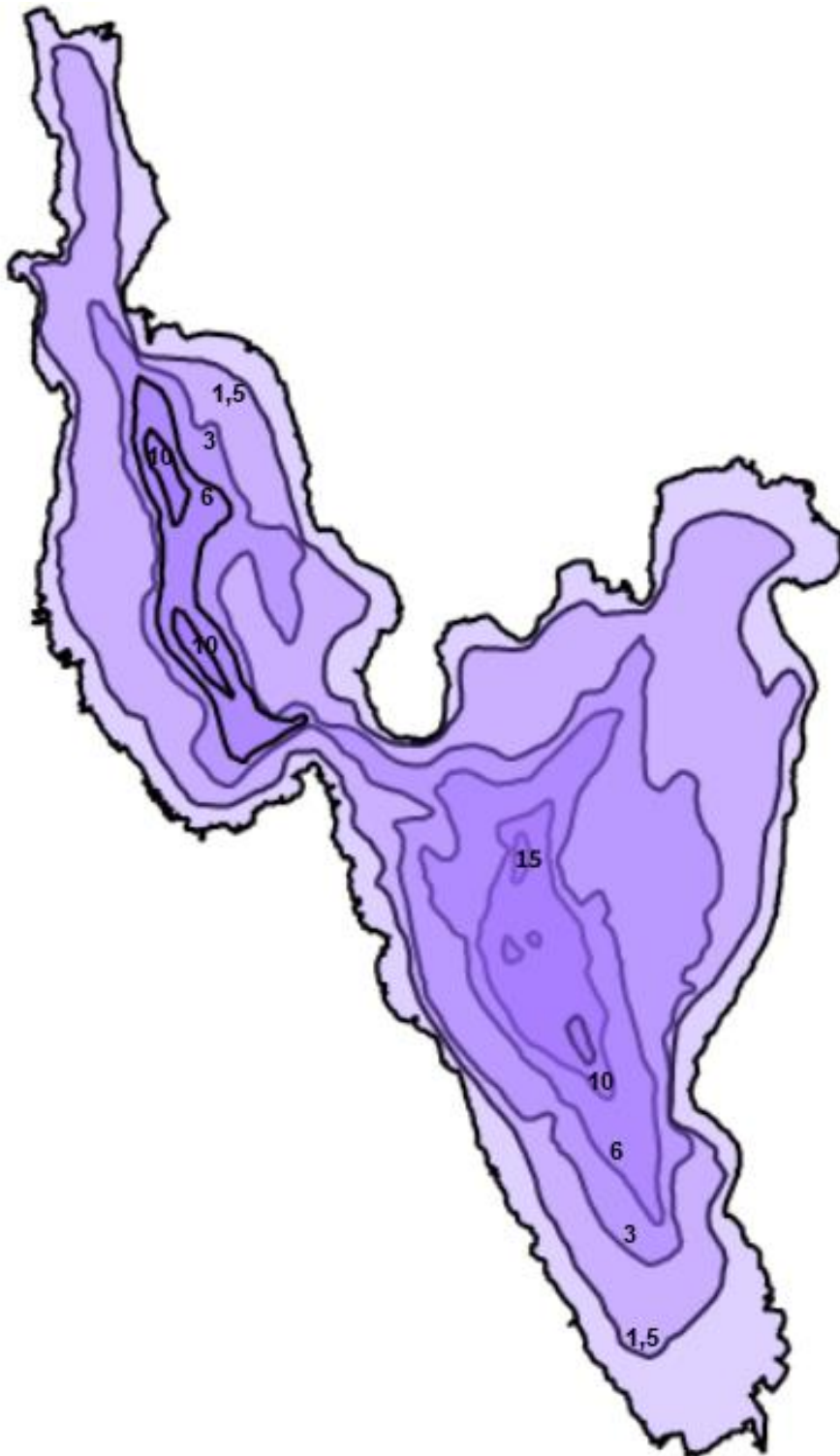
14. Fink, G., Schmid, M. & Wüest, A. 2014. Large lakes as sources and sinks of anthropogenic heat: Capacities and limits. American Geophysical Union. <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/2014WR015509>. 18.4.2020.
15. Luoranen, J. 2017. Teollisen kokoluokan lämpöpumppukoneikon tekniikka ja talous. Aalto-yliopisto. Energia- ja LVI-tekniikka. Diplomityö. https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/25107/master_Luoranen_Juho_2017.pdf?sequence=2 16.11.2020.
16. Suomen ympäristökeskus SYKE. 2020. Järven rehevöityminen. [https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistojen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostustarvetta_aiheuttavia_tekijoiita/Rehevoityminen/Jarven_rehevoityminen\(8181\)](https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Vesi/Vesistojen_kunnostus/Jarvien_kunnostus/Kunnostustarvetta_aiheuttavia_tekijoiita/Rehevoityminen/Jarven_rehevoityminen(8181)). 25.1.2021.
17. Motiva. 2016. Energiatehokas lämmönsiirto. https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf 20.3.2020.
18. European heat pump association. 2015. The world's largest "natural" District heat pump. <https://www.ehpa.org/about/news/article/the-worlds-largest-natural-district-heat-pump/>. 20.3.2020.
19. Saviluoto, L. 2014. Levylämmönsiirtimen levyparin välisen virtauksen ja lämmönsiirron kehittyminen sekä lämpötilan muutos lämpölevyn yli. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Insinöörityö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/84570/levyparin%20valisen%20virtauksen%20ja%20lammonsiirron%20kehittyminen%20seka%20lampotilan%20muutos%20lampolevyn%20yli.pdf?sequence=1>. 23.4.2020.
20. Mota, F., Carvalho, E.P., & Ravagnani, M. 2015. Modeling and Design of Plate Heat Exchanger. Teoksessa Kazi S. (toim.). Heat Transfer Studies and Applications. University of Malaya. <https://www.intechopen.com/books/heat-transfer-studies-and-applications/modeling-and-design-of-plate-heat-exchanger> 23.4.2020.
21. Alfa Laval. Tiivisteellisten levylämmönvaihtimien toiminta. <https://www.alfalaval.fi/microsites/tiivisteelliset-levylammonvaihtimet/tyokalut/levylammonvaihtimen-toiminta/>. 28.4.2020.
22. Karttunen, E. 2004. RIL 124-2 Vesihuolto II. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL R.Y.
23. Motiva. 2021. Energiatehokkaat pumput. https://www.motiva.fi/files/5343/Energiatehokkaat_pumput.pdf 15.2.2021.
24. Vång, P. 2007. Pumppukoneikon suunnittelu laboratorikäyttöön. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Energia- ja laivakonetekniikan koulutusohjelma. Opinätetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/788/Vang%20Petri.pdf?sequence=1> 25.11.2020.

25. WHCEP Mini. 2020. PDF-tiedosto. Saatu sähköpostin liitteenä Geo-Pipen toimitusjohtaja M. Lieskoskelta 5.3.2020.
26. WHCEP Mega. 2020. PDF-tiedosto. Saatu sähköpostin liitteenä Niemi Energy Oy:n toimitusjohtaja J. Juntuselta 20.1.2020.
27. Holmila, E. 2006. Vapo rakentaa lämpölaitoksen lämmittämään urheilijoita. Tekniikka & Talous. <https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/vapo-rakentaa-lampolaitoksen-lammittamaan-urheilijoita/744f4109-0f0e-34c3-9437-043138648d6d> 14.9.2020.
28. Järviwiki. 2020. Kuortaneenjärvi. [http://www.jarviwiki.fi/wiki/Kuortaneenj%C3%A4rvi_\(44.041.1.001\)?setlang=fi](http://www.jarviwiki.fi/wiki/Kuortaneenj%C3%A4rvi_(44.041.1.001)?setlang=fi) 24.4.2020.
29. Motiva. 2016. Kulutuksen normitus – Laskentakaavat ja -ohjeet. https://www.motiva.fi/files/16105/Motiva_Kulutuksenormitus_laskentakaavat-ja-ohjeet_12-2016.pdf 18.4.2020.
30. Helsingin yliopiston fysiikan laitos. 2015. Lämpöenergia ja työ. http://www.courses.physics.helsinki.fi/ope/opelab/kokon_1_5/luento.html 15.4.2020.
31. Aaltonen, E.-K. & Storberg, K.-E. 2006. Kuortaneenjärven vedenlaatu ja kuormitus. Teoksessa Rautio, L. M & Aaltonen, E.-K. (toim.). Kuortaneenjärvi: Lapuanjoen helmi. Länsi-Suomen ympäristökeskus, 59–71. <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134783/Kuortaneenj%C3%A4rvi%20-%20Lapuanjoen%20helmi.pdf?sequence=2> 18.11.2020.
32. Laiho, E-M. 1991. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteet. Mikkelin MTOL.
33. Nuora, H. 2008. Suljettujen putkiverkostojen mitoitusperusteiden tarkastelu. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Energiatekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/748/Nuora%20Harri.pdf?sequence=1&isAllowed=y> 16.11.2020.
34. Kauppa- ja teollisuusministeriö. energiaosasto. 1989 LVI-Laitteiden ylitoituksen haittojen välttäminen. sarja D:170. Helsinki. Valtion painatuskeskus.
35. Salhydro Oy. 2020. Suositellut virtausnopeudet. <https://www.salhydro.fi/fi/virtausnopeus> 16.11.2020.
36. Seppänen, Olli 2001. Rakennusten lämmitys. 2.painos. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
37. Vesijohdot. 2020. Uponor. <https://issuu.com/uponorfi/docs/10-vesijohdot-2020> 16.11.2020.
38. Bohl, W. 1984 Teknillinen virtausoppi. Jyväskylä: Gummerus Oy.

39. Piipponen, A. 2013. Pumppausprosessin suunnittelu koulutuskäyttöön. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/58081/Piipponen_Antti.pdf?sequence=1. 18.11.2020.
40. Aalto-yliopisto. 2019. CHEM-A1120 Virtaustekniikka ja lämmönsiirto. <https://mycourses.aalto.fi/mod/folder/view.php?id=390168> 19.11.2020.
41. Kapanen, M. 2019. Välilliset jäähdytysjärjestelmät. Suomen Kylmäyhdistys ry. Helsinki. http://www.kylmaextra.fi/files/127/Valilliset_Jaahdytysjarjestelmat_2019.pdf 21.11.2020.
42. Pulli, M. 2016. Virtaustekniikka: Vedensiirtojärjestelmien toiminnallinen suunnittelu nykyaikaisin menetelmin. Tampere: Tammertekniikka.
43. Haavisto, J. 2021. Viskositeetti ja pintajännitys. <https://docplayer.fi/11456314-Viskositeetti-ja-pintajannitys.html> 1.3.2021.
44. Stigell, H. 2020. Kaasuputkiston mitoitus asuinkerrostalossa. Ammattikorkeakoulu Arcada. Energi- och miljöteknik. Examensarbete. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/340777/Examensarbete%20Henri%20Stigell.pdf?sequence=2&isAllowed=y> 18.11.2020.
45. Airaksinen, J. 2011. Keskipakopumppujen toimintapisteet ja pumppu vertailu. Savonia Ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/29312/Airaksinen_Juho.pdf;jsessionid=95ECDC8674EF91D10A6E77E08F44E160?sequence=1 18.11.2020.
46. Kauppila, K. 2018. Energiaväylä: Pienen aluelämpöverkon hyödyntäminen matalalämpöisenä sekä lämmönlähteiden ja säästöjen tarkastelu. <https://sykli.fi/wp-content/uploads/2018/06/mlt-raportti-osa-1-20180528-20180506.pdf> 20.11.2020.
47. Alpua, J. 2020. Valintaohjelman lisenssi opinnäytetyötä varten. miika.hietanen@hotmail.com. 12.11.2020.
48. Energiateollisuus ry. 2020. Rakennusten kaukolämmitys - määräykset ja ohjeet. https://www.kuopionenergia.fi/wp-content/uploads/2020/10/JulkaistuK1_2020_Energiateollisuusry.pdf 15.11.2021.
49. Motiva. 2012. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. https://www.motiva.fi/files/16485/Lampopumppujen_energiaskentaopas.pdf 15.11.2021.
50. Kauppila, K. 2017. Energiaväylän kuluttajan lämpöpumppukeskus. <https://sykli.fi/wp-content/uploads/2018/05/energiavaylankuluttajanlampopumppukeskus-final-06032018-1.pdf> 20.11.2021.
51. Suomen Lämpöpumppuyhdistys. 2012. https://www.sulpu.fi/uutiset/-/asset_publisher/WD1ExS3CMra3/content/cop-cop-tosi-o-1 16.11.2020.

52. Techeat. 2021. Maalämpö tai energiakaivo. <https://www.techeat.fi/maalampo/maalampokaivo/>.11.3.2020.
53. Nibe. 2013. Maalämpöpumppu opas. <https://partner.nibe.eu/upload/haato/Ohjeet/NIBE%20MLP%20OPAS%201335-6.pdf>. 11.3.2020.
54. Lauttamäki, V. & Kallio, J. 2013. Geoenergiasta liiketoimintaa. http://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_206.pdf 11.3.2020.
55. Unha, J. 2021. Lämmönsiirtimet opinnäytetyötä varten. miika.hietanen@hotmail.com. 18.5.2021.

Kuortaneenjärven syvyyskartta.



Kaavat putkiston ja pumppauksen mitoitusta varten.

$$q_v = \frac{\Phi}{\rho c \Delta T} \quad (4)$$

missä q_v = tilavuusvirta (l/s)

Φ = teho (kW)

ρ = tiheys (kg/m³)

c = ominaislämpökapasiteetti (kJ/(K*kg))

ΔT = otettavan ja purettavan veden lämpötilan erotus (°C)

$$d_s = \sqrt{\frac{4q_v}{\pi v}} \quad (5)$$

missä d_s = putken sisähalkaisija (m)

q_v = tilavuusvirta (m³/s)

v = virtausnopeus (m/s)

$$vt = \frac{q_v}{A} \quad (6)$$

(38, katso 39)

$$A = \frac{\pi}{4} d_s^2 \quad (7)$$

missä vt = todellinen virtausnopeus (m/s)

q_v = tilavuusvirta (m³/s)

A = putken virtauspoikkipinta-ala (m²)

d_s = putken sisähalkaisija (m)

$$\Delta p = \left(\Sigma \xi + \frac{\lambda l}{d_s} \right) \frac{8 q_m^2}{\pi^2 \rho} d_s^{-4} \quad (8) \quad (41, 26.)$$

missä Δp = painehäviö (Pa)
 ξ = paikallisvastusten osuus (10 % kokonaispainehäviöstä)
 λ = kitkakerroin (-)
 l = putken pituus (m)
 d_s = putken sisähalkaisija (m)
 q_m = massavirta (kg/s)
 ρ = tiheys (kg/m³)

$$Re = \frac{v_t d}{\nu_1} \quad (9) \quad (42, 101).$$

missä Re = Reynoldsin luku
 v_t = todellinen virtausnopeus (m/s)
 d = putken sisähalkaisija (m)
 ν_1 = virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti (m²/s)

$$\nu_1 = \frac{\mu}{\rho} \quad (10) \quad (40, 7.)$$

missä ν_1 = virtaavan aineen kinemaattinen viskositeetti (m²/s)
 μ = virtaavan aineen dynaaminen viskositeetti (Ns/m²)
 ρ = veden tiheys (kg/m³)

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \log_{10} * \left(\frac{4,518}{Re} \log_{10} \frac{Re}{7} + \frac{k}{3710 * d} \right) \quad (11) \quad (42, 101.)$$

$$\lambda = \left(\frac{1}{2 * \log_{10} * \left(\frac{4,518}{Re} \log_{10} \frac{Re}{7} + \frac{k}{3710 * d} \right)} \right)^2 \quad (12) \quad (44, 25.)$$

missä λ = kitkavastuskerroin
 k = putken sisäpinnan karheus (m)
 d_s = putken sisähalkaisija (m)
 Re = Reynoldsin luku

$$H_{st} = H_2 - H_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} \quad (13) \quad (45, 20).$$

missä H_{st} = staattinen nostokorkeus (m)
 H_1 = pinnankorkeus imusäiliössä (m)
 H_2 = pinnankorkeus painesäiliössä (m)
 p_1 = paine imusäiliössä (Pa)
 p_2 = paine painesäiliössä (Pa)
 ρ = nesteen tiheys (kg/m³)
 g = putoamiskiihtyvyys, vakio 9,81 m/s² (m/s²)

$$H_{dyn} = \frac{\Delta p_v}{\rho g} \quad (14) \quad (45, 21).$$

missä H_{dyn} = dynaaminen nostokorkeus (m)
 Δp_v = putkiston ja sen osien virtauspainehäviöt (Pa)
 ρ = nesteen tiheys (kg/m³)
 g = putoamiskiihtyvyys, vakio 9,81 m/s² (m/s²)

$$H = H_{st} + H_{dyn} \quad (15) \quad (45, 22).$$

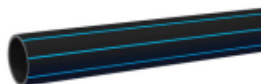
missä H = tarvittava nostokorkeus (m)
 H_{st} = staattinen nostokorkeus (m)
 H_{dyn} = dynaaminen nostokorkeus (m)

PE-100-muoviputken hinta- ja kokotaulukko.

Vesijohtoputket PE

PE-vesijohtoputket PN 10

- EN 12201
- Musta putki sinisin raidoin, SDR 17, PE 100
- Toimitamme putkea ø1600 mm asti tarjouksen mukaan.
- Myös PN 6 ja PN 16 -luokan putkia ja muita putkipituuksia saatavana toimitusajalla.



LVI nro	Upponar nro	de x e	Pituus m	Huom	€/kpl 0%	€/kpl 24%
1815736	1051883	63 x 3,8	6		38,10	47,24
1815737	1051885	75 x 4,5	6		52,50	65,10
1815738	1044480	90 x 5,4	6		72,25	89,59
1818243	1046821	110 x 6,6	12		210,75	261,33
1815741	1057315	140 x 8,3	12		328,25	407,03
1815742	1057386	160 x 9,5	12		427,45	530,04
1815743	1023582	180 x 10,7	12	Toimitusajalla	542,00	672,08
1818245	1046824	200 x 11,9	12		665,75	825,53
1815745	1023583	225 x 13,4	12		846,10	1049,16
1815746	1068267	250 x 14,8	12	Toimitusajalla	1030,65	1278,01
1815747	1023586	280 x 16,6	12	Toimitusajalla	1257,75	1559,61
1818248	1048514	315 x 18,7	12	Toimitusajalla	1633,70	2025,79
1818249	1055576	355 x 21,1	12	Toimitusajalla	2046,00	2537,04
1818250	1051892	400 x 23,7	12	Toimitusajalla	2450,80	3038,99
1818251	1051895	450 x 26,7	12	Toimitusajalla	3271,90	4057,16
1818252	1051897	500 x 29,7	12	Toimitusajalla	4050,85	5023,05
1818253	1051899	560 x 33,2	12	Toimitusajalla	5063,60	6278,86
1818254	1051901	630 x 37,4	12	Toimitusajalla	6387,90	7921,00
1818255	1051903	710 x 42,1	12	Toimitusajalla	8023,90	9949,64
1818256	1051904	800 x 47,4	12	Toimitusajalla	9837,15	12198,07
-	1057318	900 x 53,3	12	Toimitusajalla	Tarjouksen mukaan	
-	1068212	1000 x 59,3	12	Toimitusajalla	Tarjouksen mukaan	

Lämmönjohtavuus [W/mK]

[°C]	20p-%	25p-%	30p-%	35p-%	40p-%	45p-%	50p-%	55p-%	60p-%
40	0,628	0,633	0,618	0,617	0,616	0,561	0,543	0,525	0,468
30	0,611	0,616	0,599	0,593	0,587	0,544	0,525	0,506	0,455
20	0,591	0,585	0,559	0,558	0,557	0,532	0,506	0,480	0,433
10	0,557	0,560	0,535	0,531	0,527	0,514	0,492	0,469	0,414
0	0,540	0,525	0,520	0,511	0,501	0,472	0,457	0,441	0,392
-5	0,525	0,509	0,509	0,495	0,481	0,458	0,449	0,439	0,382
-10		0,489	0,479	0,470	0,460	0,443	0,433	0,422	0,372
-15			0,464	0,457	4,449	0,432	0,424	0,416	0,362
-20				0,441	0,435	0,422	0,413	0,403	0,352
-25					0,425	0,410	0,404	0,398	0,345
-30						0,392	0,389	0,386	0,337
-35						0,388	0,381	0,379	0,328
-40							0,367	0,365	0,317
-45								0,355	0,308

Dynaaminen viskositeetti [Pas*10⁻³]

[°C]	20p-%	25p-%	30p-%	35p-%	40p-%	45p-%	50p-%	55p-%	60p-%
40	1,52	1,85	1,94	2,39	2,84	3,59	4,58	5,56	7,66
30	1,85	2,19	2,47	3,04	3,60	4,48	5,94	7,40	10,14
20	2,31	2,75	3,11	3,93	4,74	6,01	8,21	10,41	14,69
10	3,02	3,62	4,18	5,39	6,59	8,49	12,05	15,61	22,73
0	4,18	5,05	5,91	7,84	9,76	12,90	19,05	25,19	37,46
-5	5,04	6,09	7,23	9,74	12,25	16,53	25,27	34,00	50,17
-10		7,58	9,04	12,35	15,65	22,66	34,54	46,42	69,12
-15			11,53	16,00	20,47	32,23	47,56	62,88	98,30
-20				18,65	26,69	46,94	66,14	85,33	138,69
-25					36,69	66,38	93,85	116,35	194,33
-30					45,55	98,63	125,93	153,23	269,13
-35						147,20	202,93	206,18	370,87
-40							229,10	262,42	493,44
-45								337,10	652,90

Kinemaattinen viskositeetti [mm²/s]

[°C]	20p-%	25p-%	30p-%	35p-%	40p-%	45p-%	50p-%	55p-%	60p-%
40	1,46	1,77	1,84	2,24	2,64	3,31	4,18	5,05	6,92
30	1,78	2,09	2,33	2,83	3,33	4,12	5,41	6,70	9,12
20	2,21	2,61	2,92	3,65	4,38	5,51	7,45	9,39	13,16
10	2,89	3,43	3,92	4,99	6,06	7,75	10,89	14,02	20,27
0	3,99	4,76	5,52	7,24	8,96	11,74	17,14	22,53	33,27
-5	4,80	5,74	6,75	8,99	11,22	15,02	22,69	30,36	44,46
-10		7,13	8,42	11,37	14,31	20,55	30,96	41,36	61,13
-15			10,73	14,71	18,69	29,19	42,55	55,91	86,75
-20				15,46	24,33	42,44	59,09	75,73	127,13
-25					32,87	65,65	38,12	105,58	181,57
-30						88,86	112,15	135,44	236,01
-35						132,34	157,80	183,25	333,48
-40							203,43	231,05	430,94
-45								296,22	569,02

Etanoli-vesiseoksen laskentakaavat.

Etanoliamiiniasetaatti-vesi

T = liuoslämpötila [°C] (+40 - -60 °C) Jäätymispiste = [°C]
x = painoprosentti (0,1 - 0,6)

Tiheys, ρ :

$$\rho = 1003,74636 - 0,157562135 \cdot T + 0,0000540742096 \cdot T^2 + 235,571315 \cdot x - 52,067484 \cdot x^2 - 0,518547366 \cdot T \cdot x \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Ominaislämpökapasiteetti, c_p :

$$c_p = 4,22929158 - 0,0523839599 \cdot T + 0,00296173559 \cdot T^2 - 0,000137639768 \cdot T^3 + 0,00000275340618 \cdot T^4 + 8,57829729E-10 \cdot T^5 - 0,773138749 \cdot x - 20,0427285 \cdot x^2 + 76,4379826 \cdot x^3 - 122,442424 \cdot x^4 + 72,4512485 \cdot x^5 + 0,597645028 \cdot T \cdot x - 2,271059 \cdot T \cdot x^2 + 3,79382492 \cdot T \cdot x^3 - 2,33619924 \cdot T \cdot x^4 - 0,0304338734 \cdot T^2 \cdot x + 0,112558826 \cdot T^2 \cdot x^2 - 0,177051308 \cdot T^2 \cdot x^3 + 0,0997183803 \cdot T^2 \cdot x^4 + 0,00137265516 \cdot T^3 \cdot x - 0,0048797689 \cdot T^3 \cdot x^2 + 0,00734977966 \cdot T^3 \cdot x^3 - 0,00399321598 \cdot T^3 \cdot x^4 - 0,0000291759013 \cdot T^4 \cdot x + 0,0001056939 \cdot T^4 \cdot x^2 - 0,000160632019 \cdot T^4 \cdot x^3 + 0,0000884491957 \cdot T^4 \cdot x^4 \text{ [kJ/kgK]}$$

Lämmönjohtavuus, λ :

$$\lambda = 1,57624925 + 0,0207274085 \cdot T - 0,001811127 \cdot T^2 + 0,0000783171338 \cdot T^3 - 0,00000113855258 \cdot T^4 - 1,02579812E-11 \cdot T^5 - 14,8416896 \cdot x + 83,345036 \cdot x^2 - 230,489862 \cdot x^3 + 310,26775 \cdot x^4 - 163,42598 \cdot x^5 - 0,211887811 \cdot T \cdot x + 0,890751348 \cdot T \cdot x^2 - 1,56898441 \cdot T \cdot x^3 + 0,977317664 \cdot T \cdot x^4 + 0,0161594858 \cdot T^2 \cdot x - 0,0532546879 \cdot T^2 \cdot x^2 + 0,076664291 \cdot T^2 \cdot x^3 - 0,0406457764 \cdot T^2 \cdot x^4 - 0,000644455197 \cdot T^3 \cdot x + 0,00195373255 \cdot T^3 \cdot x^2 - 0,0025965214 \cdot T^3 \cdot x^3 + 0,00127936156 \cdot T^3 \cdot x^4 + 0,00000926765601 \cdot T^4 \cdot x - 0,0000277974994 \cdot T^4 \cdot x^2 + 0,0000365039498 \cdot T^4 \cdot x^3 - 0,0000177626544 \cdot T^4 \cdot x^4 \text{ [W/mK]}$$

Dynaaminen viskositeetti, μ :

$$\mu = -3,37186744 - 0,0741136388 \cdot T + 0,0165549891 \cdot T^2 - 0,000687456836 \cdot T^3 + 0,00000809537896 \cdot T^4 - 5,45283512E-10 \cdot T^5 + 52,8546914 \cdot x - 273,921313 \cdot x^2 + 698,891293 \cdot x^3 - 852,711023 \cdot x^4 + 403,804162 \cdot x^5 + 0,64231595 \cdot T \cdot x - 2,49223413 \cdot T \cdot x^2 + 3,94931898 \cdot T \cdot x^3 - 2,25751756 \cdot T \cdot x^4 - 0,16626824 \cdot T^2 \cdot x + 0,608353788 \cdot T^2 \cdot x^2 - 0,953952226 \cdot T^2 \cdot x^3 + 0,543620903 \cdot T^2 \cdot x^4 + 0,00659623841 \cdot T^3 \cdot x - 0,0228295801 \cdot T^3 \cdot x^2 + 0,0340951986 \cdot T^3 \cdot x^3 - 0,0186237468 \cdot T^3 \cdot x^4 - 0,0000734645105 \cdot T^4 \cdot x + 0,000238469257 \cdot T^4 \cdot x^2 - 0,000333303625 \cdot T^4 \cdot x^3 + 0,000170407562 \cdot T^4 \cdot x^4$$

$$\mu = 10^{-3} \cdot 10^{\text{mu}} \text{ [Pas]}$$

Kinemaattinen viskositeetti, ν :

$$\nu = \mu / \rho \text{ [m}^2\text{/s]}$$

Jäätymiskäyrät:

$$\text{Jäätymispiste} = 3,82 - 74,62 \cdot x + 154,88 \cdot x^2 - 307,13 \cdot x^3 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$\text{Jäätymispiste} = 0,137034715 - 0,500900057 \cdot (x \cdot 100) + 0,00876840904 \cdot (x \cdot 100)^2 - 0,000155794086 \cdot (x \cdot 100)^3 - 0,00000812209369 \cdot (x \cdot 100)^4 + 6,90773743E-08 \cdot (x \cdot 100)^5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$x = (0,0613052352 - 2,63572763 \cdot \text{Jäätymispiste} - 0,0513306951 \cdot \text{Jäätymispiste}^2 - 0,0000926744283 \cdot \text{Jäätymispiste}^3 + 0,00000877212196 \cdot \text{Jäätymispiste}^4 + 6,94976617E-08 \cdot \text{Jäätymispiste}^5) / 100 \text{ [p-\%]}$$

Teholaskenta tuottolämpötilojen mukaan.

Tuottolämpötila 80 °C (30% mitoituksella 75 °C)									
Teho mitoitus (%)	Φ_{out} (kW)	W_{in} (kW)				Vedestä otettava teho (kW)			
		Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C	Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C
30	243	101	99	98	80	142	144	145	163
50	405	178	174	172	142	227	231	233	263
60	486	213	209	206	171	273	277	280	315
70	567	249	244	241	199	318	323	326	368

Tuottolämpötila 75 °C									
Teho mitoitus (%)	Φ_{out} (kW)	W_{in} (kW)				Vedestä otettava teho (kW)			
		Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C	Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C
30	243	101	99	98	80	142	144	145	163
50	405	169	165	163	133	236	240	242	272
60	486	202	198	195	159	284	288	291	327
70	567	236	231	228	186	331	336	339	381

Tuottolämpötila 70 °C									
Teho mitoitus (%)	Φ_{out} (kW)	W_{in} (kW)				Vedestä otettava teho (kW)			
		Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C	Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C
30	243	96	93	92	74	147	150	151	169
50	405	159	156	153	123	246	249	252	282
60	486	191	187	184	147	295	299	302	339
70	567	223	218	215	172	344	349	352	395

Tuottolämpötila 60 °C									
Teho mitoitus (%)	Φ_{out} (kW)	W_{in} (kW)				Vedestä otettava teho (kW)			
		Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C	Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C
30	243	84	82	80	61	159	161	163	182
50	405	140	136	134	102	265	269	271	303
60	486	168	163	160	123	318	323	326	363
70	567	196	191	187	143	371	376	380	424

Tuottolämpötila 50 °C									
Teho mitoitus (%)	Φ_{out} (kW)	W_{in} (kW)				Vedestä otettava teho (kW)			
		Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C	Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C
30	243	71	69	68	48	172	174	175	195
50	405	119	115	113	80	286	290	292	325
60	486	143	138	135	96	343	348	351	390
70	567	167	161	158	112	400	406	409	455

Tuottolämpötila 40 °C									
Teho mitoitus (%)	Φ_{out} (kW)	W_{in} (kW)				Vedestä otettava teho (kW)			
		Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C	Lämpötilassa 2,5 °C	Lämpötilassa 4 °C	Lämpötilassa 5 °C	Lämpötilassa 18 °C
30	243	58	56	54	34	185	187	189	209
50	405	97	93	91	57	308	312	314	348
60	486	116	112	109	68	370	374	377	418
70	567	136	130	127	80	431	437	440	487

TL10-BFG-lämmönvaihtimen mittakuva ja tekniset tiedot

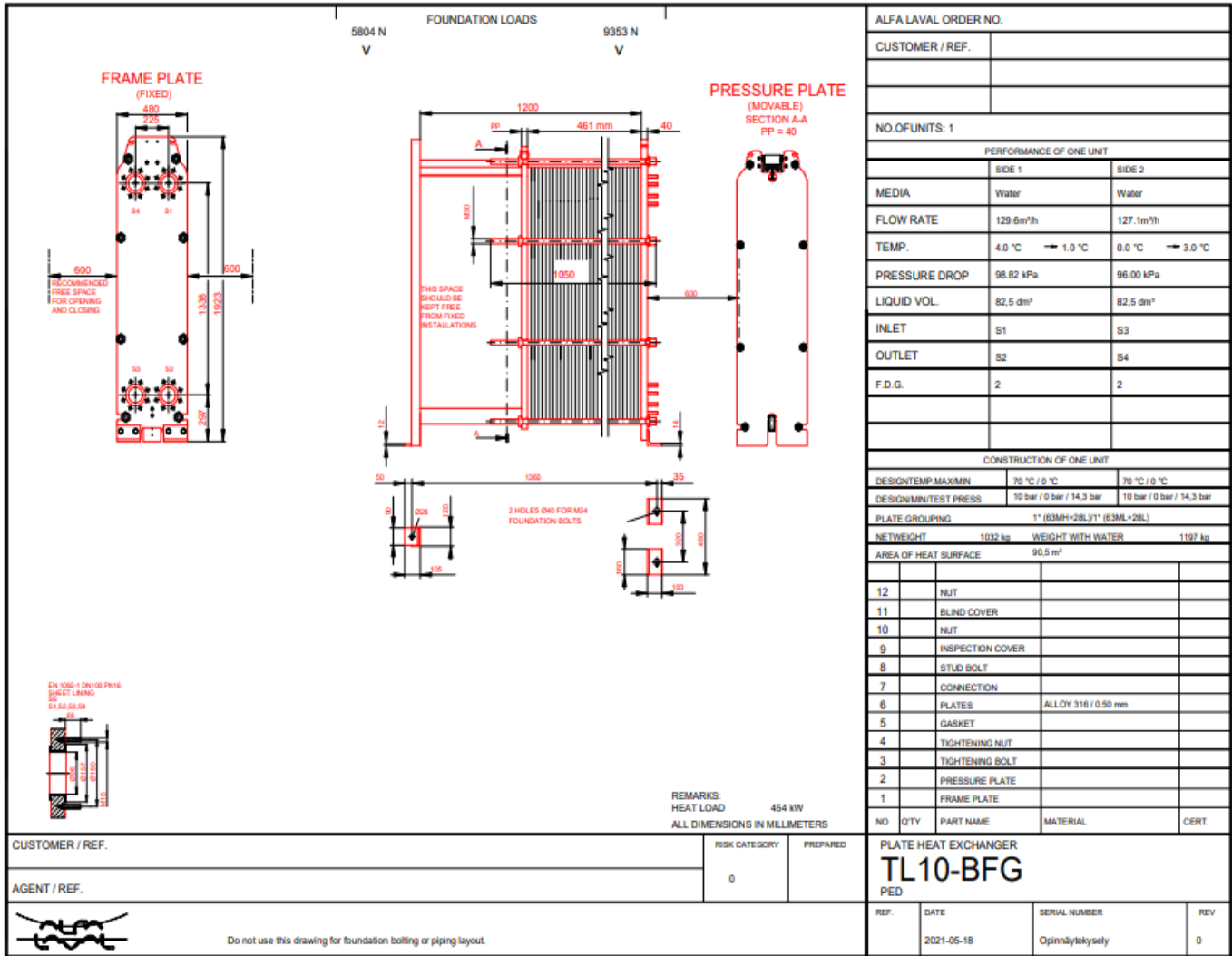


Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer	:		
Model	:	TL10-BFG	
Project:	:	Miika Hietanen opinnäytetyö	
Item	:	Vaihtoehto 1 100%	Date : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.21	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.574	0.573
Viscosity inlet	cP	1.57	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.61
Volume flow rate	m ³ /h	129.6	127.1
Inlet temperature	°C	4.0	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	3.0
Pressure drop	kPa	98.8	96.0
Heat Exchanged	kW	454.0	
L.M.T.D.	K	*2	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	5602	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	5093	
Heat transfer area	m ²	90.5	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	0.18	
Effective duty margin	%	10.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN100 PN16, lining SS	
No. of plates		183	
No. of effective plates		181	
Number of passes		1	1
Extension capacity		18	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	14.3	14.3
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1445 x 480 x 1923	
Liquid volume	dm ³	82.50	82.50
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	1030 / 1200 / 1200	
Packed weight	kg	1070	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	2.2	
length x width x height	mm	2100 x 635 x 1650	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : TL10-BFM
Project: : Miika Hietanen opinnäytetyö
Item : Vaihtoehto 1 70% **Date** : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.21	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.574	0.573
Viscosity inlet	cP	1.57	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.61
Volume flow rate	m ³ /h	92.2	90.4
Inlet temperature	°C	4.0	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	3.0
Pressure drop	kPa	53.2	51.7
Heat Exchanged	kW	323.0	
L.M.T.D.	K	*2	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	4600	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	3622	
Heat transfer area	m ²	90.5	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	0.59	
Effective duty margin	%	27.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN100 PN10, lining SS	
No. of plates		183	
No. of effective plates		181	
Number of passes		1	1
Extension capacity		19	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	13.0	13.0
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1440 x 480 x 1885	
Liquid volume	dm ³	82.44	82.44
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	958 / 1120 / 1120	
Packed weight	kg	996	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	2.2	
length x width x height	mm	2100 x 635 x 1650	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer	:		
Model	:	TL10-BFM	
Project:	:	Miika Hietanen opinnäytetyö	
Item	:	Vaihtoehto 1 60%	Date : 18.5.2021
		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.21	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.574	0.573
Viscosity inlet	cP	1.57	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.61
Volume flow rate	m ³ /h	78.8	77.4
Inlet temperature	°C	4.0	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	3.0
Pressure drop	kPa	40.1	39.0
Heat Exchanged	kW	277.0	
L.M.T.D.	K	*2	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	4195	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	3131	
Heat transfer area	m ²	90.5	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	0.81	
Effective duty margin	%	34.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN100 PN10, lining SS	
No. of plates		183	
No. of effective plates		181	
Number of passes		1	1
Extension capacity		19	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	13.0	13.0
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1440 x 480 x 1885	
Liquid volume	dm ³	82.44	82.44
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	958 / 1120 / 1120	
Packed weight	kg	996	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	2.2	
length x width x height	mm	2100 x 635 x 1650	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : TL10-BFM
Project : Miika Hietanen opinnäytetyö
Item : Vaihtoehto 1 50%

Date : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.21	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.574	0.573
Viscosity inlet	cP	1.57	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.61
Volume flow rate	m ³ /h	65.9	64.4
Inlet temperature	°C	4.0	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	3.1
Pressure drop	kPa	28.9	28.0
Heat Exchanged	kW	231.0	
L.M.T.D.	K	**	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	3762	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	2612	
Heat transfer area	m ²	90.5	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	1.2	
Effective duty margin	%	44.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN100 PN10, lining SS	
No. of plates		183	
No. of effective plates		181	
Number of passes		1	1
Extension capacity		19	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	13.0	13.0
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1440 x 480 x 1885	
Liquid volume	dm ³	82.44	82.44
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	958 / 1120 / 1120	
Packed weight	kg	996	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	2.2	
length x width x height	mm	2100 x 635 x 1650	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer	:		
Model	:	TL10-BFM	
Project:	:	Miika Hietanen opinnäytetyö	
Item	:	Vaihtoehto 1 30%	Date : 18.5.2021
		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.21	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.575	0.573
Viscosity inlet	cP	1.57	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.61
Volume flow rate	m ³ /h	39.6	38.5
Inlet temperature	°C	4.0	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	3.1
Pressure drop	kPa	11.5	11.0
Heat Exchanged	kW	138.0	
L.M.T.D.	K	*2	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	2742	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	1549	
Heat transfer area	m ²	90.5	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	2.8	
Effective duty margin	%	77.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN100 PN10, lining SS	
No. of plates		183	
No. of effective plates		181	
Number of passes		1	1
Extension capacity		19	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	13.0	13.0
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1440 x 480 x 1885	
Liquid volume	dm ³	82.44	82.44
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	958 / 1120 / 1120	
Packed weight	kg	996	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	2.2	
length x width x height	mm	2100 x 635 x 1650	

T20-PFM-lämmönvaihtimen mittakuva ja tekniset tiedot

FOUNDATION LOADS

10415 N
V

16448 N
V

FRAME PLATE (FIXED)

PRESSURE PLATE (MOVABLE)
SECTION A-A
PP = 45

RECOMMENDED FREE SPACE FOR OPENING AND CLOSING

THIS SPACE SHOULD BE KEPT FREE FROM FIXED INSTALLATIONS

5 HOLES Ø40 FOR M24 FOUNDATION BOLTS

EN 1090-1 EN1020 P110 SHEET LINING S1,50 00,54 150

REMARKS:
HEAT LOAD 461 kW
ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS

ALFA LAVAL ORDER NO.				
CUSTOMER / REF.				
NO. OF UNITS: 1				
PERFORMANCE OF ONE UNIT				
	SIDE 1	SIDE 2		
MEDIA	Water	Water		
FLOW RATE	263.2m³/h	223.9m³/h		
TEMP.	2.5 °C → 1.0 °C	0.0 °C → 1.8 °C		
PRESSURE DROP	99.94 kPa	73.17 kPa		
LIQUID VOL.	179.8 dm³	179.8 dm³		
INLET	S1	S3		
OUTLET	S2	S4		
F.D.G.	2	2		
CONSTRUCTION OF ONE UNIT				
DESIGN TEMP MAX/MIN	20 °C / 0 °C	20 °C / 0 °C		
DESIGN MIN/TEST PRESS	10 bar / 0 bar / 14.3 bar	10 bar / 0 bar / 14.3 bar		
PLATE GROUPING	1" (24H+39ML)1" (24H+39ML)			
NET WEIGHT	1695 kg	WEIGHT WITH WATER 2055 kg		
AREA OF HEAT SURFACE 111.3 m²				
12	NUT			
11	BLIND COVER			
10	NUT			
9	INSPECTION COVER			
8	STUD BOLT			
7	CONNECTION			
6	PLATES	ALLOY 316 / 0.50 mm		
5	GASKET			
4	TIGHTENING NUT			
3	TIGHTENING BOLT			
2	PRESSURE PLATE			
1	FRAME PLATE			
NO.	QTY	PART NAME	MATERIAL	CERT.
PLATE HEAT EXCHANGER				
T20-PFM				
PED				
REF.	DATE	SERIAL NUMBER	REV	
	2021-05-18	Opiinnlytkysely	0	

CUSTOMER / REF.

AGENT / REF.

Do not use this drawing for foundation bolting or piping layout.

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T20-PFM
Project : Miika Hietanen opinnäytetyö
Item : Vaihtoehto 2 100% **Date** : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.22	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.573	0.572
Viscosity inlet	cP	1.64	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.68
Volume flow rate	m ³ /h	263.2	223.9
Inlet temperature	°C	2.5	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	1.8
Pressure drop	kPa	99.9	73.2
Heat Exchanged	kW	461.0	
L.M.T.D.	K	**	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	5223	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	4748	
Heat transfer area	m ²	111.3	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	0.19	
Effective duty margin	%	10.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN200 PN10, lining SS	
No. of plates		127	
No. of effective plates		125	
Number of passes		1	1
Extension capacity		13	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	14.3	14.3
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1505 x 755 x 2100	
Liquid volume	dm ³	179.75	179.75
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	1700 / 2060 / 2060	
Packed weight	kg	1825	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	3.7	
length x width x height	mm	2380 x 950 x 1625	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T20-PFM
Project: : Miika Hietanen opinnäytetyö
Item : Vaihtoehto 2 70% **Date** : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.22	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.573	0.572
Viscosity inlet	cP	1.64	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.68
Volume flow rate	m ³ /h	181.4	154.4
Inlet temperature	°C	2.5	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	1.8
Pressure drop	kPa	48.5	35.7
Heat Exchanged	kW	318.0	
L.M.T.D.	K	**	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	4187	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	3297	
Heat transfer area	m ²	111.3	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	0.64	
Effective duty margin	%	27.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN200 PN10, lining SS	
No. of plates		127	
No. of effective plates		125	
Number of passes		1	1
Extension capacity		13	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	14.3	14.3
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1505 x 755 x 2100	
Liquid volume	dm ³	179.75	179.75
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	1700 / 2060 / 2060	
Packed weight	kg	1825	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	3.7	
length x width x height	mm	2380 x 950 x 1625	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T20-PFM
Project: : Miika Hietanen opinnäytetyö
Item : Vaihtoehto 2 60% **Date** : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.22	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.573	0.572
Viscosity inlet	cP	1.64	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.68
Volume flow rate	m ³ /h	155.5	132.5
Inlet temperature	°C	2.5	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	1.8
Pressure drop	kPa	36.1	27.1
Heat Exchanged	kW	273.0	
L.M.T.D.	K	**	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	3814	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	2825	
Heat transfer area	m ²	111.3	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	0.92	
Effective duty margin	%	35.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN200 PN10, lining SS	
No. of plates		127	
No. of effective plates		125	
Number of passes		1	1
Extension capacity		13	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	14.3	14.3
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1505 x 755 x 2100	
Liquid volume	dm ³	179.75	179.75
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	1700 / 2060 / 2060	
Packed weight	kg	1825	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	3.7	
length x width x height	mm	2380 x 950 x 1625	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T20-PFM
Project: : Miika Hietanen opinnäytetyö
Item : Vaihtoehto 2 50% **Date** : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.22	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.573	0.572
Viscosity inlet	cP	1.64	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.68
Volume flow rate	m ³ /h	129.6	110.2
Inlet temperature	°C	2.5	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	1.8
Pressure drop	kPa	25.9	19.4
Heat Exchanged	kW	227.0	
L.M.T.D.	K	*2	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	3403	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	2347	
Heat transfer area	m ²	111.3	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	1.3	
Effective duty margin	%	45.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN200 PN10, lining SS	
No. of plates		127	
No. of effective plates		125	
Number of passes		1	1
Extension capacity		13	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	14.3	14.3
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1505 x 755 x 2100	
Liquid volume	dm ³	179.75	179.75
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	1700 / 2060 / 2060	
Packed weight	kg	1825	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	3.7	
length x width x height	mm	2380 x 950 x 1625	

Plate Heat Exchanger



Technical specification

Customer :
Model : T20-PFM
Project: : Miika Hietanen opinnäytetyö
Item : Vaihtoehto 2 30% **Date** : 18.5.2021

		Hot side	Cold side
Fluid		Water	Water
Density	kg/m ³	1002	1002
Specific heat capacity	kJ/(kg·K)	4.22	4.22
Thermal conductivity	W/(m·K)	0.573	0.572
Viscosity inlet	cP	1.64	1.78
Viscosity outlet	cP	1.72	1.68
Volume flow rate	m ³ /h	77.8	66.2
Inlet temperature	°C	2.5	0.0
Outlet temperature	°C	1.0	1.7
Pressure drop	kPa	10.3	7.74
Heat Exchanged	kW	136.0	
L.M.T.D.	K	*2	
O.H.T.C clean conditions	W/(m ² ·K)	2460	
O.H.T.C service	W/(m ² ·K)	1398	
Heat transfer area	m ²	111.3	
Effective fouling resistance* 10000	m ² ·K/W	3.1	
Effective duty margin	%	76.0	
Relative directions of fluids		Countercurrent	
Nozzle orientation		S1 -> S2	S4 <- S3
Connections S1, S2, S3, S4:		Flange EN1092-1 DN200 PN10, lining SS	
No. of plates		127	
No. of effective plates		125	
Number of passes		1	1
Extension capacity		13	
Plate material/ Thickness		ALLOY 316 0.50 mm	
Sealing material		NBRB Clip-on	NBRB Clip-on
Pressure vessel code		PED, Category 0	
Fluid danger group		No Danger	No Danger
Has risky vapour pressure		No	No
Design pressure	bar	10.0	10.0
Test pressure	bar	14.3	14.3
Design temperature	°C	70.0	70.0
Overall length x width x height	mm	1505 x 755 x 2100	
Liquid volume	dm ³	179.75	179.75
Net weight, empty / operating/ Flooded	kg	1700 / 2060 / 2060	
Packed weight	kg	1825	
Type of package		SKID BASE LYING	
volume	m ³	3.7	
length x width x height	mm	2380 x 950 x 1625	