

Maiju Grönholm

Jäteveden lämmöntalteenotto

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Insinööri (AMK)
Talotekniikan koulutusohjelma
Insinöörityö
19.5.2011

Tekijä(t) Otsikko	Maiju Grönholm Jäteveden lämmöntalteenotto
Sivumäärä Aika	35 sivua + 4 liitettä 19.5.2011
Tutkinto	insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-suunnittelu
Ohjaaja(t)	diplomi-insinööri Johannes Helander lehtori Jyrki Viranko
<p>Jäteveden lämmöntalteenotto on Suomessa aiheena melko uusi ja tulevaisuudessa rakentamismääräysten kiristyessä tarvitaan yhä enemmän keinoja energian säästämiseksi. Tämän insinööriyön tavoitteena oli selvittää, minkälaisia järjestelmäratkaisuja on tällä hetkellä saatavilla ja kehitetty ulkomailla ja Suomessa. Lisäksi tavoitteena oli tarkastella jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmän soveltuvuutta suureen sairaalakohteeseen.</p> <p>Selvitystyön tuloksena ulkomailta löydettiin kolme erityyppistä järjestelmää, jotka soveltuisivat insinööriyötä varten rajatun kokoluokan kiinteistöihin. Lisäksi ulkomailta löytyy monia järjestelmiä, jotka on kehitetty jäteveden lämmöntalteenottoratkaisuksi suuriin kunnallisiin viemäriverkostoihin tai suuriin teollisuuslaitoksiin. Suomesta selvitystyön tuloksena ei löytynyt kuin jo vanhentuneita järjestelmäratkaisuja.</p> <p>Insinööriyön tilaajan suurta sairaalakohdetta varten tehtiin laskelmia käyttöveden lämmitykseen liittyen tarkastellen kolmea erityyppistä järjestelmävaihtoehtoa. Vaihtoehdot olivat käyttöveden lämmitys kaukolämmöllä, jäteveden lämmöntalteenotolla ja kaukolämmöllä tai jäteveden lämmöntalteenotolla, lämpöpumpulla ja kaukolämmöllä. Vaihtoehtoja vertailtiin niiden elinkaarikustannusten pohjalta.</p> <p>Tehtyjen laskelmien perusteella saatiin selville, että hankintakustannuksiltaan halvin oli vaihtoehto, jossa lämmitys tapahtuu kaukolämmöllä ja kallein vaihtoehto, jossa mukana lämmityksessä olisi lämpöpumppu. Energiakustannuksiltaan 50 vuoden aikana halvin olisi kuitenkin hankintakustannuksiltaan kallein vaihtoehto.</p> <p>Vaihtoehtojen elinkaarikustannusvertailussa ei huomioitu sitä, että jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä vaatisi mustien ja harmaiden jätevesien erottelun, jolloin hankintakustannukset kasvaisivat ja elinkaarikustannuslaskelmien tulokset muuttuisivat huomattavasti.</p> <p>Tulevaisuudessa myös Suomessa kehitetään melko varmasti järjestelmiä, joilla jäteveden mukana hukkaan menevää lämpöä saadaan käytettyä hyödyksi. Aihe tulee varmasti olemaan esillä tulevaisuudessa uutena energiansäästämöhdollisuutena.</p>	
Avainsanat	jätevesi, lämmöntalteenotto, energiansäästö

Author(s) Title	Maiju Grönholm Heat recovery from waste water
Number of Pages Date	35 pages + 4 appendices 19 May 2011
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Design Orientation
Instructor(s)	Johannes Helander, Project Manager Jyrki Viranko, Senior Lecturer
<p>The goal of this final year project was to investigate what kind of system solutions are currently available and developed in Finland and abroad for waste water heat recovery. Another objective was to examine the suitability of a waste water heat recovery system to a large city hospital.</p> <p>As a result, three types of systems suitable for the limited scale of the real estate in the final year project were located abroad. There were also many other systems available abroad, developed for waste water heat recovery solutions for major municipal sewerage networks or large industrial plants. The system solutions found in Finland were outdated.</p> <p>Calculations for three types of alternatives for heating systems for hot water were made for a large hospital project. The alternatives were district heating, a combination of heat recovery from waste water and district heating, and a combination of heat recovery from waste water, heat pump and district heating. The life-cycle costs of the alternatives were compared.</p> <p>The calculations showed that the district heating alternative was the cheapest one to acquire, and the most expensive alternative was the one with the heat pump. However, when comparing the alternatives according to energy costs during a 50-year period, the alternative with the heat pump was the cheapest. If the sampling of black and gray water separation, required by the waste water-water heat recovery system, had been taken into account, the acquisition costs would have been increased, and the life cycle cost calculations affected greatly.</p> <p>The investigation gave much new information and showed that lot of can be one in the future.</p>	
Keywords	waste water, sewer water, heat recovery

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Jäteveden lämmöntalteenoton tausta	3
3	Lämpöpumput	5
3.1	Lämpöpumpun toiminta	5
3.2	Lämpökerroin	6
4	Rakentamismääräykset ja niiden huomioiminen	8
5	Järjestelmät Suomessa	9
6	Järjestelmät ulkomailla	10
6.1	Super Singlex	10
6.1.1	Asennus maahan	11
6.1.2	Asennus kattoon	12
6.2	TwinTube-tuplaputkijärjestelmä	13
6.3	Recoh-multivert	15
6.3.1	Laitteisto ja sen toiminta	15
6.3.2	Esimerkkisäästöt laitetoimittajalta	17
6.3.3	Käyttökohteita	17
7	Esimerkkikohde Espoon sairaala- ja seniorikeskus	20
7.1	Yleistä	20
7.2	Kohteen tiedot	21
8	Järjestelmien teknillistalouden vertailu	21
8.1	Laskennan tavoitteet	21
8.2	Laskennassa käytetyt lähtötiedot ja tausta	22
8.3	Vertailtavat järjestelmät	25
8.3.1	Vaihtoehto 1	25
8.3.2	Vaihtoehto 2	25
8.3.3	Vaihtoehto 3	27
8.4	Laskennassa käytetyt kaavat	28
8.5	Laskennan tulokset ja niiden analysointi	29

8.6 Virhetarkastelu	32
9 Yhteenveto	32
Lähteet	34

Liitteet

Liite 1. Vaihtoehdon 1 kytkentä ja toiminta

Liite 2. Vaihtoehdon 2 kytkentä ja toiminta

Liite 3. Vaihtoehdon 3 kytkentä ja toiminta

Liite 4. Ruotsinkielisten sanojen suomennoksia

1 Johdanto

Tämän insinööriyön aiheena on lämmöntalteenotto jätevedestä. Rakentamismääräysten kiristyessä ja pyrittäessä rakentamaan jatkuvasti energiatehokkaampia rakennuksia, pohditaan olisiko, esimerkiksi jätevesi sellainen osa rakennuksen lämpöenergianhukkaa, jota voitaisiin hyödyntää ottamalla lämpöä talteen. Tämän tulisi kuitenkin tapahtua siten, etteivät kustannukset kasvaisi liian suuriksi. Jäteveden mukana poistuu paljon lämpöä, etenkin rakennuksissa, joissa lämpimän käyttöveden kulutus on suurta. Tällaisia rakennuksia ovat esimerkiksi uimahallit, hotellit, sairaalat ja muut hoitolaitokset.

Insinööriyön tarkoituksena on selvittää, millaisia jäteveden LTO-järjestelmiä on aiemmin käytetty Suomessa ja maailmalla sekä kuinka nämä järjestelmät soveltuisivat Suomeen. Työssä on tarkoitus selvittää järjestelmien toimintaa, kustannuksia ja kannattavuutta Suomessa. Järjestelmiä ja niiden toimintaa verrataan Suomen rakentamismääräyksiin. Rakennusten, joihin järjestelmien soveltuvuutta pohditaan, koko on rajattu n. 1 000 m² ja 120 lapsen päiväkodista suuriin sairaaloihin, lukuun ottamatta toimistorakennuksia tai pienempiä asuinrakennuksia. Insinööriyön yhtenä osana pohditaan soveltuvaa järjestelmää Espoon Puolarmetsän sairaalan tilalle rakennettavaan sairaala- ja seniorikeskukseen sekä vertaillaan kohteeseen teoriassa sopivia järjestelmiä.

Tämä insinööriyö tehdään selvitystyönä Kontermo Oy:lle sekä Espoon kaupungille. Kontermo Oy on Espoon Mankkaalla toimiva, LVIS- ja rakennusautomaatiotekniikkaan erikoistunut insinööritoimisto, joka on perustettu vuonna 1986. Yrityksen toimiala kattaa erilaisia LVIS-asiantuntijapalveluita, kuten LVIS- ja rakennusautomaatiosuunnittelua, urakkasuoritusten valvontaa, vastaanottotarkastuksia ja rakennuttamispalveluita, käyttö- ja huolto-ohjelmien laatiminen ja käytönopastus sekä olemassa olevien rakennusten LVI-tekniinen analysointi.

Yrityksessä työskentelee tällä hetkellä n. 50 henkilöä, joukossa on myös opiskelijoita harjoittelutehtävissä. Joukossa on myös vanhempaa, paljon kokemusta omaavaa henkilökuntaa. Kehitys yrityksen henkilöstön määrässä sekä liikevaihdon kasvussa on ollut sen perustamisesta lähtien nousujohteista.

Kontermo Oy:n asiakaskunta koostuu niin yksityisistä kuin julkisistakin tilaajista. Yrityksen suunnittelu- ja projektikohteina on mm. asuinkerrostaloja (saneerauskohteet sekä uudet rakennukset), kouluja, sairaaloita sekä muita erikoiskohteita.

2 Jäteveden lämmöntalteenoton tausta

Ensimmäisen kerran lämmöntalteenotto jätevedestä on ollut esillä paljon 1970- ja 1980-luvuilla öljykriisin jälkeen. Tuolloin öljyn hinta nousi rajusti, minkä vuoksi alettiin pohtia keinoja hyödyntää rakennuksesta hukkaan menevää lämpöä. 1980-luvulla kehitettiin mm. jäteveden lämmöntalteenottoratkaisuja, joita on käytössä esimerkiksi uimahalleissa Suomessakin. [4]

Suomessa, mm. uimahalleissa, käytössä olleet pienimuotoiset jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmät toimivat yleensä niin, että suihkuvesistä otetaan lämpöä talteen lattiakaivon jälkeen esimerkiksi kuparikierukan avulla, jotta suihkuvettä voidaan esilämmittää. Esimerkin kaltaisten järjestelmien soveltuvuus Suomen rakentamismääräyksiin kuitenkin mietityttää. Toisaalta kyseiset järjestelmät ovat peräisin n. 30–40 vuoden takaa, jolloin määräyksetkin ovat olleet erilaisia kuin nykyään. Suomessa jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä on käytetty mm. Tapiolan ja Leppävaaran uimahalleissa sekä Porin uimahallissa. [4; 5.]

Pienen kiinteistökokoluokan jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä ei Suomessa ole ollut tarjolla kovin monia. Suomesta löytyy tällä hetkellä ainoastaan sellaisia tässä insinööriydessä tarkasteltavien kiinteistökokoluokkien jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä, jotka valmistajan mukaan ovat jo vanhentuneita ja kehitteillä olisi jo uudempia järjestelmiä. Jo vanhentuneissa järjestelmissä päästiin valmistajan mukaan jopa 1,5 vuoden takaisinmaksuaikoihin. Tulevaisuudessa kehitettävissäkin järjestelmissä intressinä olisi päästä myös mahdollisimman pieniin takaisinmaksuaikoihin. Tavoite voisi olla esimerkiksi alle 10 vuoden takaisinmaksuaika, mielellään jopa alle 5 vuoden. [4]

Nykyään Suomessa on jo joitain suurempia jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä, joita on käytössä mm. Kakolanmäen jätevedenpuhdistuslaitoksessa sekä Snellmannin tehtaalla Pietarsaaressa. [4] Etenkin tehtaissa, joissa lämmintä vettä kulutetaan paljon ja suuri kulutus jatkuu kauan, jäteveden lämmöntalteenotto on kannattavaa, koska saatavat säästöt ovat suuria. Snellmannin tehtaalla Pietarsaaressa on käytössä lämpöpumppujärjestelmä, jolla otetaan lämpöä talteen viemäriin menevästä, yleensä n. 30-

asteisesta vedestä, jolloin tehtaassa säästetään vuositasolla jopa 800 tonnia öljyä, mistä seuraa vuosittain myös suuret taloudelliset säästöt. [6]

Ulkomailla jäteveden lämmöntalteenottoratkaisuja on kehitetty pidemmälle kuin kotimaassa. Keski-Euroopassa on käytössä kaupunkien viemäriverkostoissa lämmöntalteenottojärjestelmiä mm. Saksassa ja Itävallassa. Ruotsissa sen sijaan on kehitetty järjestelmiä, jotka soveltuvat kerrostaloihin, uimahalleihin, julkisiin tiloihin ja suuriin sairaaloihin. Ulkomailla kehitetyistä järjestelmistä suurin osa toimii ilman lämpöpumpua.

Lämmöntalteenotto jätevedestä olisi hyödyllistä, sillä jätevedestä otettu lämpö on ilmaista eikä sen kuljettamisesta aiheudu kustannuksia. Jäteveden lämpöä ei myöskään varsinaisesti tarvitse tuottaa, sillä se tulee oheistuotteena käytettäessä lämmitettyä vettä. Lämmitetyn käyttöveden mukana viemäriin menevä hukkalämpö on jo kertaalleen tuotettu lämmitettäessä käyttövettä. Lämmityksen se osa, joka otetaan jäteveden hukkalämmöstä talteen, ei myöskään kuluta ympäristöä. [4]

Yhteiskunnan jätevedeen varastoitunut lämpö, pois lukien teollisuus- ja vedenpuhdistamojen jätevesijärjestelmiä, sijoittuu asuntoihin, suurkeittiöihin, sairaaloihin, julkisiin rakennuksiin sekä uima- ja urheiluhalleihin. Tällaisissa kohteissa juuri lämpimän veden kulutus on suurta, minkä vuoksi olisi kannattavaa pohtia myös jäteveden lämmöntalteenoton käyttöä, mikäli se on kannattavaa. Rakennusten energiankulutuksesta n. 22 % (taulukko 1) menee hukkaan viemäreiden kautta, mikä on ilmanvaihdon ja lämmityksen kautta rakennuksista pois kulkeutuvan energian jälkeen rakennusten toiseksi suurin energiahäviön lähde [7].

Taulukko 1. 1960-1970-lukujen talojen lämmitysenergian häviöt [7].

Ilmanvaihto	38 %
Viemäri	22 %
Ulkoseinät	17 %
Ikkunat	15 %
Yläpohja	6 %
Alapohja	4 %

Jäteveden lämmöntalteenotto on kiinnostava aihe, sillä siinä otettaisiin käyttöön uusiutuvaa energiaa ja järjestelmien hiilijalanjälki on oletettavasti melko pieni. Suomessa rakentamismääräykset kiristyvät jatkuvasti ja energiatehokkaampia ratkaisuja tulisi kehittää jatkuvasti. Seuraavan kerran rakentamismääräykset kiristyvät taas vuonna 2012. Myös kuntien pitäisi jatkuvasti saada vähennettyä rakennustensa energiankulutusta ja rakentaa sellaisia uudiskohteita, joissa energiankulutus olisi mahdollisimman pientä. Kunnille on myös asetettu tietyt prosenttimäärät mm. sille, kuinka paljon uudiskohteissa tulee hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä. Tämä arvo tulee olemaan lähivuosina 9 %. Myös jätevedestä talteenotettu lämpö voidaan laskea mukaan uusiutuviin energianlähteisiin, jolloin myös tästä muodostuu kunnille uusi intressi taloudellisten säästöjen rinnalle. [8]

3 Lämpöpumput

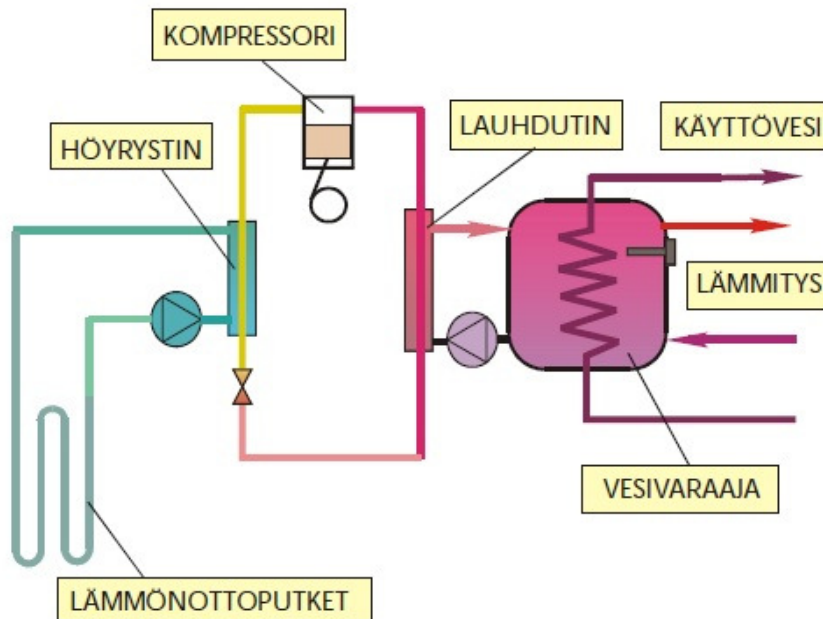
Osa jo kehitetyistä järjestelmistä toimii lämpöpumpulla ja osa ilman lämpöpumppua. Tässä luvussa on kerrottu lämpöpumppujen toimintaa ja toiminnan periaatteita sekä lämmöntalteenoton teoriaa yleisesti.

3.1 Lämpöpumpun toiminta

Lämpöpumppu on laite, jolla voidaan mekaanisen työn avulla siirtää lämpöä alemmasta potentiaalista korkeampaan. Lämpöpumppulämmitys on yksi lämpöpumpun sovelluksista ja se on eräänlainen keskuslämmitys. Lämpöpumppu toimii sähköllä, ja sen avulla lämpö siirretään veden tai ilman välityksellä lämmitettäviin tiloihin. Lämpöpumpun sähkönkulutus on kuitenkin vain pieni osa esimerkiksi suoran sähkölämmityksen vaatimasta määrästä. Lämpöpumpun koneisto on toiminnaltaan melko samanlainen kuin jääkaapin jäähdytyskoneisto, mutta teholtaan suurempi. Lämpöpumpun teho on yleensä yli 4 kW:sta ylöspäin, kun taas jääkaapin jäähdytyskoneiston teho voi olla esimerkiksi 0,3 kW. Lämpöpumppu ottaa lämmön virtaavasta aineesta, kuten esimerkiksi jätevedestä, ja pumppaa sen ulkopuolelle, esimerkiksi lämmittääkseen käyttövetä. [1]

Kuvassa 1 on esitetty lämpöpumppukoneiston toimintakaavio. Lämpöpumppukoneiston toiminta perustuu koneistossa kiertävän kylmäaineen höyrystymiseen ja lauhtumiseen.

Kylmäaineen höyrystyminen vaatii lämpöä, joka otetaan höyrystimessä matalassa lämpötilassa esimerkiksi maahan sijoitetussa putkistossa kiertävästä liuksesta. Syntyvä höyry puristetaan kompressorilla korkeampaan paineeseen, jolloin höyry lämpiää. Lämmin, korkeapaineinen höyry jäähdytetään lauhduttimessa ja se nesteytyy. Vapautuva lämpö lämmittää lauhduttimen läpi virtaavan veden tai ilman. Tämän jälkeen neste palautetaan höyrystimeen laskemalla sen paine paisuntaventtiilissä. [1]



Kuva 1. Lämpöpumpukoneiston toimintaperiaate [1].

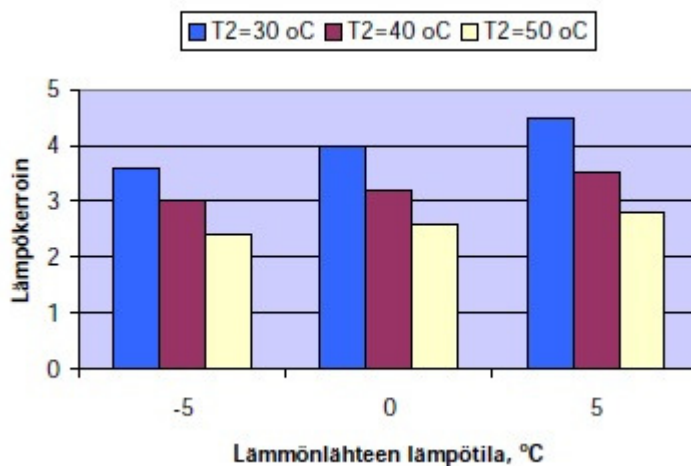
Lämpöpumpun ominaisuudet ja rakenne riippuvat lämmönlähteestä ja lämmönjakotavasta. Tavallisimpia lämmönjakotapoja ovat vesikeskuslämmitys ja ilmalämmitys, mutta lämpöpumpun avulla on mahdollista myös lämmittää käyttövettä. Tavallisimpia lämmönlähteitä ovat vesistö, maaperä, ulkoilma sekä poistoilma. Lämmönsiirto myös jätevedestä voi olla mahdollista, rakentamismääräysten puitteissa. [1]

3.2 Lämpökerroin

Lämpökertoimella mitataan lämpöpumpun tehokkuutta. Lämpökerroin on saadun lämmitystehon suhde tarvittavaan sähkötehoon. Esimerkiksi lämpökertoimella 2 saadaan jokaista 1 kW:n sähkötehoa kohden 2 kW lämpötehoa. Energiamäärinä mitattuna jokaista kulutettua sähköenergian 1 kWh:a kohden saadaan 2 kWh lämpötehoa. Näiden

välinen erotus otetaan esimerkiksi vedestä tai maasta. Tässä työssä tarkastellaan mahdollisuutta saada kyseinen erotus jätevedestä. [1; 2.]

Lämpöpumpun ominaisuuksien vuoksi lämpökerroin riippuu voimakkaasti lämpötiloista lämmönlähteen, eli lämmönoton ja lämmitysjärjestelmän, eli lämmön käytön puolella. Edullisinta siis on, jos lämpötila lämmönoton lämpötila on mahdollisimman korkea ja lämmönkäytön lämpötila mahdollisimman alhainen. Lämpöpumpun kannalta parhaat lämmönjakotavat ovat lattialämmitys ja ilmalämmitys, mutta hyödyksi saatavalla lämmöllä voidaan myös lämmittää käyttövetä. Kuvassa 2 on esitetty esimerkkejä lämpökertoimen arvoja muutamilla lämpötiloilla. [1; 2.]



Kuva 2. Esimerkkejä lämpökertoimen arvoista muutamilla lämpötiloilla. T2 on lämmönkäytön lämpötila, esimerkiksi lämmitysverkoston vesi. [1]

Koska olosuhteet vaihtelevat vuoden eri aikoina paljon, lämpöpumpun toiminta-arvot vaihtelevat paljon, ja tämän vuoksi lämpökertoimen toiminta-arvot tulisi ilmoittaa keskimääräisissä olosuhteissa. Suurimman lämmöntarpeen aika on talvikausi. Tarkasti vertailukelpoisia arvoja saadaan vain normien mukaan tehdyillä laboratoriomittauksilla, ja tämän vuoksi tarkoitukseen on laadittu eurooppalainen normi EN 255. Vuotuisen keskimääräisen lämpökertoimen eli vuosilämpökertoimen arvo vaihtelee normaaleissa käyttöolosuhteissa arvon 3 molemmin puolin. [1; 2.]

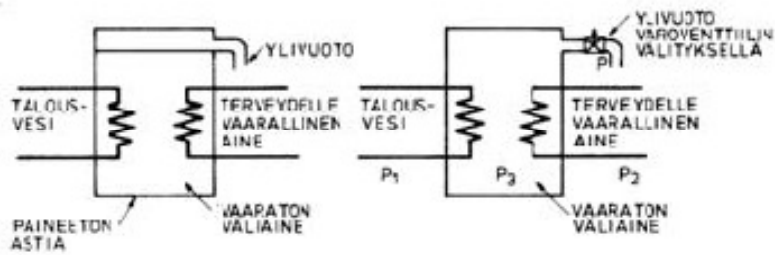
4 Rakentamismääräykset ja niiden huomioiminen

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D1 – Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot esitetään määräyksiä ja ohjeita vesi- ja viemärlaitteistojen suunnittelusta ja sijoittamisesta sekä veden laadusta. Jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä on peilattava rakentamismääräyksiin, jotta saadaan selville, kuinka hyvin etenkin ulkomaiset järjestelmät soveltuvat käytettäväksi Suomessa.

Rakentamismääräysten mukaan kiinteistön vesilaitteistosta otettavan veden on oltava laadultaan sellaista, ettei sen käytöstä aiheudu terveydellistä haittaa tai muuta vaaraa. Vesilaitteistoon johdettavan veden laadun on täytettävä talousvedelle asetetut laatuvaatimukset. Määräyksiä mukaan vesilaitteiston on oltava ominaisuuksiltaan sellainen, että sitä voidaan käyttää ilman hygieenisten haittojen vaaraa.

Rakentamismääräysten mukaan vesilaitteistoon ei myöskään saa kytkeä laitteita, jotka mahdollisesti muuttavat veden kemiallista tai mikrobiologista laatua. Vesilaitteistossa käytettävien materiaalien on lisäksi oltava sellaisia, ettei veden kanssa kosketuksiin joutuvista materiaaleista irtoa tai liukene veteen haitallisissa määrin terveydelle haitallisia tai vaarallisia aineita.

Vesijohdot on asennettava myös siten, etteivät ne joudu suoraan kosketukseen mm. jäteveden kanssa, sillä jätevesi voi vuotamalla tai diffundoitumalla putken seinämän läpi saastuttaa veden. Lämmöntalteenottolaitteet voidaan toteuttaa noudattaen esimerkiksi kuvan 3 periaatetta. Myös jätevesilaitteisto on suunniteltava ja asennettava siten, ettei siitä aiheudu terveydellistä vaaraa. [3]



Varoventtiilin avautumispaine p valitaan siten, että vuoto kierukassa huomataan ($p_3 < p < p_1$ tai p_2).

Vuoto kierukassa huomataan ylivuodosta. Ylivuoto varustetaan hälytyksellä.

Kuva 3. Esimerkkejä järjestelyistä, joilla voidaan varmistaa, ettei terveydelle vaarallisia aineita pääse vesilaitteistoon [3].

5 Järjestelmät Suomessa

Pienen kiinteistökokoluokan jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä ei Suomessa ole ollut tarjolla kovin monia. Suomessa on tällä hetkellä ainoastaan sellaisia tässä insinööriydessä tarkasteltavien kiinteistökokoluokkien jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä, jotka valmistajan mukaan ovat jo vanhentuneita, ja kehitteillä olisi jo uudempia järjestelmiä. [4]

Suomessa on ollut käytössä mm. uimahalleissa pienimuotoisia jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä. Nämä järjestelmät toimivat yleensä niin, että suihkuvesistä otetaan lämpöä talteen lattiakaivon jälkeen esimerkiksi kuparikierukan avulla, jotta suihkuvettä voidaan esilämmittää. Esimerkin kaltaisten järjestelmien soveltuvuus Suomen rakentamismääräyksiin kuitenkin mietittävää. Toisaalta kyseiset järjestelmät ovat peräisin n. 30–40 vuoden takaa, jolloin määräyksetkin ovat olleet erilaisia kuin nykyään.

6 Järjestelmät ulkomailla

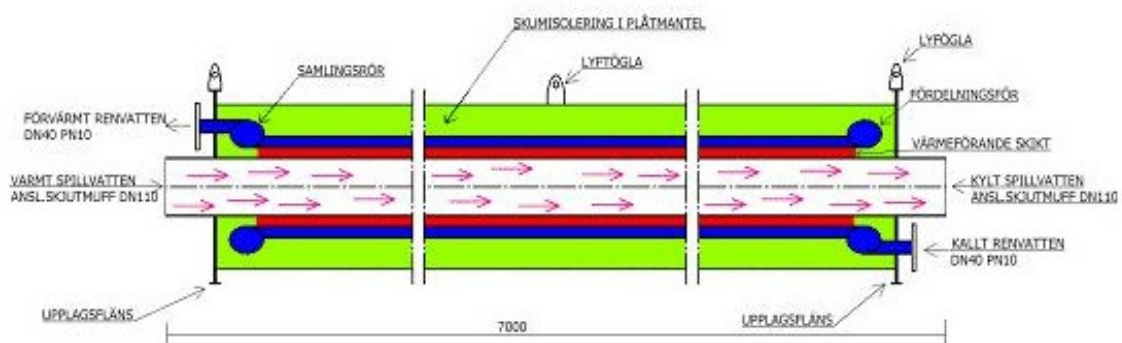
6.1 Super Singlex

Ruotsalainen yritys Power Products Europe Ab myy jäteveden lämmöntalteenottoon kahdentyyppisiä järjestelmiä. Yksi yrityksen tuotteista on Super Singlex -lämmönvaihdinjärjestelmä, joka viilentää jätevettä ja esilämmittää käyttövettä. Järjestelmässä lämpö palautuu lämpimästä jätevedestä rakennukseen tulevaan kylmään käyttöveteen. Järjestelmää voidaan käyttää mm. kerrostaloissa, sairaaloissa ja hotelleissa.

Järjestelmässä lämmönsiirto voidaan suorittaa ilman energiankulutusta, sillä lämpö siirtyy lämmönsiirtopinta-alalla siirtoaineen välityksellä. Jäteveden lämpöä voidaan järjestelmässä hyödyntää ympäri vuoden.

Super Singlex -järjestelmä on valmistettu ruostumattomasta teräksestä. Valmistajan mukaan järjestelmä on huoltovapaa ja hygieeninen. Järjestelmä on kokonaan suljettu systeemi, josta ei muodostu hajuja tai tartuntavaaraa.

Kuvassa 4 on esitetty Super Singlex -järjestelmän lämmöntalteenottoyksikkö. Kuvan mukaisesti jätevesi kulkee viemäriputkessa järjestelmän keskellä. Viemäriputken ympärillä kulkee kylmävesijohto, johon lämpö viemäristä johtuu välipintojen läpi. Yhden lämmöntalteenottoyksikön pituus on 7 metriä. Yksikön halkaisija riippuu viemäri- ja kylmävesiputken koosta. Super Singlex -lämmöntalteenottoyksiköitä voidaan asentaa yksi tai useampia sarjaan sekä maahan että esimerkiksi kellarikerroksen kattoon. [9]



Kuva 4. Super Singlex -järjestelmän toiminta [9].

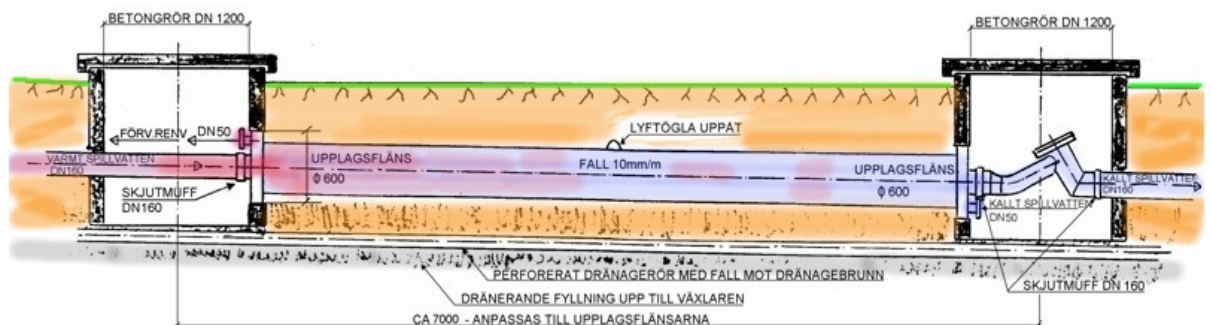
Taulukossa 2 on esitetty Super Singlex -järjestelmän putkikokoja ja laitteiston painoja sen ollessa tyhjä tai täynnä vettä. Järjestelmää on mahdollista saada neljässä eri koossa riippuen siitä, kuinka suuria virtaamia putkistoissa on.

Taulukko 2. Saatavilla olevien Super Singlex -järjestelmien viemäri- ja vesiputkien putkikoot sekä yksiköiden painot tyhjänä ja täynnä [9].

Kylmävesijohto DN40 PN10 Jätevesi, liitos DN110 Paino tyhjänä 180 kg Paino täynnä 250 kg	Kylmävesijohto DN50 PN10 Jätevesi, liitos DN160 Paino tyhjänä 230 kg Paino täynnä 350 kg
Kylmävesijohto DN65 PN10 Jätevesi, liitos DN200 Paino tyhjänä 210 kg Paino täynnä 450 kg	Kylmävesijohto DN80 PN10 Jätevesi, liitos DN250 Paino tyhjänä 310 kg Paino täynnä 600 kg

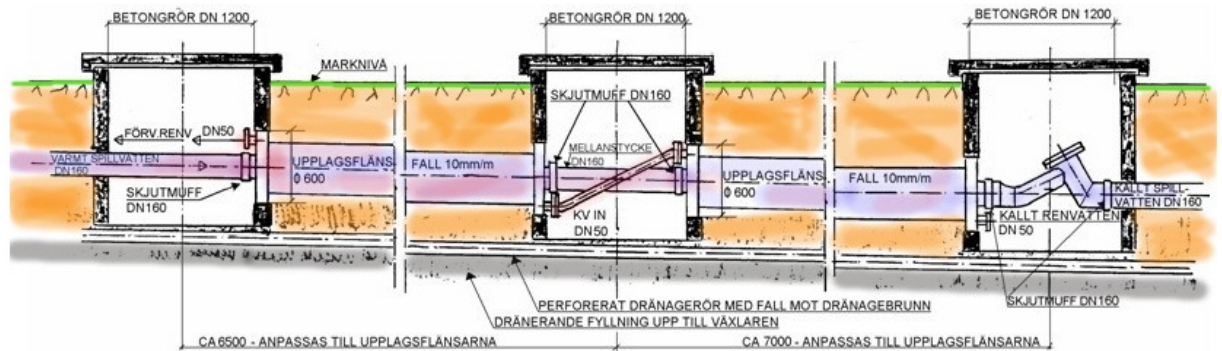
6.1.1 Asennus maahan

Maahan asennettuna järjestelmä asennetaan tukilairoilla molemmista päistä pystybetonikaivoihin kaivojen läpivientien kohdalta. Betonikaivon pohjalla ja lämmönvaihtimen alla antamassa tukea ja veden poisjohtamiseksi on rei'itetty kuivatusputki, joka johtaa vedet kuivatuspisteelle. Järjestelmän asennus maahan on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Super Singlex- järjestelmä maahan sijoitettuna [9].

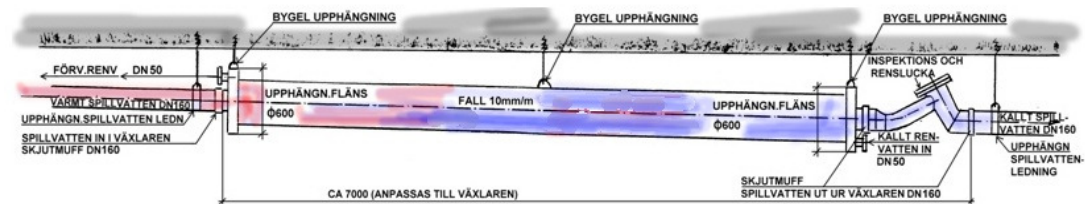
Super Singlex -järjestelmiä voidaan myös asentaa useita sarjaan, jolloin lämmönsiirtopinta-alaa on enemmän ja sitä kautta myös enemmän lämpöä saadaan talteen. Usean järjestelmän asennus sarjaan maahan sijoitettuna on esitetty kuvassa 6. [9]



Kuva 6. Super Singlex -järjestelmä maahan sijoitettuna, usea Super Singlex sarja-asennuksena [9].

6.1.2 Asennus kattoon

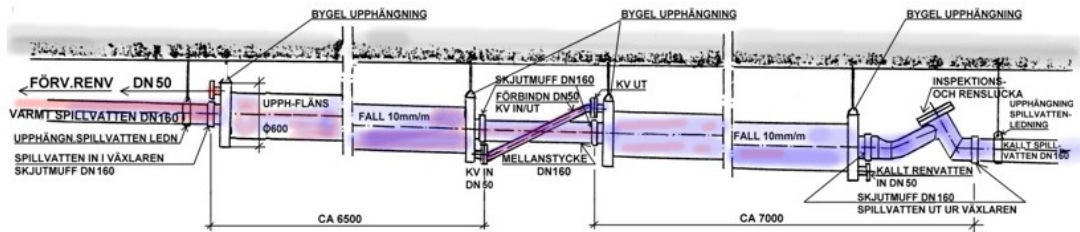
Super Singlex -järjestelmä voidaan sijoittaa myös kattoon ripustamalla lämmönvaihdin kiinni kattoon sen päissä tai keskellä sijaitsevilla ripustuselementeillä. Järjestelmän kattoasennus on esitetty kuvassa 7.



SUPER SINGLEX – PENDELUPPHÄNGT ENKELMONTAGE, DN 160/DN 50

Kuva 7. Super Singlex -järjestelmä kattoon sijoitettuna [9].

Super Singlex -lämmönvaihtimia voidaan myös sijoittaa useampi roikkumaan katosta sarjaan kytkettynä. Usean järjestelmän asennus sarjaan, kattoon sijoitettuna on esitetty kuvassa 8. [9]



SUPER SINGLEX – PENDELHÄNGT SERIEMONTAGE, 2x DN 160/DN 50

Kuva 8. Super Singlex -järjestelmä kattoon sijoitettuna, usea sarjaan kytkettynä [9].

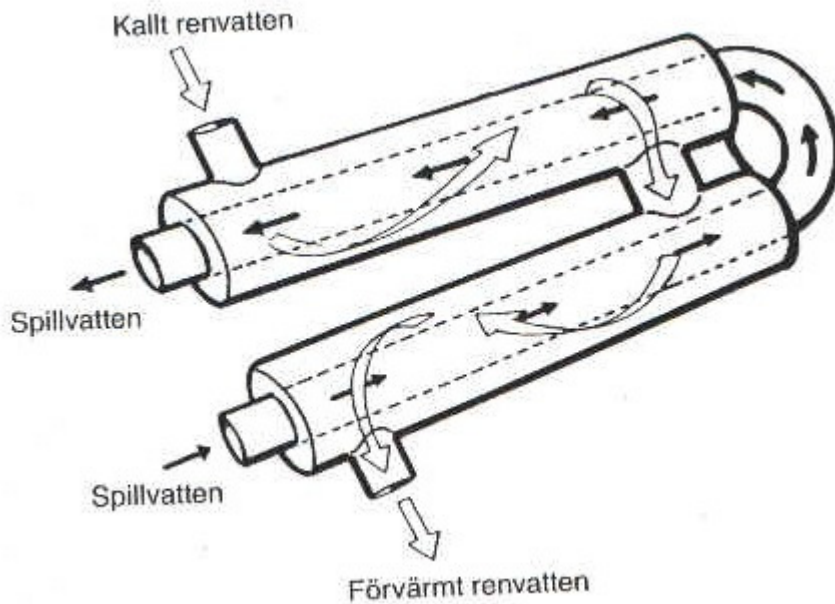
6.2 TwinTube-tuplaputkijärjestelmä

Toinen ruotsalaisen Power Products Europe Ab:n jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä on tuplaputkijärjestelmä TwinTube. TwinTube-järjestelmä soveltuu käytettäväksi esimerkiksi uimahalleissa ja urheilutaloissa.

TwinTube-järjestelmän lämmönvaihdin on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, minkä vuoksi se on tehokas lämmönvaihdin, joka vaatii vain vähän puhdistusta. Koska lämmönvaihdin on valmistettu ruostumattomasta teräksestä, se on pitkäikäinen ja sen lämmönsiirtopinnat pysyvät hyvin puhtaina eikä lika tartu pinnoille ja näin heikennä materiaalin lämmönsiirtokykyä.

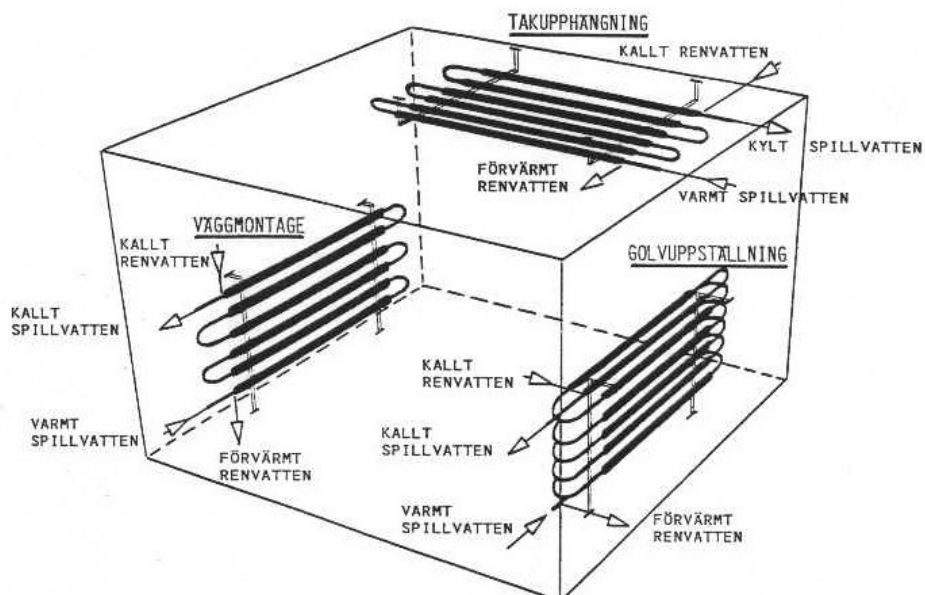
Valmistajan mukaan järjestelmä vaatii yleensä puhdistuksen vain kerran vuodessa. Lämmönvaihtimen puhdistus voidaan suorittaa yksinkertaisella tavalla, nopeasti ja hygieenisesti puhdistustulpan ja paineen avulla.

TwinTube-tuplaputkijärjestelmässä jätevesi luovuttaa lämpöä kylmään veteen. Jätevesi kulkee järjestelmän läpi sen keskellä viemäriputkessa ja kylmä vesi vastavirtaan kahden putken väliin jäävässä tilassa. Kuvassa 9 on esitetty TwinTube-tuplaputkijärjestelmä.



Kuva 9. TwinTube-järjestelmä. Kylmävesi kiertää kahden putken välitilassa viemäriputkea, jossa kulkee jätevesi. [9]

TwinTube-järjestelmä ei vaadi paljon tilaa tai pitkiä viemäriinjoja. Järjestelmän lämmöntalteenottoyksikkö voidaan sijoittaa monella tavalla. Kuvassa 10 on esitetty muutamia järjestelmän sijoitustapoja. Järjestelmän lämmöntalteenottoyksikkö voidaan sijoittaa seinälle, lattialle tai kattoon. [9]



Kuva 10. Twin Tube -lämmöntalteenotto järjestelmä voidaan sijoittaa tilaan monella eri tavalla [9].

6.3 Recoh-multivert

Recoh Multivert- jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmä on hollantilaisen Hei-Tech-yrityksen tuote. Järjestelmä soveltuu käytettäväksi esimerkiksi uimahalleissa, hotelleissa ja liikuntahalleissa.

6.3.1 Laitteisto ja sen toiminta

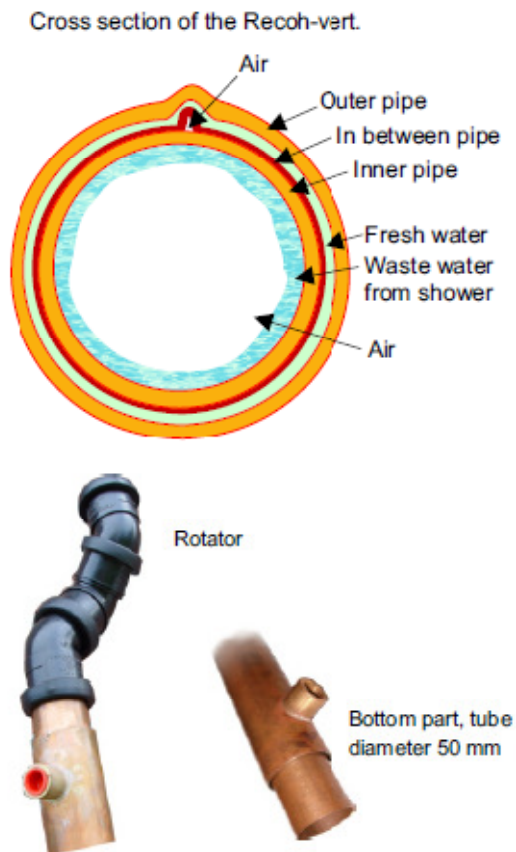
Recoh Multivert -järjestelmä on järjestelmä, joka ottaa jäteveden lämpöä talteen harmaista vesistä. Järjestelmä on käytössä esimerkiksi joissain uimahalleissa Hollannissa. Recoh Multivert on myyjän mukaan yksinkertainen ja tehokas järjestelmä, joka kierrättää lämpöenergiaa, joka suihkuvesien mukana menisi muuten hukkaan.

Recoh Multivert -järjestelmä voidaan sijoittaa esimerkiksi kellaritiloihin, jolloin suihkuvedet voidaan ohjata suoraan lämmönsiirtimille. Mikäli rakennuksessa ei kellaritilaa ole tai sitä ei ole mahdollista hyödyntää, järjestelmä voidaan varustaa viemärisäiliöllä, johon suihkuilta tulevat jätevedet ensin johdetaan. Järjestelmän toiminta perustuu siihen, että suihkuvedet joko johdetaan suoraan lämmönsiirtimille tai toisessa tapauksessa kerätään viemärisäiliöön, jossa on lämmönsiirtimille pumpattavan jäteveden määrää säätelevä läppä. Läppä säätelee pumpattavan jäteveden määrää sen mukaan, kuinka paljon säiliöön jätevettä tulee.

Jotta järjestelmällä saavutettaisiin haluttu tehokkuus, pumpattavan jäteveden virtaaman on jatkuvasti oltava sovitettu rakennuksesta tulevan jäteveden virtaamaan. Tämän vuoksi läppä päästää jätevettä pumpulle enemmän, jos säiliön vedenpinta nousee, ja vähemmän, jos vedenpinta laskee. Säiliö on varustettu toimintahäiriöiden varalta ylivuotosuojalla, jotta jätevedet voidaan johtaa järjestelmän ohi.

Säiliöstä, tai suoraan suihkuilta, jätevedet pumpataan tai siirretään lämmönsiirtimille, joilla lämpö otetaan suihkun viemäri-vesistä talteen. Järjestelmän lämmönsiirryksikkö käsittää 6, 8 tai 10 putkilämmönsiirrintä, joihin jätevedet jakautuvat tasaisesti jakajan avulla. Lämmönsiirtimien kautta kulkee kylmän käyttöveden putki kuumavesisäiliölle ja lämmönsiirrin siirtää jätevesistä lämmön kylmään käyttöveteen esilämmittäen sitä. Lämmönsiirtimiltä jätevedet johdetaan rakennuksen normaaliin viemäriverkostoon.

Recoh Multivert -järjestelmän lämmönsiirtimissä on kaksoiseinämät jäteveden ja puhtaan käyttöveden välillä. Valmistajan mukaan järjestelmä on tämän vuoksi mm. hollantilaisen Vewin-yhdistyksen vaatimusten mukainen. Kuvassa 11 on esitetty Recoh Multivert -putkilämmönsiirtimen poikkileikkaus. Kuvasta näkyy, että järjestelmän toiminnan ideana on jäteveden kulkeminen sisemmän putken ulkoseinämällä. Jäteveden ja käyttöveden välissä on kaksi putkiseinämää eli viemäriputken seinämä sekä välissä vielä toinen seinämä. [10; 11.]



Kuva 11. Recoh Multivert -järjestelmän putkilämmönsiirtimen poikkileikkaus [10].

Vewin on yhdistys, jonka ovat perustaneet hollantilaiset juomavettä tuottavat yritykset. Sen tärkein tehtävä on edustaa jäseniään Haagissa ja Brysselissä, kun asioista päätetään. Vewin huolehtii, että kehitetyt järjestelmät takaavat käyttövesien puhtauden.

6.3.2 Esimerkkisäästöt laitetoimittajalta

Recoh Multivert -järjestelmästä pyydettiin laitetoimittajalta säästölaskelma ja laitteiston hinta. Rakennuskohteena ajateltiin olevan uimahalli. Taulukossa 3 on esitetty valmistajalle lähetetyt lähtötiedot, joiden perusteella laskelma tehtiin.

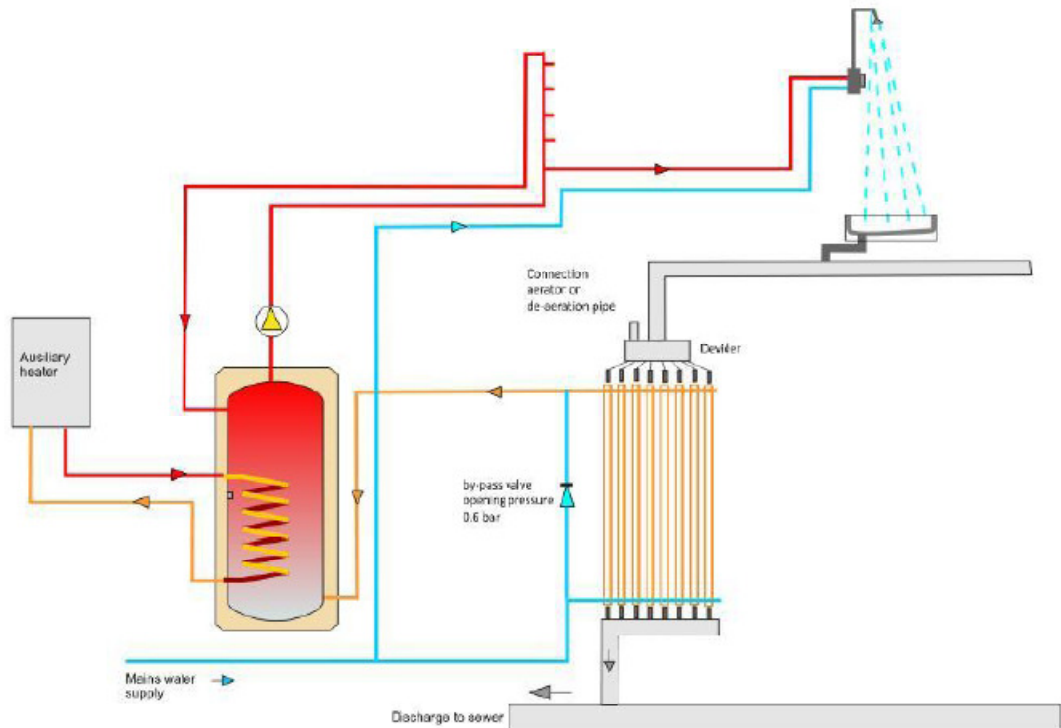
Taulukko 3. Laitetoimittajalle lähetetyt lähtötiedot

Kylmän käyttöveden lämpötila	10 °C
Suihkuveden lämpötila	40 °C
Lämpimän käyttöveden lämpötila	58 °C
Suihkuja rakennuksessa	30 kpl
Suihkuja yhtä aikaa käytössä, maksimi	20 kpl
Energian hinta, kaukolämpö	50 €/MWh

Vaihtoehtoina jätevedestä talteen otetun lämpöenergian käytölle oli, että sillä esilämmitetään joko sekä kylmää käyttövettä että varaajalle menevää vettä tai ainoastaan varaajalle menevää vettä. Laitetoimittajalta saatiin laskelmat, joiden mukaan kohteeseen olisi sopiva asentaa Recoh Multivert MV4-20 –lämmöntalteenottolaitteisto, joka koostuu 4 Recoh Vert –putkilämmönsiirtimestä. Laitteistolla saataisiin laitetoimittajan mukaan vuosittain n. 1 200 € säästöjä. Laitteiston hinta toimituksineen tulisi olemaan n. 4 350 €. Korottomaksi takaisinmaksuajaksi kyseiselle laitteistolle saataisiin n. 4 vuotta.

6.3.3 Käyttökohteita

Hollannissa on useammassa kohteessa käytössä erikokoisia ja toiminnaltaan hieman erilaisia Hei-Techin Recoh-Multivert -järjestelmiä. Kuvassa 12 on esitetty Hardenbergissä, Hollannissa, urheilutalon tiloihin asennetun Recoh Multivert MV4 -järjestelmän kytkentä ja toiminta. Kyseisessä urheilutalokohteessa suihkujen jätevedet johdetaan suoraan alemmassa kerroksessa sijaitseville putkilämmönsiirtimille. Putkilämmönsiirtimiä on kyseisessä kohteessa käytössä neljä. Koska järjestelmä on asennettu suihkujen alapuolelle, ei pumppua jätevesien pumppaamiseksi lämmönsiirtimille ole tarvittu. Järjestelmän kapasiteetti kyseisessä kohteessa on 48 l/min eli 0,8 l/s ja riippuen kytkentävasta sen tehokkuus on laitetoimittajan mukaan 35–50 %. [12]

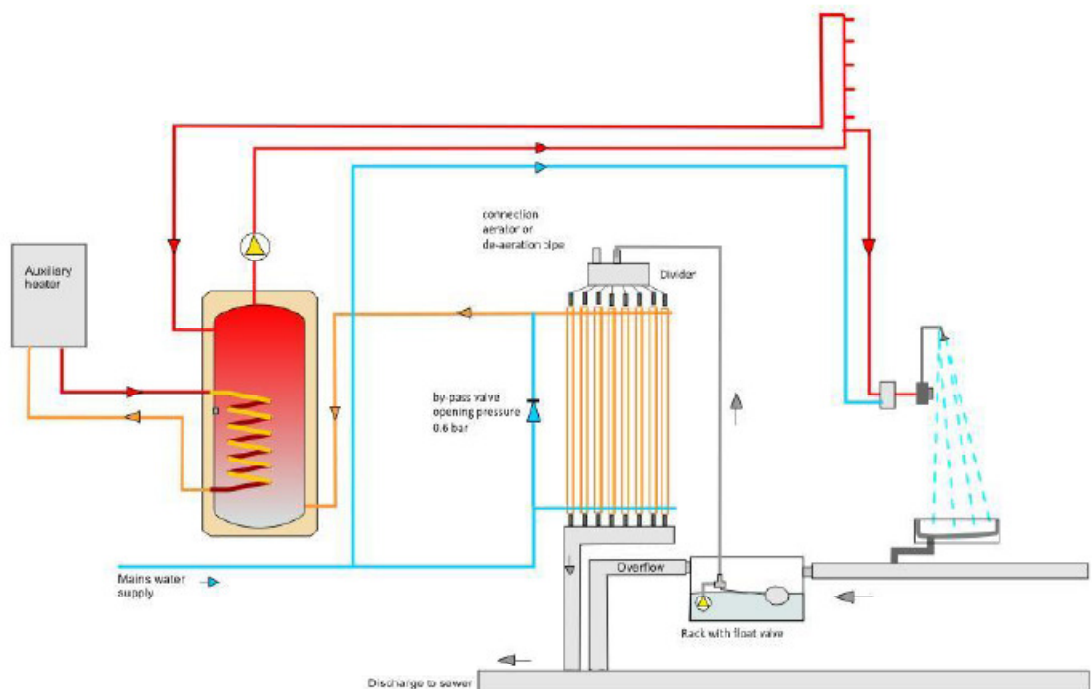


Kuva 12. Recoh Multivert MV4 –järjestelmän toiminta [12].

Kuvassa 14 on esitetty Hollannin Beuningenissa sijaitsevan Soccer Club -jalkapallokerhon tiloihin asennetun Recoh Multivert MV8-G150 -järjestelmän toiminta. Putkilämmönsiirtimiä kyseisen kohteen järjestelmässä on 8 kpl. Koska järjestelmää ei ole ollut mahdollista asentaa suihkutiloja alempaan kerrokseen, on käytössä myös pumppuyksikkö jätevesien pumppaamiseksi lämmönsiirtimille. Järjestelmän kapasiteetti kyseisessä kohteessa on $96 \text{ dm}^3/\text{min}$ eli $1,6 \text{ dm}^3/\text{s}$. Järjestelmä on liitetty lisälämmittimeen, joka näkyy kuvassa 12. Kytentävasta riippuen järjestelmän tehokkuus on laitetoimittajan mukaan 35–50 %. Kuvassa 13 näkyy kuvassa 14 esitetty järjestelmä asennettuna jalkapallokerhon tiloihin. [12]



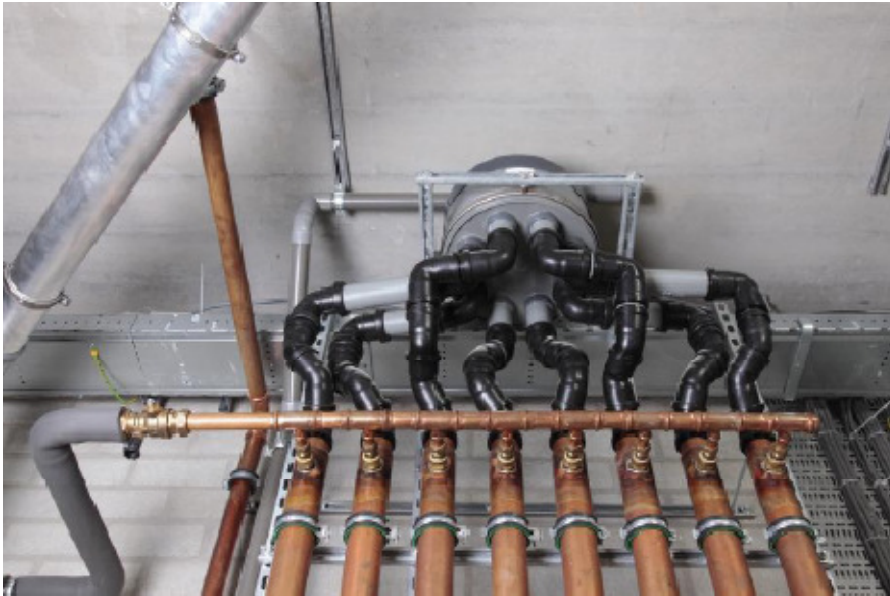
Kuva 13. Rehov Multivert MV8-G150 -järjestelmä jalkapallohallin tiloissa. Soccer Club "De Beuningse Boys", Beuningen, Hollanti. [12]



Kuva 14. Rehov Multivert MV8-G150 -järjestelmän toiminta [12].

Hollannin Bruinissessa sijaitsevan venesataman laajennuksen suihkutiloihin on asennettu samanlainen järjestelmä kuin Beuningenissa sijaitsevassa jalkapallohallissa. Järjestelmä vastaa toiminnaltaan ja kapasiteetiltaan täysin jalkapallohallin järjestelmää. Venesataman suihkutiloissa on käytössä 15 suihkua. Suihkutilojen käyttökustannukset

ovat laskeneet, koska järjestelmän käyttöönoton myötä energiakustannukset ovat pienentyneet merkittävästi. Venesataman laajennukseen asennetun järjestelmän toiminta on esitetty kuvassa 14. [12]



Kuva 15. Hollannissa Bruinissen venesataman laajennukseen asennetun Recoh Multivert MV8-G150 -järjestelmän lämmönsiirrinosa [12].

Kuvassa 15 on esitetty osa Bruinissen venesataman laajennuksen järjestelmää. Kuvassa näkyy osa putkilämmönsiirtimiä ja niiden kytkentä lämmönsiirtimille tulevaa jätevetä säätelevään jakajaan sekä lämminvesisäiliölle menevään putkeen. [12]

7 Esimerkkikohde Espoon sairaala- ja seniorikeskus

7.1 Yleistä

Espoon kaupungilla on seuraavan 8 vuoden aikana tavoitteena saada rakennettua kaikista uudisrakennuksista vähintäänkin passiivitaloja, jolloin tähtäimessä on, että energian säästämiseksi saataisiin hyödynnettyä uusissa kohteissa mahdollisesti myös jäteveden lämmöntalteenotto.

7.2 Kohteen tiedot

Tarkasteltava rakennuskohde on Espoon kaupungin omistuksessa oleva Puolarmetsän sairaala ja terveysasema. Vanha rakennus on valmistunut vuonna 1977, ja on toiminut viime aikoina päivystys- ja pitkäaikaissairaalana. Rakennus perusparannetaan ja laajennetaan Espoon sairaala- ja seniorikeskukseksi. Kiinteistön nykyinen bruttoala on 20 000 brm² ja tilavuus 70 000 m³. Hankkeen tuleva bruttoala autohalli mukaanlukien on 67 050 m² ja tilavuus 304 000 m³.

Kohteessa on hankesuunnitelman mukaan tarkoitus ottaa lämpöä talteen keittiön jätevesistä LTO-yksiköllä rasvanerotuksen yhteydessä käyttöveden esilämmitykseen. Esilämmityksen jälkeen muusta rakennuksen jätevedestä lämpöä talteen ottavan lämpöpumppujärjestelmän on tarkoitus lämmittää käyttövesi hyötysuhteensa kannalta mahdollisimman korkeaan lämpötilaan. Käyttöveden kaukolämpösiirrin lämmittää käyttöveden lopun tehontarpeen. [13]

8 Järjestelmien teknillistalouden vertailu

8.1 Laskennan tavoitteet

Järjestelmien elinkaarikustannusvertailua varten tehtiin elinkaarikustannuslaskelmat, joissa rakennuskohteena käytettiin Espooseen Puolarmetsän sairaalan tilalle rakennettavaa Espoon sairaala- ja seniorikeskusta. Elinkaarikustannuslaskelmien avulla voidaan tarkastella erilaisten laitteiden tai järjestelmien koko elinkaarta valmistuksesta käytöstä poistamiseen. [15] Insinööriyössä esitettävissä laskelmissa vertailtiin kolmea erilaista järjestelmää, jotka voisivat teoriassa sopia Espoon sairaala- ja seniorikeskukseen käytettäväksi käyttöveden lämmityksessä. Vertailussa mukana olevia käyttöveden lämmitystapoja ja järjestelmiä olivat seuraavat vaihtoehdot:

- 1) Käyttöveden lämmitys toteutetaan käyttämällä ainoastaan kaukolämpöä.
- 2) Käyttöveden lämmitys toteutetaan käyttämällä esilämmitykseen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää sekä lisälämmitykseen kaukolämpöä.
- 3) Käyttöveden lämmitys toteutetaan käyttämällä jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää, jossa on mukana myös lämpöpumppu sekä lisälämmitykseen kaukolämpöä.

Elinkaarikustannuslaskennalle ominaista on, että siinä otetaan ennalta huomioon tulevia kustannuksia, esimerkiksi huolto-, uusimis- ja käyttökustannuksia. Elinkaarikustannuslaskelmissa tulevaisuudessa syntyvien kustannusten arvo diskontataan nykyhetkeen, jolloin vertailtavien järjestelmien erisuuruiset käyttö- ja hankintakustannukset ovat keskenään vertailukelpoisia. Useissa tarkasteluissa on pystytty osoittamaan, että hankintahinnaltaan kalliimpi ratkaisu voi olla käyttäjälleen halvinta ratkaisua edullisempi, kun tarkastelun perusteena käytetään koko elinkaaren kustannuksia. [14] Espoon sairaala- ja seniorikeskusta varten tehdyissä elinkaarikustannuslaskelmissa on otettu huomioon vertailtavien vaihtoehtojen käyttö-, huolto- ja hankintakustannuksia.

8.2 Laskennassa käytetyt lähtötiedot ja tausta

Jotta erilaisten järjestelmien elinkaarikustannuslaskelmia voitiin suorittaa, oli arvioitava järjestelmien kokoa ja potentiaalia lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavan energian tuottamiseksi. Järjestelmää 1 varten arvioitiin lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavan lämmitysenergian määrää. Samaa energiamäärää käytettiin myös arvioitaessa, kuinka paljon viemäristä saadaan teoriassa lämpöä talteen ja kuinka paljon lämmöntalteenottojärjestelmän lisäksi jää lämmitettävää kaukolämmöllä.

Lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittavan energian arvioimiseksi tarkasteltiin Espoon sairaala ja seniorikeskus -rakennushankkeen hankesuunnitteluvaiheessa tehtyä Ida Ice-simulointia. Simuloinnin raportoinnista saatiin selville rakennuksen arvioitu lämpimän käyttöveden lämmityksen osuus koko rakennuksen lämmitysenergiankulutuksesta. Lähtöarvona lämpimän käyttöveden kulutuksessa oli simuloinnissa käytetty Espoon Puolarmetsän sairaalan pinta-alapohjaista toteutunutta kulutustietoa eli $350 \text{ dm}^3/\text{m}^2$, joka johtaisi kiertohäviöiden kanssa $35 \text{ kWh}/\text{m}^2$ energiatarpeeseen.

Espoon Puolarmetsän sairaalan toteutuneen lämpimän käyttöveden kulutuksen kautta voitiin arvioida rakennuksen kokonaiskäyttövedenkulutusta, kun oletettiin lämpimän käyttöveden kulutuksen olevan noin 30 % kokonaisvedenkulutuksesta. Lämpimän käyttöveden arvioitu kulutus Espoon sairaalassa voisi teoriassa olla rakennuksen bruttopinta-alan $57\,000 \text{ br-m}^2$ perusteella $19\,950 \text{ m}^3/\text{v}$, jolloin kokonaisvedenkulutukseksi vuositasolla saadaan $66\,500 \text{ m}^3/\text{v}$. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi tarvittavan läm-

mitysenergian määräksi saatiin bruttopinta-alan 57 000 br-m² perusteella 1 995 000 kWh/v eli 1 995 MWh/v.

Elinkaarikustannuslaskennassa käytetyistä lähtöarvoista sovittiin työn tilaajan kanssa siten, että sähkön hinnaksi sovittiin 80 €/MWh ja kaukolämmön hinnaksi 50 €/MWh. Laskentakoron oletettiin olevan 0 %. Lisäksi oletettiin energian hinnannousuksi kaukolämmölle ja sähkölle 2 % tai 4 % ja kaikista kolmesta järjestelmästä laskettiin tulokset kummallakin oletetulla hinnannousulla, jotta järjestelmiä voidaan tältäkin osin vertailla. Kaikkien laskennassa käytettyjen hintojen oletettiin olevan arvonlisäveroltaan 0 %. Laskennassa vertailtavien järjestelmien elinkaaren sovittiin olevan 50 vuotta.

Järjestelmien vaatiman automatiikan oletettiin olevan sama kaikissa kolmessa järjestelmävaihtoehdossa, joten automatiikan aiheuttamia investointi- tai huoltokustannuksia ei laskennassa huomioitu. Järjestelmien pesuun käytettävän veden määrän oletettiin olevan niin pieni, että sen vaikutus kustannuksiin ei olisi ollut merkittävä.

Laskennassa arvioitiin teoreettisesti, kuinka paljon viemärissä kulkevasta jätevedestä olisi mahdollista saada lämpöenergiaa talteen. Jäteveden lämpötilaksi arvioitiin 25 °C, kun laskennassa otettiin huomioon viemärissä kulkevat mustat sekä harmaat jätevedet. Jätevedestä arvioitiin saatavan lämpöenergiaa talteen siten, että jäteveden jäähtymä lämmöntalteenoton vuoksi olisi 15 °C. Viemäristä jäteveden lämmöntalteenotolla arvioitiin saatavan vuositasolla hyödyksi seuraavalla kaavalla laskettu lämpöenergia.

$$Q = \rho_v c_{pv} q_v \Delta T / 1000$$

Q	jäteveden lämmöntalteenotolla hyödynnettävä energia, MWh/v
ρ_v	veden tiheys, 1 000 kg/m ³
c_{pv}	ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kg°C
ΔT	jäteveden jäähtymä, °C
1 000	kerroin, jolla kWh muutetaan MWh
3600	kerroin, jolla sekunnit muutetaan tunneiksi

Viemäristä laskettiin saatavaksi lämpöenergiaa talteen

$$Q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 66500 \text{ m}^3 * 15^\circ\text{C} / 3600 / 1000 = 1\,164 \text{ MWh}$$

Edellisessä laskennassa on huomioitu kaikki viemäriin menevä jätevesi ja jäteveden keskimääräiseksi lämpötilaksi on arvioitu 25 °C olettaen, että suurin osa jätevedestä on kylmää tai huoneenlämpöistä, kuten WC-istuimen vesisäiliössä lämmennyt vesi, ja pienempi osa lämmintä vettä esimerkiksi suihkuilta. Edellä laskettu viemäristä saatavan lämpöenergian määrä on kuitenkin turhan optimistinen arvio, sillä todellisuudessa hyödyksi saatavan lämpöenergian määrään vaikuttaa moni seikka. Tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi se, että viemäriin kulkevan jäteveden virtaama vaihtelee vuorokauden aikana huomattavasti eikä se koskaan ole jatkuvaa. Viemäriin kulkeutuvan jäteveden lämpötila myös vaihtelee sen mukaan, käytetäänkö esimerkiksi vessanpönttöä vai suihkua. Laskennassa on pyritty huomioimaan näitä seikkoja mahdollisimman hyvin.

Kolmesta eri vaihtoehdosta tehdyissä elinkaarikustannuslaskelmissa on arvioitu kullekin järjestelmälle lähtötietojen mukaan hankintakustannukset. Hankintakustannukset muodostuivat eri vaihtoehdoille sen mukaan, millaisia laitteita niihin ajateltiin kuuluvan. Ensimmäisessä vaihtoehdossa, jossa käyttöveden lämmitys tapahtuu ainoastaan kaukolämmöllä, hankintahinta muodostui kaukolämpöpaketin hinnasta sekä kaukolämmön liittymismaksusta. Myös muissa järjestelmissä osana hankintakustannuksia oli kaukolämpöpaketin hinta ja kaukolämmön liittymismaksu. Koska kaukolämmön liittymismaksu vaihtelee kaukolämmön liittymistehon perusteella, on liittymismaksu kaikilla kolmella vaihtoehdolla keskenään erisuuruinen. Toisessa vaihtoehdossa hankintahintaan vaikutti myös jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston hankintahinta ja kolmannessa vaihtoehdossa hankintahintaan vaikutti jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston hankintahinnan lisäksi myös lämpöpumpun hankintahinta. Kaukolämpöpakettien hintoja kyseltiin laite-toimittajalta, mutta lämpöpumpun hinta arvioitiin lämpöpumpun tehon mukaan toisesta projektin lämpöpumpun hinnan mukaan.

Energia- ja käyttökustannuksia varten järjestelmien toimintaa ja potentiaalia arvioitiin ja laskettiin. Laskelmien perusteella voitiin laskea kaukolämpötoimittajan hintatietojen perusteella kaukolämmön ja sähkön perusmaksuja, jotka toistuvat kuukausittain.

8.3 Vertailtavat järjestelmät

8.3.1 Vaihtoehto 1

Ensimmäinen vertailtavista vaihtoehtoista on käyttöveden lämmitys käyttämällä ainoastaan kaukolämpöä. Kaikki lämpimän käyttöveden lämmitykseen tarvittava energia eli 1 995 MWh otettaisiin siis kaukolämmöstä. Laitteiston huoltokustannuksien on oletettu olevan niin pienet, ettei niiden oleteta vaikuttavan merkittävästi laskentaan. Taulukossa 4 on esitetty elinkaarikustannuslaskennassa käytettyjä laitteiston käyttö- ja hankintakustannuksia.

Taulukko 4. Kaukolämpölaitteiston käyttö- ja hankintakustannukset vaihtoehdossa 1

Kustannus	Hinta, €
Kaukolämmön perusmaksu / vuosi	6 950
Kaukolämpöpaketti	16 000
Kaukolämmön liittymismaksu	66 000

Kaukolämmön perusmaksu vaihtoehdolle 1 laskettiin kaavalla

$$\text{Perusmaksu} = 1\,444,17 \text{ €} + (Q * 23,87 \text{ €})$$

jossa

Q kaukolämmön sopimusteho, kW

[15]

Kaukolämmön sopimustehoksi vaihtoehdolle 1 laskettiin 230 kW, jolloin kaukolämmön perusmaksuksi saatiin n. 6 950 €/a. Kaukolämmön liittymismaksu on arvio. Vaihtoehdon 1 toimintaa ja kytkentää kuvataan liitteessä 1.

8.3.2 Vaihtoehto 2

Toinen vertailtavista vaihtoehtoista on käyttöveden esilämmitys käyttäen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää. Loput käyttöveden lämmityksestä katetaan kaukoläm-

möllä. Jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston on oletettu olevan säiliömallinen. Tällaisessa laitteistossa jätevesi viipyy hetken, jolloin siitä saadaan mahdollisimman paljon lämpöä talteen. Laitteiston puhdistaminen on huomioitu huoltokustannuksissa siten, että on ajateltu sen vaativan puhdistusta n. kerran kuukaudessa kahden tunnin ajan, jolloin huoltokustannukset ovat ajatellulla 50 €:n tuntihinnalla 1 200 €/vuosi.

Vaihtoehdon 2 järjestelmä on ajateltu kattamaan vain osan lämpimän käyttöveden lämmityksestä. On oletettu, ettei jäteveden lämmöntalteenotolla pystytä kattamaan rakennuksen yöaikaisia kiertohäviöitä eli 15 kWh/m² kahdeksan yötunnin aikana, jolloin vedenkulutus ja sitä kautta jäteveden virtaama ovat liian pieniä kattaakseen edes ainoastaan kiertohäviöitä. Jäteveden lämmöntalteenotolla on oletettu saatavan viemäristä hyödyksi 238 MWh lämpöenergiaa vuodessa, jolloin kaukolämmöllä lämmitettäväksi jää 1 757 MWh/vuosi. Taulukossa 5 on esitetty elinkaarikustannuslaskennassa käytettyjä vaihtoehdon 2 järjestelmän ja laitteiston käyttö- ja hankintakustannuksia.

Taulukko 5. Jäteveden lämmöntalteenotto- ja kaukolämpölaitteiston käyttö- ja hankintakustannukset vaihtoehdossa 2

Kustannus	Hinta, €
Kaukolämmön perusmaksu / vuosi	6 200
Kaukolämpöpaketti	15 000
Kaukolämmön liittymismaksu	45 000
Jäteveden LTO-laitteisto	80 000

Kaukolämmön perusmaksu vaihtoehdolle 2 laskettiin samalla kaavalla kuin vaihtoehdolle 1. Kaukolämmön sopimustehoksi vaihtoehdolle 2 saatiin laskennassa 200 kW, jonka perusteella kaukolämmön perusmaksuksi saatiin n. 6 200 €/a. Kaukolämmön liittymismaksu tässäkin vaihtoehdossa on arvio. Jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston hankintahinta arvioitiin suomalaisen Wavin Labkon vanhempien laitteistojen hinnan perusteella. Vaihtoehdon 2 toimintaa ja kytkentää kuvataan liitteessä 2.

8.3.3 Vaihtoehto 3

Kolmas vertailtavista vaihtoehtoista on käyttöveden lämmitys käyttäen jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmää ja lämpöpumppua. Loput käyttöveden lämmityksestä katetaan kaukolämmöllä. Kuten vaihtoehdossa 2, tässäkin vaihtoehdossa jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston on oletettu olevan säiliömallinen, jolloin huoltokustannuksissa on huomioitu myös laitteiston puhdistamisen aiheuttamat huoltokustannukset saman suuruisina kuin vaihtoehdossa 2.

Vaihtoehdon 3 järjestelmä on ajateltu kattamaan öisin osittain rakennuksen käyttövesiverkoston kiertohäviöt kaukolämmön ohella ja päivisin myös osan lämpimän käyttöveden lämmityksestä. Jäteveden lämmöntalteenotolla on oletettu saatavan viemäristä hyödyksi yhteensä 1 626 MWh lämpöenergiaa vuodessa, jolloin kaukolämmöllä lämmitettäväksi jää 370 MWh/vuosi. Taulukossa 6 on esitetty elinkaarikustannuslaskennassa käytettyjä vaihtoehdon 3 järjestelmän ja laitteiston käyttö- ja hankintakustannuksia.

Taulukko 6. Jäteveden lämmöntalteenotto- ja kaukolämpölaitteiston sekä lämpöpumpun käyttö ja hankintakustannukset vaihtoehdossa 3

Kustannus	Hinta, €
Kaukolämmön perusmaksu / vuosi	6 200
Kaukolämpöpaketti	15 000
Kaukolämmön liittymismaksu	45 000
Jäteveden LTO-laitteisto	100 000

Kaukolämmön perusmaksu vaihtoehdolle 3 laskettiin kaavalla

$$\text{Perusmaksu} = 120,01 \text{ €} + (Q * 37,11 \text{ €})$$

jossa

Q

kaukolämmön sopimusteho, kW

[15]

Kaukolämmön sopimustehoksi vaihtoehdolle 3 laskettiin 42 kW, jolloin kaukolämmön perusmaksuksi saatiin n. 1 700 €/a. Kaukolämmön liittymismaksu tässäkin vaihtoeh-

dossa on arvio. Jäteveden lämmöntalteenottolaitteiston hankintahinta arvioitiin suomalaisen Wavin Labkon vanhempien laitteistojen hinnan perusteella. Vaihtoehdon 3 toimintaa ja kytkentää kuvataan liitteessä 3.

8.4 Laskennassa käytetyt kaavat

Vaihtoehtojen elinkaarikustannuksia laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$LCC_{TOT} = \text{investointi} + \text{energiakustann. nykyarvo} + \text{huoltokustann. nykyarvo}$$

[14]

Edellisessä kaavassa esiintyneet energiakustannusten nykyarvo ja huoltokustannusten nykyarvo laskettiin eri vaihtoehdoille kaavalla

$$\text{Energiakustannusten nykyarvo} = Q * q * \frac{1}{(i-p)} * \frac{[1+(i-p)]^n - 1}{[1+(i-p)]^n}$$

jossa

Q	vuotuinen energiankulutus, MWh/a
q	nykyinen energian hinta, €/MWh
p	odotettavissa oleva vuotuinen energian hinnannousu, %/100
i	reaalikorkokanta, %/100
n	laskentajakson pituus, a

[14]

$$\text{Huoltokustannusten nykyarvo} = H * \frac{1}{(i-p)} * \frac{[1+(i-p)]^n - 1}{[1+(i-p)]^n}$$

jossa

H	vuotuinen huoltokustannus, €/vuosi
i	reaalikorkokanta, %/100
p	odotettavissa oleva vuotuinen energian hinnannousu, %/100
n	laskentajakson pituus, a

[14]

8.5 Laskennan tulokset ja niiden analysointi

Huoltokustannusten vaikutukset vaihtoehdoissa 1 ja 2 eivät ole 50 vuoden tarkastelujakson kokonaiskustannuksiin verrattuna merkittäviä. Suurimman vaikutuksen 50 vuoden ajanjaksolla elinkaarikustannuksiin aiheuttavat energiakustannukset. Taulukossa 7 on esitetty elinkaarikustannusten nykyarvo eri vaihtoehdoille jaettuna energia- ja huoltokustannusten nykyarvoihin sekä hankintakustannuksiin, olettaen että odotettavissa oleva vuotuinen energianhinnannousu on 2 %.

Taulukko 7. Elinkaarikustannusten nykyarvo eri vaihtoehdoille jaettuna energia- ja huoltokustannusten nykyarvoihin sekä hankintakustannuksiin, energian hinnannousu 2 %.

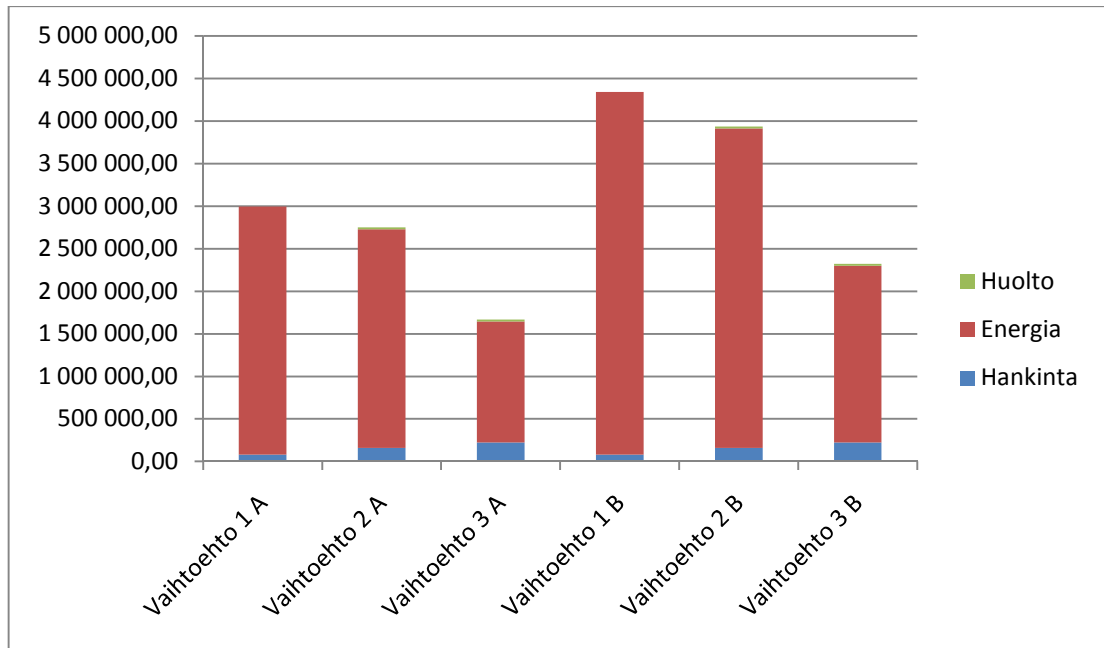
	Energiakust.(€)	Huoltokust.(€)	Hankintakust.(€)	Yhteensä (€)
Vaihtoehto 1	2 913 700	0	82 000	2 995 700
Vaihtoehto 2	2 567 550	21 910	160 000	2 749 460
Vaihtoehto 3	1 422 890	21 910	222 000	1 666 800

Taulukossa 8 on esitetty elinkaarikustannusten nykyarvo eri vaihtoehdoille jaettuna energia- ja huoltokustannusten nykyarvoihin sekä hankintakustannuksiin, olettaen että odotettavissa oleva vuotuinen energianhinnannousu on 4 %.

Taulukko 8. Elinkaarikustannusten nykyarvo eri vaihtoehdoille jaettuna energia- ja huoltokustannusten nykyarvoihin sekä hankintakustannuksiin, energian hinnannousu 4 %.

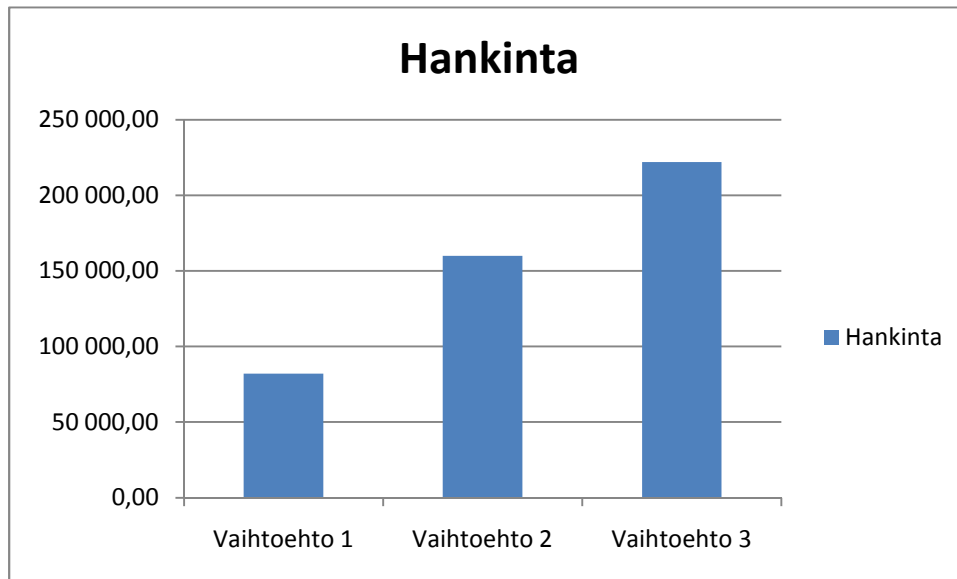
	Energiakust.(€)	Huoltokust.(€)	Hankintakust.(€)	Yhteensä (€)
Vaihtoehto 1	4 256 970	0	82 000	4 338 970
Vaihtoehto 2	3 750 570	21 910	160 000	3 932 480
Vaihtoehto 3	2 076 010	21 910	222 000	2 319 920

Kuvassa 16 on esitetty elinkaarikustannusten nykyarvon suuruus kokonaisuudessaan 50 vuoden tarkastelujakson aikana. Vaihtoehtojen A-versiot on laskettu energian hinnan odotettavissa olevan vuotuisen hinnannousun ollessa 2 % ja B-versiot energian hinnan odotettavissa olevan vuotuisen hinnannousun ollessa 4 %.



Kuva 16. Elinkaarikustannusten suuruus 50 vuoden tarkastelujaksolla.

Mikäli käyttöveden esilämmitys hoidettaisiin jäteveden lämmöntalteenotolla ja lämpöpumpulla ja tarvittava lisälämmitys katettaisiin kaukolämmöllä, elinkaarikustannukset 50 vuoden tarkastelujaksolla olisivat huomattavasti pienemmät kuin silloin, jos koko käyttöveden lämmitys hoidettaisiin ainoastaan kaukolämmöllä (kuva 16). Kuvassa 17 on esitetty kolmen eri järjestelmävaihtoehdon hankintakustannukset ja voidaan huomata, että jäteveden lämmöntalteenotto- lämpöpumppu- kaukolämpöyhdistelmän hankintakustannukset ovat kahden muun vaihtoehdon hankintakustannuksia suuremmat.



Kuva 17 Vertailtavien järjestelmien hankintakustannukset.

Jotta eri vaihtoehtojen kannattavuutta voitaisiin vertailla, laskettiin vaihtoehdoille 2 ja 3 korottomat takaisinmaksuajat. Korottomat takaisinmaksuajat TMA on laskettu kaavalla

$$TMA = \frac{\text{hankintakustannus}}{\text{vuotuiset säästöt}}$$

[14]

Vaihtoehdossa 2 kaukolämpöenergiaa säästyy 238 MWh/a, joka johtaa 11 900 €:n energiakustannussäästöihin vuosittain. Korottomaksi takaisinmaksuajaksi vaihtoehdolle 2 saatiin n. 13,5 vuotta. Vaihtoehdossa 3 kaukolämpöenergiaa säästyy 1 625 MWh/a, joka johtaa 81 250 €:n energiakustannussäästöihin vuosittain. Vaihtoehdon 3 korotonta takaisinmaksuaikaa laskettaessa on kuitenkin huomioitava, että kyseisen vaihtoehdon järjestelmään liittyvä lämpöpumppu kuluttaa sähköä 375 MWh/a, jolloin sähkönkulutus pienentää energiakustannussäästöjä 30 000 €:lla. Vaihtoehdon 3 energiakustannussäästöt ovat 51 250 €, jolloin korottomaksi takaisinmaksuajaksi saadaan n. 4,3 vuotta. Takaisinmaksuajat laskettiin arvoilla, jotka saatiin tehtäessä elinkaarikustannuslaskelmia energian hinnan odotettavissa olevalla vuotuisella hinnannousulla 2 %.

Korottomien takaisinmaksuajojen perusteella kannattavimmaksi vaihtoehdoksi saadaan vaihtoehto 3, jossa käyttöveden esilämmitys tapahtuu jäteveden lämmöntalteenoton ja lämpöpumpun avulla ja tarvittava lisälämmitys hoidetaan kaukolämmöllä.

Laskennassa ei kuitenkaan ole huomioitu sitä, että ajatellut jäteveden lämmöntalteenottolaitteistot ovat säiliötyyppisiä, jolloin niihin voitaisiin johtaa ainoastaan harmaat jätevedet. Tämä johtaisi siihen, että rakennuksen viemäröinti tulisi hoitaa kaksoisviemäröinnillä, jossa olisi eroteltu harmaat ja mustat jätevedet toisistaan. Tällainen kaksoisviemäröinti vaikuttaa myös järjestelmän hankintakustannuksiin suuresti, jolloin myös takaisinmaksuaika pitenee, eikä järjestelmää enää voida pitää yhtä kannattavana. Kaksoisviemäröinnin kustannusvaikutuksia on vaikea arvioida, sillä huomioon tulisi ottaa kaikki kaksoisviemäröinnistä aiheutuvat materiaali- ja asennuskustannukset. Todennäköisesti järjestelmää valittaessa päädyttäisiin kuitenkin hoitamaan käyttöveden lämmitys ainoastaan kaukolämmöllä.

8.6 Virhetarkastelu

Laskennassa suurin vaikeus oli lähtöarvojen arvioinnissa ja järjestelmien toiminnan pohtimisessa. Järjestelmien toiminnan ja potentiaalin suhteen jouduttiin tekemään paljon oletuksia, minkä seurauksena laskennassa saattaa esiintyä virhettä. Myös mahdollisimman tarkan käyttöveden lämmitykseen vaadittavan energian määrittäminen oli hankalaa, sillä pohjana olivat käytettävissä ainoastaan Espoon Puolarmetsän sairaalan toteutuneet vedenkulutustiedot, jotka eivät kuitenkaan täysin vastaa uuden sairaala- ja seniorikeskuksen vedenkulutusta. Järjestelmien hankintakustannusten kautta virhettä tarkasteluun aiheutuu siitä, että laskennassa ei ole huomioitu mahdollista kaksoisviemäröinnin vaatimusta. Laskennassa käytetyt jäteveden lämpötilat ja jäteveden jäähtymä eivät myöskään ole mitattuja, todellisia arvoja, vaan arvioita.

9 Yhteenveto

Jäteveden lämmöntalteenotto on aiheena Suomessa sen verran uusi, ettei kotimaasta vielä löydy etenkin insinööriyössä tarkasteltuun kiinteistökokoluokkaan valmiita järjestelmiä. Kehitteillä on myös Suomessa uusia järjestelmiä, joita tulevaisuudessa toivottavasti saadaan markkinoille. Aiheena jäteveden lämmöntalteenotto on mielenkiintoinen, sillä kunhan toimivia järjestelmiä saataisiin kehitettyä, myös jäteveden lämmöntalteenoton potentiaalia saadaan hyödynnettyä. Insinööriyötä varten tehty selvitystyö antoi paljon uutta informaatiota aiheesta ja siitä, kuinka paljon asian eteen on tehty ulkomailla.

Jotta aiheesta saataisiin varmempia tutkimustuloksia, tämä vaatisi paljon erityyppisiä mittauksia ja tutkimuksia sekä mahdollisesti taitoa kehittää uutta tuotetta. Tämän insinööriyön kolmea erityyppistä järjestelmää koskevissa laskelmissa virhemahdollisuutta lisäsi se, että useiden asioiden suhteen jouduttiin tekemään arvioita ja paljon laskentaa tehtiin vain teoriatasolla. Laskelmien tueksi olisi ollut hyvä myös saada todellisia lukuja, jos olisi ollut mahdollista.

Elinkaarikustannuslaskelmissa tultiin siihen tulokseen, että laskelmien perusteella kannattavin järjestelmä olisi vaihtoehto, jossa käyttöveden esilämmitys hoidettaisiin jäteveden lämmöntalteenotolla ja lämpöpumpulla ja tarvittavaan lisälämmitykseen käytettäisiin kaukolämpöä. Laskelmien perusteella myös pelkällä jäteveden lämmöntalteenotolaitteiston ja kaukolämmön yhdistelmällä saataisiin pienempiä säästöjä aikaan. Jotta edellä mainittujen järjestelmävaihtoehtojen todellista kannattavuutta voitaisiin tarkastella, tulisi ottaa huomioon myös järjestelmien vaatima kaksoisviemärointi, joka kasvattaa osaltaan myös järjestelmien hankintakustannuksia. Mikäli asiaa voitaisiin tutkia vielä tarkemmin, saataisiin vielä tarkempia laskentatuloksia.

Insinööriyöhön tehdyn selvitystyön perusteella voidaan uskoa, että uusia järjestelmiä saadaan markkinoille Suomessakin ja että aihe tulee olemaan esillä tulevaisuudessa. Tarkasteltavaa olisi tällä hetkellä paljon siinä, voitaisiinko asiaan ottaa paremmin kantaa rakentamismääräyksissä, jotta järjestelmiä voitaisiin kehittää. Nykyisissä rakentamismääräyksissä ei kovin tarkasti oteta kantaa juuri jäteveden lämmöntalteenottoon. Jäteveden lämmöntalteenotolla voi olla mahdollista parantaa rakennusten energiatehokkuutta tulevaisuudessa, mikäli toimivia järjestelmiä saadaan kehitettyä myös käytettäviksi tässä insinööriyössä tarkasteltuun kiinteistökokoluokkaan.

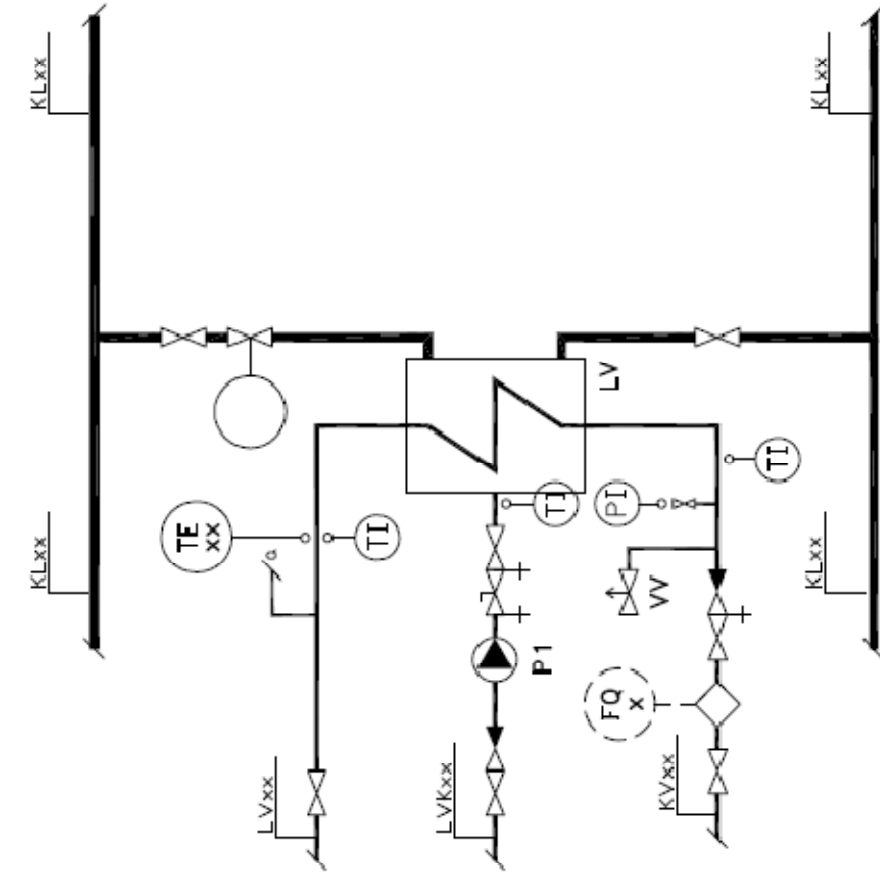
Lähteet

- 1 Aittomäki, Antero. Lämpöpumppulämmitys. 2001. Verkkodokumentti. Tampereen teknillinen korkeakoulu. <<http://www.tut.fi/units/me/ener/julkaisut/LP-opas.PDF>>. Luettu 14.1.2011.
- 2 Yleistä lämpöpumpuista. Verkkodokumentti. Suomen lämpöpumppuyhdistys Ry. <http://www.sulpu.fi/images/stories/pdf/files/yleista_lampopumpuista.pdf>. Luettu 15.1.2011.
- 3 Suomen rakentamismääräyskokoelma D1, Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot, Määräykset ja ohjeet. 2007. Verkkodokumentti. Helsinki. Ympäristöministeriö. <http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf>. Luettu 20.2.2011.
- 4 Talja, Harri. 2011. Suunnitteluinsinööri, Wavin Labko Oy, Kangasala. Puhelin keskustelu. 17.1.2011.
- 5 Bremer, Tom. 2011. LVI-valvoja, Espoon kaupunki. Keskustelu. 25.1.2011.
- 6 Scancool. 2011. Verkkodokumentti. <<http://www.scancool.fi/197.html>>. Luettu 20.3.2011.
- 7 Heinonen, Heikki; Mölsä, Seppo. 2010. Lehtiartikkeli. Rakennuslehti, julkaistu 7.10.2010.
- 8 Talja, Harri. 2011. Suunnitteluinsinööri, Wavin Labko Oy, Kangasala. Keskustelu. 21.3.2011.
- 9 Power Products Europe Ab. 2004. Verkkodokumentti. <<http://www.powerproductseurope.se/>>. Luettu 15.2.2011.
- 10 Hei-Tech Ab, The Recoh-Vert –heatexchanger. 2008. Verkkodokumentti. <<http://www.shower-save.com/pdfs/Recoh-vert%20grey%20water%20heat%20recovery.pdf>>. Luettu 29.3.2011.
- 11 Hei-Tech Ab, Recoh-Multivert. 2010. Verkkodokumentti. <<http://www.hei-tech.nl/en/pdf-en/FolderRecohmultivertE.pdf>>. Luettu 11.4.2011.
- 12 Jörgensen, Michael. Hei-Tech Ab. 2011. References Recoh-Multivert Holland. Pdf-dokumentti. Michael Jörgensen, Hei-Tech Ab. Sähköposti, 15.4.2011.

- 13 LVIA-rakennustapaselostus. 2009. Espoon sairaala ja seniorikeskus.
- 14 Talotekniikan elinkaaritarkastelut. Talotekniikan käsikirja 1. 2001. Verkkodokumentti. Suomen Talotekniikan Kehityskeskus Oy. <<http://www.esprojects.net/attachment/f884d384a217c98c4bfa49875a2f02d9/88af69eb6ff6debf97ae734c8f184143/Talotekniikan+elinkaaritarkastelut.pdf>>. Luettu 21.4.2011.
- 15 Fortumin kaukolämpöhinnasto Espoo. 2011. Verkkodokumentti. <http://www.fortum.fi/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Kaukolampo/Hinnastot%20ja%20sopimusehdot/Kaukolampohinnasto_Espoo_01012011.pdf>. Luettu 20.4.2011.

Liite 1

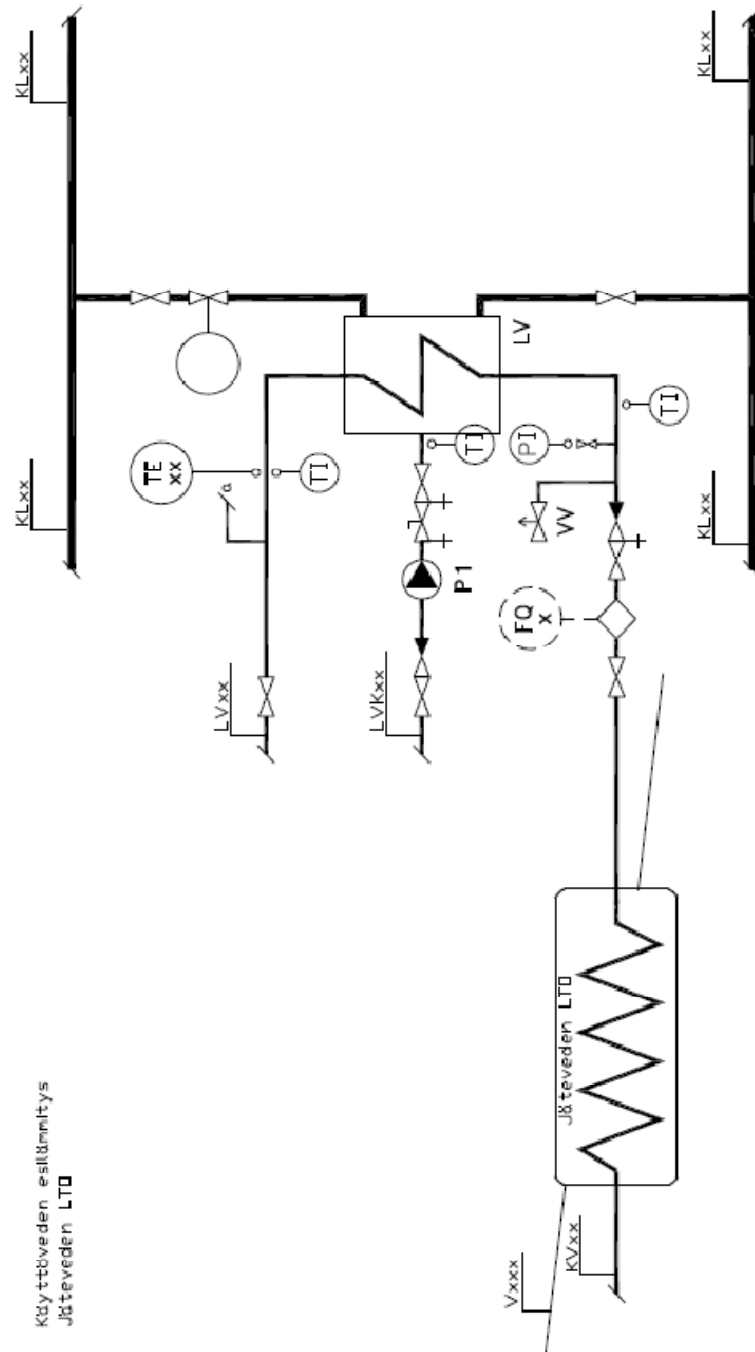
Vaihtoehto 1 kytKentä ja toiminta



Käyttöveden lämmitys
Kaukoilmpö

Liite 2

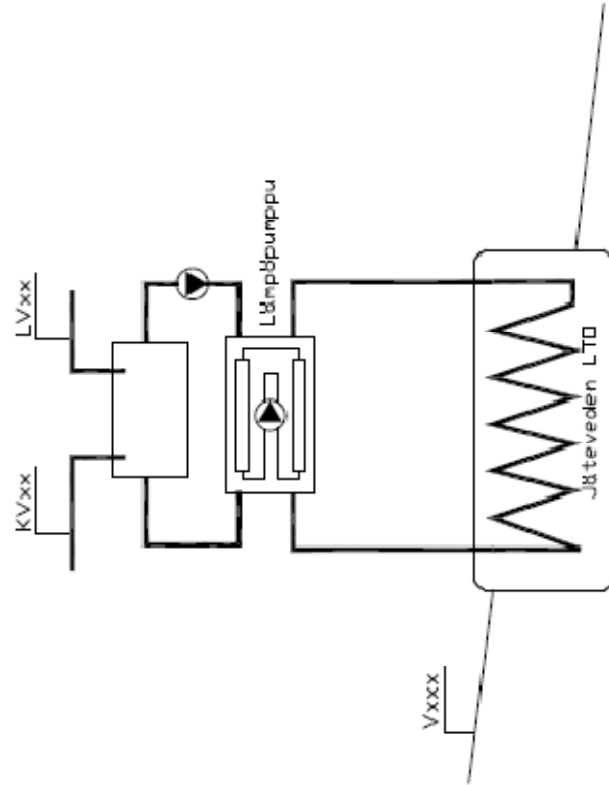
Vaihtoehto 2 kytkenä ja toiminta



Liite 3

Vaihtoehdon 3 kytkentä ja toiminta

Käyttöveden esilämmitys
Jäteveden LTO ja lämpöpumppu



Liite 4

Ruotsinkielisten sanojen suomennuksia

ren vatten	puhdas vesi
spillvatten	jätevesi
varm	lämmin
förvärmt	esilämmitetty
upplagsfläns	tukilaippa
kyl	viileä
kall	kylmä
värmeförande skikt	lämpöä siirtävä kerros
betongrör	betoniputki
fall	kaato
perforerat	lävistetty
yllning	täyte
växlare	vaihdin
värmeväxlare	lämmönvaihdin
bygel	ripustin
upphängning	kiinnitys, ripustaminen
mellanstycke	välikappale
inspektionslucka	tarkastusluukku
renslucka	puhdistusluukku
väggmontage	seinäkiinnitys
golvuppställning	lattia-asennus
takupphängning	kattoripustus