

Opinnäytetyö (AMK)
Energia ja ympäristötekniikka
2021

Tommi Mäkilä

UIMAHALLIN JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

– Kaarinan uimahalli



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia ja ympäristötekniikka

2021 | 52 sivua

Ohjaaja: Juha Leimu

Tommi Mäkilä

UIMAHALLIN JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

- Kaarinan uimahalli

Tämän insinööriyön tarkoitus oli selvittää kuinka kannattavaa Kaarinan kaupungin olisi investoida jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmään sen omistaan uimahalliin. Selvityksen suorittamiseksi täytyi selvittää kohteen lähtötietoja, perehtyä alan kirjallisuuteen, hankkia tietoa siitä millaisia järjestelmiä tätä varten on kehitetty, missä tällaisia on käytössä sekä miten ne ovat toimineet.

Kaarinan uimahallista ei ollut olemassa tarkkaa mittausdataa veden virtaamien taikka lämpötilojen suhteen, mutta kiinteistöstä oli saatavilla kulutustietoja monelta vuodelta. Kulutustietoja oli saatavilla kuukausittaisesta kaukolämmön määrästä, sähkön-, sekä vedenkulutuksesta. Jäteveden lämmöntalteenotosta uimahalleissa on saatavilla hyvin vähän kirjallisuutta joka ei olisi vanhentunutta tietoa, joten selvitystä varten on myös haastateltu muutamia alan ammattilaisia.

Kiinteistöstä lähtevän veden määrä on suunnilleen sama kuin kiinteistöön tulevan veden määrä, joten tämän tiedon avulla pystytään laskemaan lähes tarkasti viemäriin valuva veden määrä. Energiavirtojen laskentaan tarvittiin myös kohteen lämpötilatietoja joita saatiin hankittua kiinteistön automaatiovalvomosta. Säästöpotentiaaliin vaikuttaa suuresti myös uimahallin käyttäjämäärä josta saatiin hankittua tilastot vuosilta 2019 ja 2020.

Työssä otettiin myös selvää millaisia jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmiä muissa Suomessa olevissa uimahalleissa taikka kylpylöissä on, vertailtiin näiden ominaisuuksia, sekä selvitettiin millä periaatteella ne toimivat.

Kaarinan kaupungin kiinteistöjen kunnossapito yksikkö saa tästä työstä raportin jonka avulla he voivat paremmin selvittää millaiseen järjestelmään olisi hyvä investoida, kuinka kannattavia tällaiset järjestelmät taloudellisesti ovat todellisuudessa, mitä tarvitsee ottaa huomioon jäteveden talteenottoa suunniteltaessa ja tietoa siitä, miten muissa uimahalleissa on vastaavanlaiset järjestelmät toimineet. Lämmöntalteenottojärjestelmän asennuksesta toimitetaan myös muutama valmis tarjous toimeksiantajalle.

ASIASANAT:

Lämmöntalteenotto, Jäteveden lämmöntalteenotto, Uimahalli, Lämpöpumppu, Lämmönsiirrin, Hukkalämpö, Energiansäästö.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy- and environmental engineering

2021 | 52 pages

Instructor: Juha Leimu

Tommi Mäkilä

HEAT RECOVERY FROM SWIMMING HALL SEWAGE

- Kaarina swimming hall

The purpose of this Bachelor's thesis was to find out how profitable would it be for the city of Kaarina to invest in a wastewater heat recovery system for its own swimming pool. To carry out the study, it was necessary to find out the source data of the site, to get acquainted with the literature in the field, to obtain information on what systems have been developed for this purpose, where such systems are used and how they have worked.

There were no accurate measurements of water flows or temperatures from the Kaarina swimming pool sewage, but consumption data for many years were available from the property. Consumption data were available on the monthly amount of district heating, electricity, and water consumption. There is very little literature available on wastewater heat recovery in swimming pools that is not outdated information, so a few professionals in the field have also been interviewed for the study.

The amount of water leaving the property is approximately the same as the amount of water entering the property, so this information can be used to calculate the amount of water flowing into the sewer almost accurately. The calculation of energy flows also required site temperature data, which could be obtained from the property's automation control room. The savings potential is also greatly affected by the number of users of the swimming pool from which statistics for 2019 and 2020 were obtained.

The study also found out what kind of wastewater heat recovery systems there are in other swimming pools or spas in Finland, compared their properties, and found out on what principle they work.

The Kaarina City property maintenance unit will receive a report on this work to help them better understand what kind of system it would be good to invest in, how economically viable such systems really are, what needs to be considered when planning wastewater recovery and how similar systems have worked in other swimming pools. A few ready-made bids for the installation of the heat recovery system will also be submitted to the client.

KEYWORDS:

Heat recovery, Sewage heat recovery, Indoor swimming hall, Indoor swimming pool, Heat pump, Heat exchanger, Waste heat, Wastewater, Energy saving.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	6
JOHDANTO	7
1 KAARINAN UIMAHALLIN ENERGIAVIRRRAT	9
1.1 uimahallin vedenkäsittely	9
1.2 Lämmitysjärjestelmä	16
1.2.1 Lämmitysenergian hinta	17
1.3 Vedenkulutus	18
1.3.1 Veden lämmityksen hinta	18
1.3.2 Korvausvesi	20
1.3.3 Suodattimien huuhteluvesi	23
1.3.4 Käyttövesi	23
2 JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT	27
2.1 Määräyksiä	28
2.2 Toimintaperiaate	29
2.2.1 lämmönsiirtimet	29
2.2.2 Lämpöpumput	30
2.3 Suomen uimahalleissa jo olevia LTO-järjestelmiä	32
2.3.1 Ecopal Oy	33
2.3.2 Karzasol	35
2.3.3 Finess Energy	37
2.3.4 Therm-X	38
2.3.5 Mitä ongelmia jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmissä on ilmentynyt	40
2.4 Järjestelmien vertailu	41
2.4.1 Tulokset	45
3 MAHDOLLINEN JÄRJESTELMÄ KAARINAN UIMAHALLIIN	47
3.1 Huomioitavaa ennen järjestelmän hankintaa	47
3.2 Tarjotut järjestelmät Kaarinan uimahalliin	48
4 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	52

KUVAT

Kuva 1. Esimerkkikaavio uimahallin vedenkäsittelystä (RT 103095, 7, muokattu).	10
Kuva 2. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutusjakauma-arvio (Lähde: VTT, 13).	13
Kuva 3. Lämmitysenergiantarpeen jakauma. Arviossa on oletettu IV-kone varustetuksi LTO:lla. Arviossa ei ole huomioitu oheistilojen lämmitysenergiankulutusta (VTT, 13.)	14
Kuva 4. Vedenkäsittelyryhmä 1 (Kaarinan uimahallin valvotasuunnitelma).	15
Kuva 5. Vedenkäsittelyryhmä 2 (Kaarinan uimahallin valvotasuunnitelma).	15
Kuva 6. Uimahallin lämmönvaihdin.	16
Kuva 7. Kaukolämmön mittari.	17
Kuva 8. Oraksen virtaamamittari.	24
Kuva 9. Virtaaman ja lämpötilan säätö taulukko.	25
Kuva 10. Esimerkkejä millä periaatteella laitteistot on suunniteltava, jottei aineet pääse sekoittumaan (D1 2007).	28
Kuva 11. Erityyppisiä ratkaisuja (Tekes 2013, 9, muokattu).	30
Kuva 12. Lämpöpumpun toimintaperiaate (vasemmalla Motiva lämpöpumput ja hybridiratkaisut, muokattu. oikealla Tekes 2013, 5).	31
Kuva 13. Ecowec-hybridivaihdin (Ecopal).	33
Kuva 14. Ecowec LTO tuotto taulukko (Ecopal).	34
Kuva 15. Karzasol LTO toiminnan periaate.	35
Kuva 16. Karzasol LTO ennen ja jälkeen.	36
Kuva 17. Monotube-kaksoisputkilämmönsiirrin (Finess).	37
Kuva 18. Finess LTO (Finess).	38
Kuva 19. Therm-X lämmönsiirrinlevyt, harjat sekä jäteveden poistoyhde.	39
Kuva 20. 90-luvulla asennettu Therm-X LTO.	40
Kuva 21. Esimerkki vertailutaulukosta.	41
Kuva 22. Esimerkki vertailutaulukoon lisäystä painoarvosta ja sen merkityksestä.	42

TAULUKOT

Taulukko 1. Uimahallin kulutukset ja kävijämäärät.	21
Taulukko 2. Järjestelmien vertailutaulukko	46

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

kW	Kilowatti, tehon yksikkö
kWh	Kilowattitunti, energian yksikkö
LTO	Lämmöntalteenotto
IV	Ilmanvaihto
MW	Megawatti
COP	Lämpökerroin (Coefficient of Performance)
°C	Celsius aste, lämpötilan yksikkö
LP	Lämpöpumppu
MWh	Megawattitunti, energian yksikkö
m ³	Kuutiometri, tilavuuden yksikkö
m ²	Neliometri, pinta-alan yksikkö
l	Litra, tilavuuden yksikkö
min	Minuutti, ajan yksikkö
€	Euro, rahan yksikkö
kk	Kuukausi, ajan yksikkö
VKR	Vedenkäsittelyryhmä

JOHDANTO

Uimahalleissa käytetään valtava määrä lämpöenergiaa, sähköä sekä vettä. Huonekui-
tiometrejä kohden näitä kaikkia edellä mainittuja käytetään Suomen rakennuksista eni-
ten juuri uimahalleissa. Energian käyttö uimahalleissa tulee aina olemaan hyvin korkea
niiden tarjoamien palveluiden vuoksi, mutta useissa uimahalleissa palvelut voidaan
tuottaa huomattavasti nykyistä energiatehokkaammin. Nykyään uusissa uimahalleissa
käytetäänkin monia keinoja lämpökuorman pienentämiseksi sekä hukkalämpöjen siirtä-
miseksi uudelleenkäyttöön. (Energiatehokkuuden käsikirja, 1.)

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Kaarinan kaupunki. Työssä käydään läpi,
onko kaupungin omistamassa uimahallissa järkevää sijoittaa jäteveden lämmöntalteen-
otto järjestelmään, jolla saataisiin hallin kulutusta hieman pienemmäksi nykyisestä.

Kyseinen kaupungin omistama uimahalli on rakennettu vuonna 1972. Kaarinan uima-
halli on jo moneen kertaan saneerattu eri vuosina ja laajennettu vuonna 2001 peruskor-
jauksen yhteydessä. Tällä hetkellä kiinteistö on kuitenkin heikossa kunnossa ja siihen
suunnitellaan parhaillaan laajaa remonttia tai harkitaan uuden uimahallin rakentamista.
Käyttöä uimahallille on paljon ja kävijämäärät ovatkin normaalisi olleet noin 200 000
paikkeilla vuosittain. Viime vuonna 2020 Covid-19:n vaikutuksesta kävijämäärä tippui
puoleen, eli noin 110 000 käyntiin.

Vuotuiset energian hinnan korotukset ovat nostaneet kiinteistöjen kustannuksia ja mah-
dollisuudet jo kertaalleen lämmitetyn ilman taikka veden hyötykäyttöön ovatkin herättä-
neet monien tiedonjanoisuutta järjestelmien toiminnasta sekä mahdollisuuksista. Suo-
raan viemäriverkostoon ohjattu jätevesi on asuinkiinteistön suurimpia ja uimahalleissa
sekä kylpylöissä suurin yksittäinen lämpöenergiavuoto. Suomalaisen elementtikerrosta-
lon keskimääräinen lämpövuoto viemäriin on 21–24 %. (Tekes 2013, 1.) Uimahalleilla
tämä on paljon suurempi osuus tarvittavasta kokonaisenergiasta.

Vuosittain suoraan viemäriin menee Kaarinankin uimahallissakin satoja kuutioita läm-
mintä vettä, josta olisi mahdollista siirtää lämpöenergiaa takaisin hyötykäyttöön.

Miltein kaikki vesi joka kiinteistöön tulee, myös lähtee kiinteistöstä. Veden kulutus koh-
teessa on Covid-19:n aikana ollut noin 40–60 m³ ja "normaali tilanteessa" 60–100 m³
päivittäin ja siitä suuri osa on lämmintä vettä. Uimahallissa ei tällä hetkellä ole huuhte-
luveden, taikka suihkuista tulevan jäteveden lämmöntalteenottoa, vaan suurin osa

vedestä lämmitetään kaukolämmön avulla. Ainoastaan lastenaltaassa on apulämmitys-järjestelmänä auringonkerääjät.

Selvitykseen kuuluu saatavan hukkalämmön määrän laskeminen, hyödyntämiskohteen selvittäminen, takaisinmaksuajan laskeminen sekä näiden vertailu valituilla järjestelmillä. On myös tarkoitus selvittää, onko kannattavampaa hyödyntää tätä lämpöä lämpöpumpun avulla, vai harkita painovoimaisen järjestelmän hankkimista.

Selvitystä varten on haastateltu monia alan ammattilaisia, kaupungin kunnossapidon ja liikuntapuolen henkilöitä sekä uimahallilla on myös tehty suihkujen virtaaman mittauksia.

Uimahallin kaukolämmön, sähkön sekä veden kulutustiedot on hankittu vuosilta 2019 ja 2020. Kohteesta ei nähty järkeväksi mitata kulutuksia nyt, koska vallitsevan pandemian vuoksi hallin käyttötaso on varsin matala, eikä siitä saataisi normaaleja lukuja. Jäteveden määrä on arvioitu laskemalla kulutus kuukausittain käyttäjää kohden edellä mainituilta vuosilta, sekä vertaamalla tätä kulutusta hankittuihin vuosikulutuksiin.

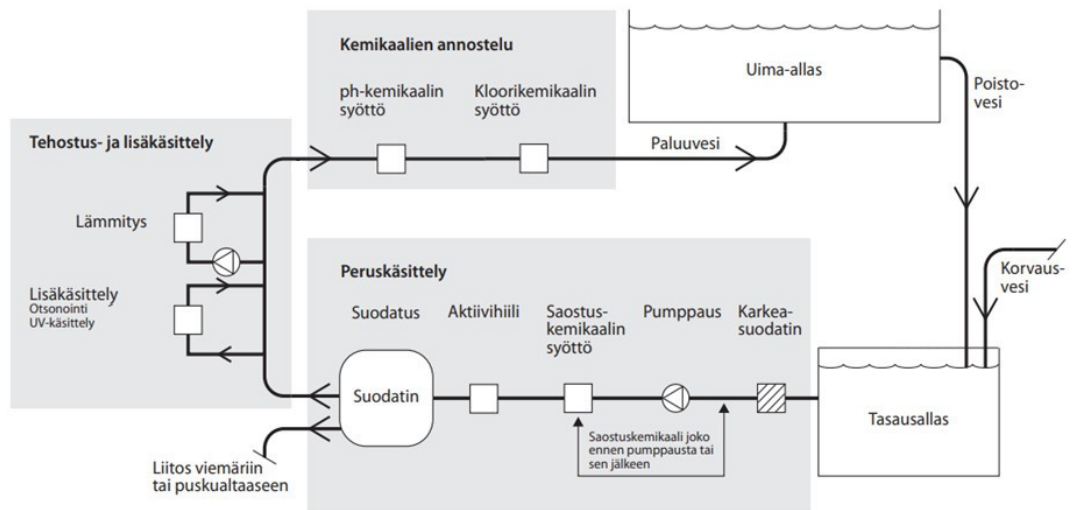
1 KAARINAN UIMAHALLIN ENERGIAVIRRRAT

1.1 uimahallin vedenkäsittely

Suurin osa uima-allasvesiin tulevasta kuormituksesta on peräisin ihmisistä jotka allasta käyttävät. Ulkona oleviin altaisiin tulee roskaa myös ympäristöstä. Ihmisistä lähtöisin oleva kuormitus riippuu mm. henkilön peseytymisestä, altaan toiminnoista, altaan lämpötilasta ja siitä kauanko henkilö viettää aikaa altaalla. Jotta uima-altaiden vedet saadaan pidettyä kirkkaina, puhtaina sekä sopivan lämpöisinä on niistä jatkuvasti kierrätettävä vettä puhdistukseen ja lämmitykseen jonka jälkeen takaisin uima-altaisiin. Veden kierrätyksen yleisperiaatteena on, että suurimmankin kuormituksen aikana vettä pystytään käsittelemään 2 m³ jokaista uimaria kohden. Tarvittava altaiden täyttövesi ja korvausvesi otetaan vesijohtoverkosta. Verkostosta tuleva vesi on yleisesti noin 6–8 °C, joten se tarvitsee lämmittää ennen altaisiin laskua. Jokaiselle uima-altaalle on oma kiertonsa missä vettä johdetaan altaista jatkuvasti puhdistettavaksi ja sieltä takaisin uima-altaaseen. Tärkein päämäärä tälle kierrolle on allasveden terveydellisen laadun varmistaminen. Uima-altaassa oleskelusta ei saa aiheutua allasta käyttäville sairauksia tai muuta terveydellistä haittaa. Vedenkäsittelyllä taataan olosuhteet, jotta onnistutaan suorittamaan hyvä klooridesifionti optimaalisella kloorin määrällä vedessä. (RT 103095, 1–3.)

Veden puhtaus, laatu sekä muut ominaisuudet on tämän lisäksi määrätty Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa uimahallien ja kylpylöiden allasvesien laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 315/2002.)

Seuraavassa kuvassa on esitetty uima-altaiden vedenkierto yksinkertaistettuna.



Kuva 1. Esimerkkikaavio uimahallin vedenkäsittelystä (RT 103095, 7, muokattu).

Kierrosta palautuva vesi johdetaan altaaseen ja sieltä takaisin kiertoon siten, että se sekoittuisi mahdollisimman tasaisesti jo altaassa olevaan veteen. Parhaiten tähän tulokseen on päästy isoissa, sekä epämääräisen muotoisissa altaissa johtamalla vesi altaan pohjaan asennetusta putkistosta. Altaista lähtevä vesi johdetaan loiskekourujen kautta jota on oltava altaan lähes koko reunan alueella, jotta veden tasainen vaihtuvuus voidaan turvata altaan koko alueelta. Ylivuoto myös poistaa veden pinnalle nousseet epäpuhtaudet samalla. Loiskekouruista vesi johdetaan tasausaltaaseen. (RT 103095, 4.) Seuraavista osiosta on jätetty pois kemikaalien annostelu, koska sillä ei ole juurikaan merkitystä jäteveden lämmöntalteenoton kannalta.

Tasausallas

Allas, joka on vedenpinnan vaihtelun sekä suodattimien huuhteluvesien varastoinnin vuoksi tarvittava tila. Suodattimet vaativat kerralla suuren määrän vettä, jotta saadaan puhdistettua suodattimiin jäänyt lika tukkeutumisen estämiseksi, joten tasausaltaan joudutaan mitoittamaan huuhteluun tarvittavan vesimäärän perusteella. Se kuinka usein suodattimia joudutaan huuhtelemaan, määräytyy hallin käyttötason mukaan. Tasausaltaan jälkeen vesi kulkeutuu seuraavaksi suodatukseen. (RT-103095, 5.)

Suodatus/saostus

Jotta saadaan poistettua vedestä orgaaninen ja kolloidinen aine on veteen lisättävä saostuskemikaaleja. Yleisesti aktiivisena aineena käytetään alumiinia joka neutraloi kolloidien sähkövaraukset, jolloin ne hydroksisakan kanssa yhdessä muodostavat suurempia hiukkasia, eli "flokkeja". Suurentuessaan saostuma pystytään suodattamaan vedestä pois. Ajan kuluessa nämä saostumat jäävät suodattimen materiaaliin kiinni ja ne pitää puhdistaa epäpuhtauksista noin viikon välein pois, riippuen hallin käyttötavasta. (RT 103095, 9.) Puhdistukseen kuluu suuri määrä vettä jonka jälkeen tämä vesi on poistettava kierrosta viemäriin, ellei ole rakennettu huuhteluvedelle puskuriallasta.

Huuhteluvesi

Huuhteluvesi on suodattimien huuhteluun käytettävää vettä. Joissakin uimahalleissa on erikseen rakennettu huuhteluvedelle varastoallas, josta saadaan tarvittaessa suodattimien huuhteluun tarvittava vesi, mutta yleisimmin tämä huuhteluvesi otetaan tasausaltaasta. Suodattimien huuhteluun kuluu jokaisella kerralla suuri määrä vettä jonka jälkeen se on yleensä johdettu suoraan viemäriin. Jos halutaan ottaa poistettavaa huuhteluvettä hyötykäyttöön, on sille rakennettava allas varastointia varten koska huuhteluveden määrä on niin suuri, ettei lämmöntalteenotto laitteisto ehdi käyttämään sitä hyödyksi. Myös hallin vähäinen käyttö huuhtelun aikana vaikeuttaa jäteveden lämpömäärän käyttämistä silloiseen aikaan. (Asiantuntija haastattelu.)

Usein joudutaan puskuriallas järjestämään myös sen takia, koska viemäriin ei välttämättä voida johtaa poistovettä suodattimien aiheuttamalla virtaamalla. Puskurialtaasta vesi johdetaan viemäriverkostoon sopivalla virtaamalla painovoimaisesti tai pumpulla, mikäli se korkeuseron takia on tarpeellista. Puskuriallas soveltuu käytettäväksi myös silloin, kun huuhteluvesiä halutaan puhdistaa uusiokäyttöön. Näiden edellä mainittujen syiden vuoksi puskuriallas suositellaan toteutettavaksi vähintään kaikkiin uusiin kohteisiin. (RT 103095, 5.)

Korvausvesi

Uima-altaan vettä tulee vaihtaa keskimäärin vähintään noin 30 l/hlö/vrk. Normaalisti veden poistuma toteutuu haihdunnan, loiskevesien sekä huuhteluvesien kautta, ja korvausvesi tulee vesijohtoverkosta kaukolämmönvaihtimen kautta. On myös mahdollista puhdistaa järjestelmästä poistuvaa vettä ja käyttää sitä uudelleen korvausvetenä. Siitä huolimatta uutta vettä on joka tapauksessa johdettava järjestelmään vähintään 15 litraa, eikä kierrätetty vesimäärä saa ylittää suurempaa määrää kuin 70 % kokonaisveden määrästä. DIN-normin 19643 mukaisesti ennen vesien johtamista altaisiin ne pitää lämmittää oikean lämpöiseksi ja niihin on lisättävä tarvittava määrä kemikaaleja puhdistuksen helpottamiseksi. (RT 103905, 5–6.)

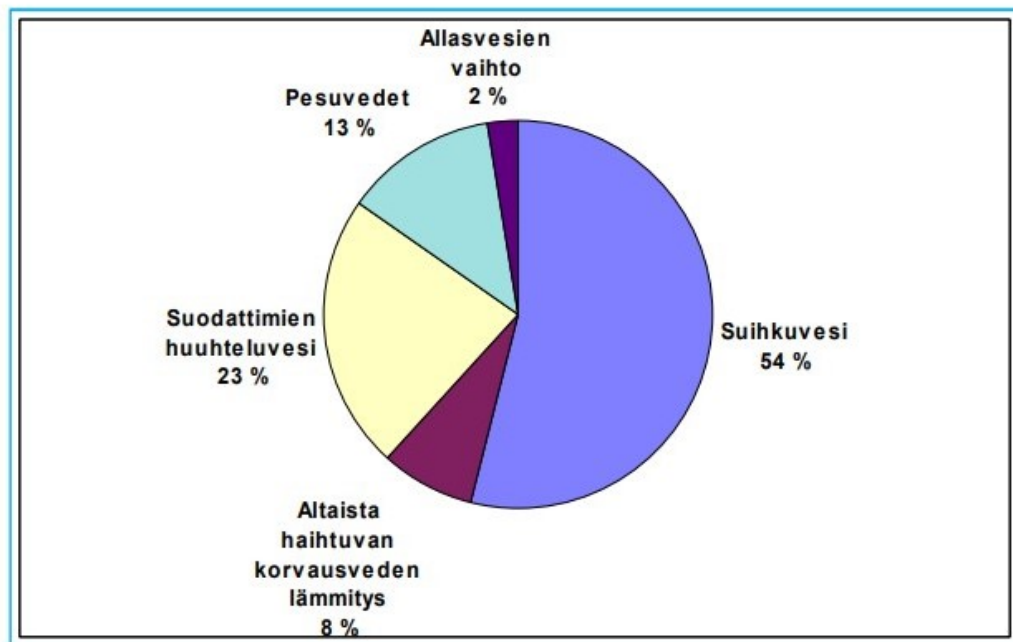
Haihdunta

Altaissa olevan veden jäähtyminen johtuu miltein kokonaan veden haihtumisesta allas-tilaan. Haihtumisen määrä riippuu veden lämpötilasta, ilman kosteudesta sekä lämpötilasta, veden pinta-alasta, allastyypistä sekä altaan käyttöasteesta ja mahdollisista varusteista. Liukumäet, vesisuihkut, niskahierontasuihkut yms. nopeuttavat haihduntaa.

Uimahallien sisäilman lämpötilaa pidetään yleensä muutaman asteen allasvettä lämpimämpänä, jotta saadaan rajoitettua haihtuminen mahdollisimman pieneksi. (RT 103905, 14.)

Suihkuvesi

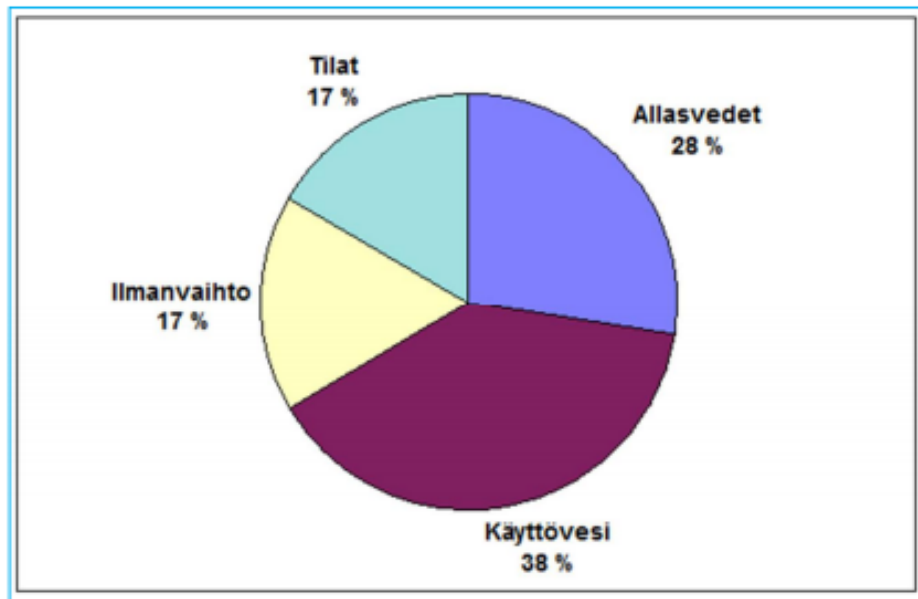
Suuri osa uimahallin veden sekä kaukolämmön kulutuksesta aiheutuu suihkuista. Lämmitysenergian kulutusjakauman arvio on esitetty seuraavassa kuvassa 2.



Kuva 2. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutusjakauma-arvio (Lähde: VTT, 13).

Normaalisti suihkujen virtaamat ovat 9–12 l/min ja joissain vanhemmissa uimahalleissa jopa 15 l/min. Keskimääräinen käyttäjäkohtainen veden kulutus vaihtelee paljon eri uimahalleissa, mutta empiirisen tutkimuksen mukaan ihmiset käyttävät suihkuja noin 6 minuuttia käydessään uimahallissa (Asiantuntija haastattelu). Keskimäärin voidaan todeta suihkuihin menevän yhdellä asiakkaalla noin 70 l/käyntikerta (Yle 2013).

Uimahallin energian tarve lämmitykseen koostuu allasvesien, käyttöveden, tilojen (vaipan johtumishäviöistä aiheutuvat, vuotoilmat sekä haihtuva vesi) ja ilmanvaihdon lämmitystarpeesta. Tässä selvityksessä kiinnitetään enemmän huomioita vesiin, koska suurin osa lämmitysenergiatarpeesta kuluu allas-, ja käyttövesien lämmitykseen. Karkea arvio lämmitysenergiankulutuksen prosentuaalisesta jakautumasta esitetään kuvassa 3, kun oheistilojen lämmitysenergiankulutusta ei oteta huomioon. Käyttöveden lämmitysenergiankulutus muodostuu suihkuvesistä, suodattimien huuhteluvedestä, pesuveistä, altaista haihtuvista korvausvesistä sekä allasveden vaihtovesistä.



Kuva 3. Lämmitysenergiantarpeen jakauma. Arviossa on oletettu IV-kone varustetuksi LTO:lla. Arviossa ei ole huomioitu oheistilojen lämmitysenergiankulutusta (VTT, 13.)

Jotta voidaan selvittää hallin potentiaali jäteveden lämmöntalteenoton kannattavuudelle, perehdymme tässä selvityksessä käyttöveden lämmitysenergian kulutukseen. Tarvitsee myös selvittää ensin muutamia seikkoja hallin muista energiavirroista sekä tekniikan toteutustavasta.

Hallin käyttö on vaihtelevaa, eikä mittauksia kannattanut tehdä vallitsevien Covid-19 rajoitusten takia, joten selvitystä varten hankittiin tiedot muutamalta edeltä vuodelta kaukolämmön, vedenkulutuksen sekä kävijämäärän osalta. Toki muitakin seikkoja piti selvittää kuten viemäroinnin toteutus, suihkujen virtaama, tulevan kylmän veden lämpötila, suihkuissa käytettävän veden keskilämpötila sekä onko hallissa tilaa mihin järjestelmä olisi mahdollista asentaa. Nämä kaikki vaikuttavat oleellisesti jäteveden lämmönotto laitteiston hankintaan.

Vedenkäsittelyryhmiä hallilla on kaksi. VKR1 joka palvelee isoa sekä pikku allasta, sekä VKR2 jonka pitää huolen monitoimialtaan, lastenaltaan sekä porealtaan veden käsittelystä. Molempien ryhmien hallinnoimasta alueesta, vesien virtaamista sekä lämpötiloista tietoa uimahallin valvontasuunnitelman liitteissä joista kuvat seuraavana.

Altaan nimi: Iso allas pikku allas vedenkäsittelyryhmä: VKR 1		
ASIACOHTA	MITOITUSARVOT	HUOMIOITAVAA
ALTAAN TILAVUUS JA MITAT isoallas+ pikkuallas	500 m ³ 25 x 10 x 1,2...2,0 m	
VEDEN LÄMPÖTILA °C	27	
HUIPPUPÄIVÄN KÄVIJÄMÄÄRÄ (arvio tai kävijämääräseurannan mukaan)	650 hlö/vrk	arvio 80% huippupäivän kokonaiskävijämäärästä
HUIPPUTUNNIN KÄVIJÄMÄÄRÄ	80 hlö/h	
ALLASKUORMITUS HUIPPUPÄIVÄNÄ	1,7 hlö/vrk/allas-m ³	
KIERRÄTYSVIRTAAMA JA SUODATUSKIERRON VIIPYMÄ	170 m ³ /h 3,0 h	kiinnioloaikoina virtaama ei muutosta
TASAUSALLAS	55 m ³	
SUODATTIMET	Hiekka suodattimet 3 kpl, kvartsihiekkä, antrasiitti Suodatusnopeus 10 m/h, Saostus päällä aukioloaikoina hiili suodattimet 2kpl 10m/h ei saostusta	Vastavirtahuuhtelun nopeus 60-70 m/h
SUODATTIMIEN HUUHTELU	tasausallas huuhteluvesipumppu, huuhtelunopeus 60-70 m/h virtaama max. 300 m ³ /h,	
TEHOSTUSMENETELMÄT	ilma/vesi huuhtelu	
KORVAUSVEDEN MÄÄRÄ	13 m ³ /vrk * (30 l /hlö/vrk)	100% korvausveden kokonaismäärästä, oma mittari

Kuva 4. Vedenkäsittelyryhmä 1 (Kaarinan uimahallin valvotasuunnitelma).

ASIACOHTA	MITOITUSARVOT	HUOMIOITAVAA
ALTAAN TILAVUUS JA MITAT Monitoimiallas, lastenallas, poreallas	78 m ³ 40 m ²	
VEDEN LÄMPÖTILA °C	33	
HUIPPUPÄIVÄN KÄVIJÄMÄÄRÄ (arvio tai kävijämääräseurannan mukaan)	250 hlö/vrk	arvio 80% huippupäivän kokonaiskävijämäärästä
HUIPPUTUNNIN KÄVIJÄMÄÄRÄ	40 hlö/h	
ALLASKUORMITUS HUIPPUPÄIVÄNÄ	1,7 hlö/vrk/allas-m ³	
KIERRÄTYSVIRTAAMA JA SUODATUSKIERRON VIIPYMÄ	110 m ³ /h 2,0 h	kiinnioloaikoina virtaama ei muutosta
TASAUSALLAS	30 m ³	
SUODATTIMET	Hiekka suodattimet 2 kpl, kvartsihiekkä, antrasiitti Suodatusnopeus 10 m/h, Saostus päällä aukioloaikoina hiili suodattimet 1kpl 10m/h ei saostusta	Vastavirtahuuhtelun nopeus 60-70 m/h
SUODATTIMIEN HUUHTELU	tasausallas kiertovesi pumput huuhtelunopeus 30-40 m/h virtaama max. 100 m ³ /h, viemäri	
TEHOSTUSMENETELMÄT	ilma/vesi huuhtelu	
KORVAUSVEDEN MÄÄRÄ	8 m ³ /vrk * (30 l /hlö/vrk)	100% korvausveden kokonaismäärästä, oma mittari

Kuva 5. Vedenkäsittelyryhmä 2 (Kaarinan uimahallin valvotasuunnitelma).

Kunnossapidon yksikkö seuraa kiinteistöjensä kulutuksia etäyhteyksien ja manuaalisen kulutuksen seurannan, sekä laskutustietojen avulla.

Kaukolämmön sekä veden kulutustiedot hankittiin laskuarkistosta, jotta saatiin mahdollisimman tarkat kk kohtaiset tiedot. Kaarinan liikuntatoimella on käytössä uimahallin kävijöiden kulunseuranta ja tarkemmat tiedot kuukausi kohtaisesta kävijämäärästä on saatu heidän kautta.

1.2 Lämmitysjärjestelmä

Turku energian kaukolämpöverkko on liitetty rakennuksen lämmitysjärjestelmään Cetetherm:n lämmönvaihtimen avulla (Kuva6), joka sijaitsee hallin kellarikerroksessa suihkutilojen alapuolella. Lämmönvaihdin on valmistettu vuonna 1993 ja rupeaa jo olemaan käyttöikänsä päässä.



Kuva 6. Uimahallin lämmönvaihdin.

Kaukolämmöllä katetaan kiinteistön lämmitysenergian tarve kokonaisuudessaan. Lämpöenergian kokonaiskulutus mitataan liittymäkohdassa Landis gyr T550 mittarilla (Kuvassa 7).



Kuva 7. Kaukolämmön mittari.

Mittaria ei ole yhdistetty kaupungin automaatio valvomoon, mutta kiinteistöhoitajat käyvä kuukausittain kirjaamassa tiedot ylös ja raportoivat lukemat vuosittain kirjattavaksi ylös kaupungin energianseurantareporttiin. Selvitystä varten on kuitenkin hankittu suoraan laskuarkistosta tarkat tiedot siitä, paljonko on laskutettu kaukolämmön energiasta, jotta saadaan samalla myös tietoa siitä paljonko energia on maksanut.

1.2.1 Lämmitysenergian hinta

Jäteveden sisältämällä lämpöenergialla usein pyritään korvaamaan osaa lämmitysmuodon energiankulutuksesta. Kaukolämmön hinta on vuosi vuodelta tullut kuluttajille korkeammaksi, joten moni on alkanut pohtia miten kasvavaa laskutaakkaa, olisi mahdollista alentaa. Energian verotus on osasyllinen tähän hinnan kehitykseen, mutta esimerkiksi kiinteistö automaation ja energiatehokkuuteen erikoistuneen Oumanin selvitykseen perustuen kaukolämmön hinta on noussut 94 % vuodesta 2005 vuoteen 2015. (Yle 2015.)

Kaukolämmön hinta vaihtelee kuukausittain, mutta keskimäärin Kaarinan kaupunki joutui vuonna 2020 maksamaan Turku energian kaukolämmöstä 71,28 €/MWh. Vertailun vuoksi, energia.fi:n julkaiseman kaukolämpötilaston mukaan vuonna 2005 kaukolämmön aritmeettinen hinta oli 45,5 €/MWh (Kaukolämpötilasto 2005).

Uimahalli kulutti vuonna 2019 kaukolämpöä 1903 MWh ja vastaavaluku vuonna 2020 oli 1509 MWh.

1.3 Vedenkulutus

Vedenkulutus uimahallissa jakaantuu moneen edellä kerrottuun osa-alueeseen. Kiinteistö on liitetty kunnalliseen vesijohtoverkkoon ja liittymä tälle sijaitsee kaukolämmön liittymän vieressä. Myös tässä kulutuksen seuranta tapahtuu kiinteistöhoitajien toimesta. He käyvät kuukausittain lukemassa vesimittarin lukeman, joka kirjataan ylös ja toimitetaan kunnossapitoon kirjattavaksi vuosittain. Mikäli esimerkiksi sairaspöissaolon tai jonkin muun syyn vuoksi lukema jää toimittamatta jokin kuukausi, tasoittaa tietoja käsittelevä ohjelma lukemat niin että jokaiselle kuukaudelle tulee jokin lukema. Tästä syystä jotkin taulukossa esitetyt lukemat eivät ole todellisia vaan ohjelman tekemiä taksauksia ajankohdille mistä ei ole ollut saatavilla tarkempaa tietoa (kts. taulukko 1).

Vuonna 2019 uimahallin vedenkulutus oli noin 24642 m³, kuin taas vuonna 2020 oli 16229 m³. Kaikki vesi mitä kiinteistöön tulee myös, lähtee kiinteistöstä ja miltein kaikki tästä valuu viemäreiden kautta jätevesi verkostoon. Verkosta otettava vesi on keskimäärin 6 °C, mutta vaihtelee vuodenajan mukaan. Veden hinta on viime vuosina ollut 5,58 €/m³.

1.3.1 Veden lämmityksen hinta

Seuraavalla kaavalla voidaan laskea, paljonko tarvitaan energiaa, jotta voidaan lämmitellä 1 m³ vettä 1 °C lämpimämmäksi.

$$Q = \frac{\rho \cdot c_p \cdot V \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (1.)$$

(Kaava 1. Motiva, laskukaavat, lämmin käyttövesi)

Jossa

Q = Veden lämmitykseen kuluva energia (kWh)

ρ = Veden tiheys (1000 kg/m³)

C_p	= Veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg°C)
V	= Vesimäärä (m ³)
t_2	= lämmitetyn veden lämpötila
t_1	= lämmitettävän veden lämpötila
3600	= yksikkömuunnoskerroin (kJ -> kWh)

Kaavaan 1 sijoitettuna yhden asteen lämpiäminen tuottaa seuraavan energian tarpeen:

$$Q = \frac{1000 \text{ kg/m}^3 * 4,2 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C} * 1 \text{ m}^3 * (1^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C})}{3600}$$

$$Q_{\text{vesi m}^3} = 1,167 \text{ kWh}$$

yhden asteen lämpötilan muutoksen hinnan voi laskea kaavalla

$$\text{Vesi}^{\text{lämmityksen hinta}} = \frac{\text{Kaukolämpöhinta}}{1000} * Q_{\text{vesi m}^3} \quad (2.)$$

Jossa

$\text{Vesi}^{\text{lämmityksen hinta}}$ = Paljonko maksaa lämmitää 1 m³ vettä yhdellä asteella

Kaukolämpöhinta = Kaukolämmön hinta (71,28 €/MWh)

1000 = Yksikkömuunnoskerroin (MWh -> kWh)

$Q_{\text{vesi m}^3}$ = Veden lämpiämiseen yhdellä asteella vaadittava energia

Sijoittamalla yllä olevat arvot kaavaan saadaan tulokseksi, että maksaa 0,08318376 € lämmitää kuutio vettä yhdellä asteella.

1.3.2 Korvausvesi

Säädösten mukaan jokaista uimahallin käyttäjää kohden uutta vettä tarvitsee tulla järjestelmän altaaseen noin 30 l, tai vähintään 15 l jos käytetään kierrätettyä vettä. Tällä saadaan pidettyä veden pH ja klooripitoisuus sellaisella tasolla, että uimahallissa on miellyttävää ja turvallista uida.

Kaarinan uimahallilla ei ole tällä hetkellä käytössä veden kierrätystä, joten kaikki vesi mikä uimahalliin tulee, joudutaan ottamaan vesijohtoverkostosta.

Seurannasta oli jätetty osa käynneistä huomioimatta, koska tähän seurantaan oli kerätty myös sellaiset kävijät jotka eivät käytä uimahallin altaita taikka suihkuja, mutta nämä kävijät saatiin helposti rajattua ulos laskennasta ja vuosilta 2019 sekä 2020 tehtiin taulukko kuukausikohtaisesta altaiden käyttäjämääristä, johon kerättiin myös kohteen sähkön, kaukolämmön sekä veden kulutuksen kuukausikohtaiset tiedot. Nämä tiedot ovat esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 1. Uimahallin kulutukset ja kävijämäärät.

2019	Kuukauden ulkolämpötila n keskiarvo [°C]	Sisälämpötilan asetusarvo [°C]	Kuukauden kävijämäärä	Kaukolämmön kulutus [MWh]	Kaukolämmön kulutus per kävijä [kWh/hlö]	Sähkön kulutus [MWh]	Veden kulutus [m ³]	Veden kulutus per kävijä [l/hlö]
Tammikuu	-4,5	28	21765	232,26	10,67	49,13	2471,71	113,56
Helmikuu	0	28	20513	213,68	10,42	43,24	2600,91	126,79
Maaliskuu	-0,1	28	23014	220,89	9,60	47,86	2732,47	118,73
Huhtikuu	6,4	28	16093	156,38	9,72	42,8	1856,77	115,38
Toukokuu	10,2	28	14728	92,25	6,26	40,22	1264,06	85,83
Kesäkuu	17,1	28	7283	82,5	11,33	38,53	1161,07	159,42
Heinäkuu	17,2	28	0	85,25		39,82	1199,78	
Elokuu	16,8	28	12645	85,25	6,74	39,82	1199,78	94,88
Syyskuu	11,5	28	18473	139,63	7,56	46,76	2421,54	131,09
Lokakuu	5,5	28	22655	199,4	8,80	48,81	2604,98	114,98
Marraskuu	2,5	28	21458	194,68	9,07	47,25	2522,81	117,57
Joulukuu	2	28	17126	201,17	11,75	48,82	2606,91	152,22
Yhteensä			195753	1903,34		533,06	24642,79	
2020	Kuukauden ulkolämpötila n keskiarvo [°C]	Sisälämpötilan asetusarvo [°C]	Kuukauden kävijämäärä	Kaukolämmön kulutus [MWh]	Kaukolämmön kulutus per kävijä [kWh/hlö]	Sähkön kulutus [MWh]	Veden kulutus [m ³]	Veden kulutus per kävijä [l/hlö]
Tammikuu	2,8	28	24137	211,88	8,78	47,69	2836,54	117,52
Helmikuu	1	28	22008	220,46	10,02	46,8	2931,11	133,18
Maaliskuu	1,8	28	9875	151,38	15,33	42,42	1415,86	143,38
Huhtikuu	4,4	28	0	78,16		29,48	685,27	
Toukokuu	8,5	28	58	72,49	1249,83	35,28	147,55	2543,97
Kesäkuu	18,3	28	3385	74,22	21,93	42,07	644,14	190,29
Heinäkuu	15,9	28	0	32,05		41,7	45	
Elokuu	17	28	6149	122,54	19,93	41,7	1707,94	277,76
Syyskuu	13,4	28	13295	118,59	8,92	40,36	1652,84	124,32
Lokakuu	8,7	28	12970	122,54	9,45	41,7	1707,94	131,68
Marraskuu	5,5	28	13801	161,41	11,70	46,01	1895,15	137,32
Joulukuu	1,9	28	1722	144,02	83,64	37,09	560,58	325,54
Yhteensä			107400	1509,74		492,3	16229,92	

Täsmällistä korvausveden seurantaa ei kohteessa ole, mutta valvontatutkimusohjelman (kts. kuva 4 ja 5) mukaan huippukävijämäärä vuorokaudessa on 250 henkilöä ja tätä kohden on asetettu korvausveden määräksi VKR1:een 12 m³/vrk ja VKR2:een 8 m³/vrk, joka on hieman yli 30 l/henk. /vrk. Uimahalli on vuodessa 310 päivää auki. Kaikki tämä vesi joudutaan lämmittämään ennen altaisiin laskemista. Allasveden lämpötila on VKR1:n hallitsemalla alueella 28 °C ja VKR2:n alueella 33 °C.

Seuraavilla kaavoilla voidaan laskea vuosittainen korvausveden määrä (kaava 3) ja sitä seuraavalla hinta (Kaava 4). Verkostosta tuleva uusi vesi on 6 °C.

$$Korvausvesi_{VRK} = VRK_V * d$$

Jossa

$Korvausvesi_{VRK}$ = Vedenkäsittelyryhmään lisättävä vesi

$VRK1_V$ = vedenkäsittelyryhmä 1:n esisäädetty korvausveden määrä päivittäin (12 m³/vrk)

$VRK2_V$ = vedenkäsittelyryhmä 2:n esisäädetty korvausveden määrä päivittäin (8 m³/vrk)

d = Montako päivää uimahalli on vuodessa auki (310 päivää)

$$Korvausvesi_{VRK1} = VRK1_V * d = 3720 \text{ m}^3$$

$$Korvausvesi_{VRK2} = VRK2_V * d = 2480 \text{ m}^3$$

Vuosittainen yhdistetty korvausveden määrä on 6200 m³

Vuonna 2020 veden hinta Kaarinassa on ollut 5,5 €/m³, joten pelkästään vedenkäsittelyryhmiin lisättävään korvausvetteen vuosittain kuluu:

$$6200 \text{ m}^3 * 5,5 \text{ €/m}^3 = 34\ 100 \text{ €}.$$

Mikäli uimahallille tulevaisuudessa suunnitellaan myös jäteveden puhdistusta ja kierrätystä, voitaisiin noin puolet tästä edellä mainitusta vesimäärästä jättää ostamatta korvaamalla se jo olemassa olevalla vedellä.

Vuonna 2019 kävijöitä altaissa oli 195753 ja jos käytettäisiin 30 l/kävijä määräystä, jäisi korvausveden määrä hieman alle 5900 m³, joten voidaan todeta korvausveden määrän olevan riittävä.

Aikaisemmilla kaavoilla saatiin laskettua lämmityksen hinnaksi 0,08318376 € lämmitetäessä yhtä kuutiota vettä yhdellä asteella. Kylmä vesi on 6 °C ja VRK tarvitsemat lämpötilat 28 °C ja 33 °C.

$Korvausvesi_{hinta}$

$$= (Korvausvesi_{VRK1} * VRK1_{\Delta T} * Vesi_{lämmityksen\ hinta}) \\ + (Korvausvesi_{VRK2} * VRK2_{\Delta T} * Vesi_{lämmityksen\ hinta})$$

Jossa $VRK_{\Delta T}$ = Lämpimän ja kylmän veden aste-ero (esim. VRK1 28 °C – 6 °C)

$$\begin{aligned} \text{Korvausvesi}_{\text{hinta}} &= (3720 \text{ m}^3 * (28-6)^\circ\text{C} * 0,08318376 \text{ €}) \\ &+ (2480 \text{ m}^3 * (32-6)^\circ\text{C} * 0,08318376 \text{ €}) = 12 171 \text{ €} \end{aligned}$$

1.3.3 Suodattimien huuhteluvesi

Kaarinan uimahallissa on 3 suodatinta molemmissa vedenkäsittelyryhmissä. Yhden suodattimen huuhteluun kuluu lämpöistä vettä noin 8–13 m³ ja jokainen suodatin huuhtellaan 2–3 kertaa viikossa. Huuhtelujen jälkeen vesi johdetaan suoraan viemäriin. Muu uimahallin käyttö on hyvin vähäistä huuhtelun aikana, joten tämä suuri vesimäärä olisi otettava ensin säilöön sille varattuun altaaseen, jotta sitä voitaisiin ottaa käyttöön silloin kun on tarvetta ja järjestelmään sopivalla virtauksella. Virtausnopeus huuhtelun aikana on hyvin suuri ja jos tämä energia haluttaisiin ottaa talteen, pitäisi myös talteenotto järjestelmä suunnitella niin että se pystyisi käsittelemään näin suuren vesimassan. Huuhteluveden energian määrä on huomattavasti pienempi mitä suihkuvesien, ja sen talteenottoa varten rakennettavasta säiliöstä ja muista hankinnoista aiheutuvat kulut pidentävät takaisinmaksuaikaa.

1.3.4 Käyttövesi

Suurin osa uimahallilla kulutetusta vedestä menee kuitenkin suihkuihin ja tähän vedenkulutukseen vaikuttaa kuinka kauan suihkuissa vietetään aikaa per kävijä, sekä myös se kuinka suuri veden virtaama on suihkuille asetettu. Muu käyttöveden kulutus (vesat, pesualtaat, tilojen pesu) uimahallissa on todella pientä, mutta voisi olettaa noin 5 % veden kulutuksesta menevän muuhun kuin korvausvesiksi taikka suihkuvesiksi (käyttäjä haastattelu.), joten nämä muut kulutuksen kohteet ovat jätetty huomioimatta vähäisen vaikutuksen jäteveden lämmöntalteenoton kannalta.

Suihkuissa vietettävä aika uimalakäynnin aikana vaihtelee paljon. Ainakin olisi suotavaa käydä pesulla ennen altaisiin menoa, mahdollisen saunomisen välissä sekä lähitiessä. Asiantuntijoiden mukaan yksi asiakas hallilla käyttää vettä noin 40–90 l käynnin aikana. Tähän vaikuttaa suuresti myös se montako litraa minuutissa suihkuihin on asetettu virtaamaksi. Vanhoissa suihkuissa ei välttämättä pysty erikseen virtaamaa asettamaan, joten oli syytä käydä tarkistamassa paikan päällä suihkujen virtaamat.

Kohteesta mitattiin aluksi perinteisen ämpärimittauksen avulla paljonko suihkuista tuli vettä. Eli otettiin 20 l ämpäri joka asetettiin suihkun alle, suihku laitettiin päälle ja otettiin sekuntikellolla aikaa kauanko kesti, että ämpäri tuli täyteen. Tämä menetelmä ei ole tarkka, mutta suuntaa antava.

Tämä tutkimus toistettiin kolmella eri suihkulla ja kävi ilmi, että uimahallilla ei ollut säädetty lainkaan virtaamia ja suihkuista tuli keskimäärin noin 27 l minuutissa. Nykyisin suihkujen virtaamiksi on asetettu 9–12 l/min ja vanhemmissa suihkuissa on yleisesti noin 15 l/min. Tulos oli hämmästyttävän suuri ja mittausvirheen mahdollisuuden takia käytiin toistamassa mittaus, mutta tällä kertaa Oraksen virtaamamittarilla (Kuva 8).



Kuva 8. Oraksen virtaamamittari.

Mittakuppi asetetaan hanan alle ja katsotaan asteikosta virtaaman määrä.

Tämäkin mittaustapa osoitti mittarin maksimi arvoja eli noin 25 l/min. Vaikka asia vaikuttaa pieneltä on sillä vuositasolla suuri vaikutus niin rahallisesti kuin ekologisesti. Kaarinan omat putkimiehet kävivät selvittelemässä asiaa ja asensivat virtauksen rajoittimet suihkuihin, jotta saatiin nopeasti pienennettyä kulutusta. Näillä toimilla saatiin virtaus säädettyä n. 15 l/min. Tästä toimesta aiheutui vuositasolla suuret säästöt kaupungille esim. vuoden 2019 tilanteeseen verrattuna, jolloin käyttäjiä oli noin 200 000, säästöt olisivat olleet vedenlämmityksestä sekä veden kulutuksen vähentämisestä noin 98 000 €. Tästä liitteenä Excel-laskentataulukko josta voi tarkastella hinnan muutoksia erilaisilla suihkun virtaamilla, lämpötiloilla tai suihkuissa vietettävällä ajalla. Kuvassa oleva taulukko toimitetaan tilaajalle käyttöön.

Uimahallin Suihkujen virtaaman/lämpötilan alentamisen vaikutukset									
Kulutustiedot uimahallista				Vaihdettavia tietoja					
	vesi	kaukolämpö	kävijät	keskimäärin montako minuuttia suihkussa yksi kävijä	6	min	Keskiarvo noin 6min		
2020	15878 m ³	1502 MWh	107400 Kpl	Suunniteltu suihkun virtaama	15	L/ min			
2019	24631 m ³	1913 MWh	195753 Kpl	Tämänhetkinen suihkun virtaama	25	L/ min			
Veden Cp 4.186 KJ/K*kg				Veden hinta	5,58	m ³			
Tiheys 1000 kg/m ³				Kaukolämmön hinta	71,28	€/mWh			
Veden dT 34 C°				Suihkun veden keskilämpö	40	C°			
				Kylmän veden lämpötila	6	C°			
	Vesimäärä suihkuille		veden hinta		MWh veden lämmittämiseen		kaukolämmön hinta		Vuodessa säästöt muutoksilla
Vuosi	Nyt	Säädetty	Nyt	Säädetty	Nyt	Säädetty	Nyt	Säädetty	
2020	16110 m ³	9666 m ³	89894 €	53936 €	637 MWh	382 MWh	45398 €	27239 €	54117 €
2019	29363 m ³	17618 m ³	163845 €	98307 €	1161 MWh	697 MWh	82745 €	49647 €	98636 €

Kuva 9. Virtaaman ja lämpötilan säätö taulukko.

Edellisestä laskentataulukosta käy selville, ettei tiedot laskentaa varten pidä täysin paikkaansa. Veden kulutus kokonaisuudessa oli vuonna 2019 ollut 24631 m³ ja laskelma näyttäisi mitatun virtaaman ja hankitun kävijämäärän avulla lasketun suihkuveden kulutuksen olevan jo yksinään suurempi kuin kulutus yhteensä. On mahdollista, että tämä johtuu nopeammista suihkukäynneistä, virheellisestä kävijämäärästä tai siitä jos suihkujen virtaamille on tapahtunut jotain vuoden 2019 aikana. Kuitenkin laskelma on hyvin suuntaa antava ja sillä pystytään myös laskemaan muiden kiinteistöjen vesikalusteiden virtaamisen rajoittamisesta aiheutuvia säästöjä.

Veden lämpötila on keskimäärin noin 40 °C veden tullessa suihkusta, mutta viemäriin päästyään vedestä on siirtynyt ilmaan, käyttäjiin ja putkistoon lämpöenergiaa ja keskimäärin veden lämpötila viemäriputkistossa on 30 °C. (Asiantuntija haastattelu.)

Suihkuista tulevan jäteveden lämmöntalteenoton kannalta on tärkeää selvittää paljonko vettä viemäriin valuu. Ennen virtaamien alennusta vettä oli valunut viemäriin paljon enemmän, joten viime vuosien laskutettujen tietojen mukaan on virheellistä laskea jäteveden lämpöpotentiaalia. Kun tiedetään todellinen virtaama, veden lämpötila, kävijämäärät sekä keskimääräinen suihkuissa vietettävä aika, voidaan laskea esimerkiksi vuoden 2019 kävijämäärällä arvioitu suihkujäteveden lämpöpotentiaali.

Vesimääräksi oletetaan:

$$V = \left(\frac{\text{Suihkuissa vietetty aika} * \text{kävijämäärä} * \text{virtaama}}{1000} \right)$$

$$V = \left(\frac{6 \text{ min} * 195\,753 * 15 \text{ l/min}}{1000} \right)$$

$$V = 17617 \text{ m}^3$$

$$Q = \frac{\rho * C_p * V * (t_2 - t_1)}{3600} \quad (\text{kaava 1.})$$

Jossa

Q = Veden sisältämä lämpöenergia

V = Vesimäärä (m^3)

t_2 = lämmitetyn veden lämpötila viemäriin valuessa ($30 \text{ }^\circ\text{C}$)

t_1 = kylmän veden lämpötila ($6 \text{ }^\circ\text{C}$)

3600 = yksikkömuunnoskerroin ($\text{kJ} \rightarrow \text{kWh}$)

1000 = yksikkömuunnoskerroin ($\text{l} \rightarrow \text{m}^3$)

$$Q = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * 17617 \text{m}^3 * (30 \text{ }^\circ\text{C} - 6 \text{ }^\circ\text{C})}{3600}$$

$$= 493,3 \text{ MWh}$$

Kaikkea tätä lämpöenergiaa ei ole vielä kustannustehokasta ottaa käyttöön, mutta monet järjestelmien valmistajat lupailivat vähintään 30 % säästöä järjestelmillä jotka maksavat itsensä muutamissa vuosissa takaisin.

2 JÄTEVEDEN

LÄMMÖNTALTEENOTTOJÄRJESTELMÄT

1980-luvulla alettiin kehittää jäteveden lämmöntalteenotto ratkaisuja, joissa harmaista jätevesistä, eli pesutiloista, pesukoneista tai keittiöstä tuleva vesi johdetaan lämmönsiirtimen kautta esilämmittämään varaajaan tulevaa käyttövedettä. Jäteveden lämmön hyödyksi käyttäminen on vieläkin Suomessa melko vähäistä verrattuna esimerkiksi Ruotsiin tai Sveitsiin. Aiheen huomioiminen lisääntyi Suomessa huomattavasti, kun vuonna 2013 Tekesin vesiohjelma julkaistiin, mihin on koottu tietoa teknologiasta, laitetoimittajista, jo toteutuneista kohteista, sekä tietoa mitä projekteissa tarvitsee ottaa huomioon.

Hukkaenergian talteenotto pienkiinteistöissä sekä asuntaloissa usein keskittyy viemäriin valuvaan harmaaseen jäteveeseen (suihkut, pesukoneet), koska mustat jäteveden (vessan vedet) ovat usein huomattavasti viileämpiä ja sisältävät enemmän partikkeleita jotka voivat tukkia järjestelmän. Usein käytetyt ratkaisut keskittyvät pelkästään suihkuveden lämmön talteenottoon, koska tekniikka siihen on melko yksinkertaista ja suihkuvedessä on paras potentiaali energiasäästöille sen määrän ja sen sisältämän lämmön takia. Takaisinmaksuaika on usein vain muutamia vuosia. (Tekes 2013, 8.)

Uimahalleissa paras potentiaali jäteveden hyötykäytölle löytyy myös suihkuvesistä, mutta on myös järkevää harkita, olisiko taloudellisesti kannattavaa sijoittaa suodattimien huuhteluvesissä olevaan hukkalämmön talteenottoon.

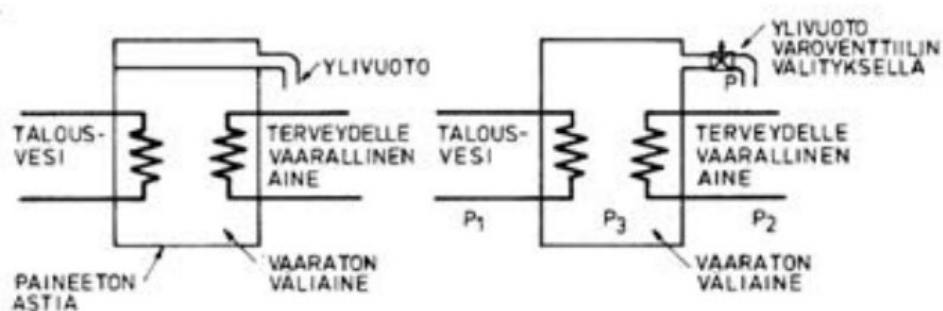
Järjestelmän mitoitus on hyvin tärkeää, jotta saataisiin paras sijoitetun rahan tuotto. Suihkuvesien talteenotossa järjestelmä mitoitetaan sen mukaan, paljonko vettä keskimäärin suihkuihin valuu. Jos mitoitettaisiin huippumäärän mukaan ja haluttaisiin ottaa kaikki lämpö mitä vaan on mahdollista, tulisi järjestelmästä myös hyvin kallis.

2.1 Määräyksiä

Rakentamista koskevat säädökset ja ohjeet on koottu Suomessa rakennusmääräyskokoelmaan. Ohjeet eivät ole velvoittavia, mutta määräyksiä kaikkien on noudatettava. Rakennusmääräyskokoelmista tulee huomioida D1 suunniteltaessa JVLTO-järjestelmiä. Vesi- ja viemärlaitteistot tulee suunnitella sekä rakentaa tämän kokoelman mukaan, sekä veden laadun määritelmät löytyvät myös samasta kokoelmasta.

D1:ssä on määrätty muun muassa seuraavia asioita jätevesilaitteistoille. Järjestelmää suunniteltaessa sekä asennettaessa on varmistuttava siitä, ettei laitteistosta aiheudu minkäänlaista vaaraa terveydelle, viemäritulvia, epämiellyttävää hajua tai jotain muuta haittaa. Järjestelmän tulee olla käyttövarma sekä kestävä, ja se pitää sijoittaa paikkaan joka sille on sopiva. Mikäli jokin muu laite liitetään järjestelmään, ei siitä saa koitua viemäriin kovempaa rasitusta taikka aiheuttaa melua. Jäteveden pitää olla sellaista, ettei se sisällä vesihuoltolaitokselle tai jätevesijärjestelmän toiminnalle haitallisia aineita.

Laitteistoja asennettaessa pitää ottaa huomioon se, etteivät vesijohdot saa missään kohtaan olla kosketuksissa jäteveden, kylmäaineet taikka glykolin kanssa. Edellä mainittujen aineiden diffundoituminen tai vuotaminen voi mahdollisesti aiheuttaa veden pilaantumisen. (D1 2007.) Laitteet tulee suunnitella kuvan 11 mukaan.



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 10. Esimerkkejä millä periaatteella laitteistot on suunniteltava, jottei aineet pääse sekoittumaan (D1 2007).

Uimahalleja suunniteltaessa pitää myös huomioida, ettei allasveden putkistojärjestelmällä ja jätevedenpoistojärjestelmien välillä ei saa olla suoraa yhteyttä, jotta välttyään ettei vikatilanteissa likaista vettä pääse uima-altaisiin (RT 103095, 7).

2.2 Toimintaperiaate

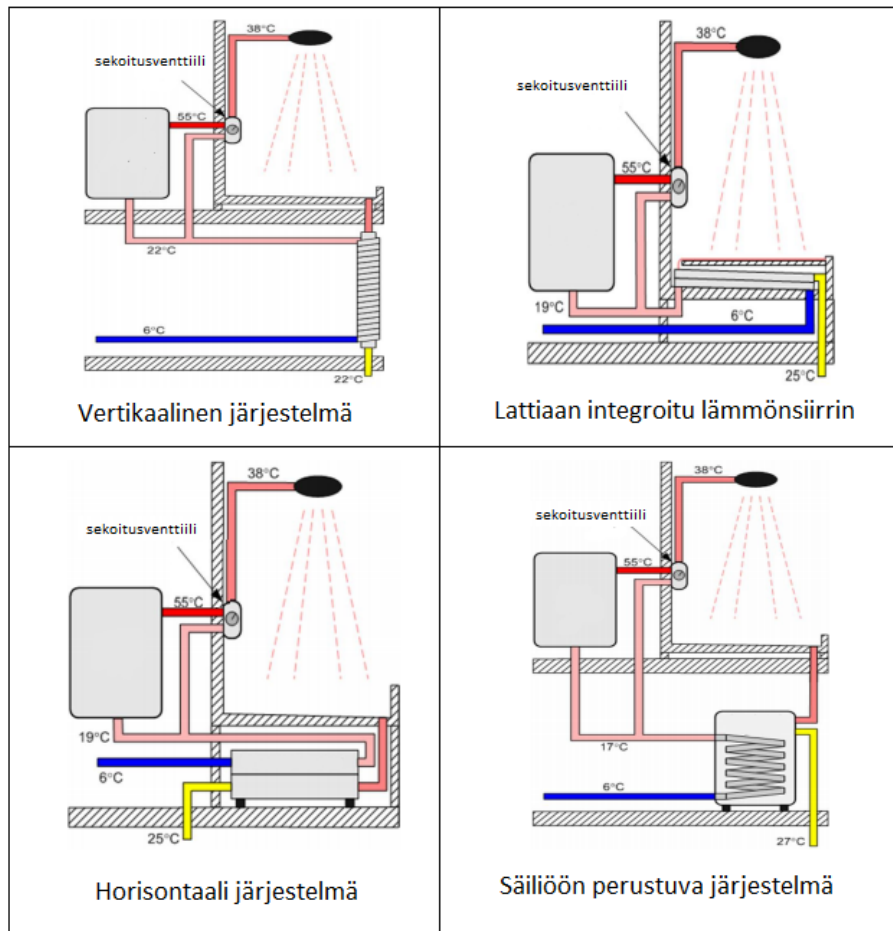
Vaihtoehtoja talteenottojärjestelmälle on hukkalämmön suora hyödyntäminen lämmönsiirtimen avulla (passiivinen järjestelmä), lämpöpumpulla tapahtuva matalalämpöisen lämpövirran lämpötilan nostaminen hyödynnettävissä olevalle tasolle (aktiivinen järjestelmä) taikka näiden edellä mainittujen yhdistelmä. (Motiva Energiatehokas lämmitys.)

2.2.1 lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimet eli lämmönvaihtimet ovat teknisiltä ominaisuuksiltaan yksinkertaisia ratkaisuja, joiden kautta lämpö siirtyy pinnan kautta lämpimästä kylmempään aineeseen ainevirtojen ohittaessa toisensa. Esimerkiksi kaukolämpöverkostossa kiertävä kuuma vesi luovuttaa kiinteistön järjestelmälle lämpöä lämmönsiirtimen avulla. (Tekes 2013, 4.) Samalla periaatteella voidaan myös siirtää jäteveden sisältämää lämpöä kylmäaineen välityksellä mm. lämmittämään kiinteistöön tulevaa kylmää vettä.

Erilaisia lämmönsiirtimiä on monenlaisia, mutta pääasiassa ne voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään; rekuperatiiviset-, regeneratiiviset-, sekä sekoituslämmönsiirtimet.

Regeneratiivisissä ja sekoituslämmönsiirtimissä ainevirrat voivat sekoittua keskenään, joten jäteveden lämmöntalteenotto ratkaisuissa voidaan käyttää ainoastaan rekuperatiivisiä ratkaisuja joissa seinämä erottaa nesteet toisistaan ja sekoittumista ei pääse tapahtumaan. Kuvassa 12 muutamia erityyppisiä rekuperatiivisten lämmönsiirtimien asennusratkaisuja.



Kuva 11. Erityyppisiä ratkaisuja (Tekes 2013, 9, muokattu).

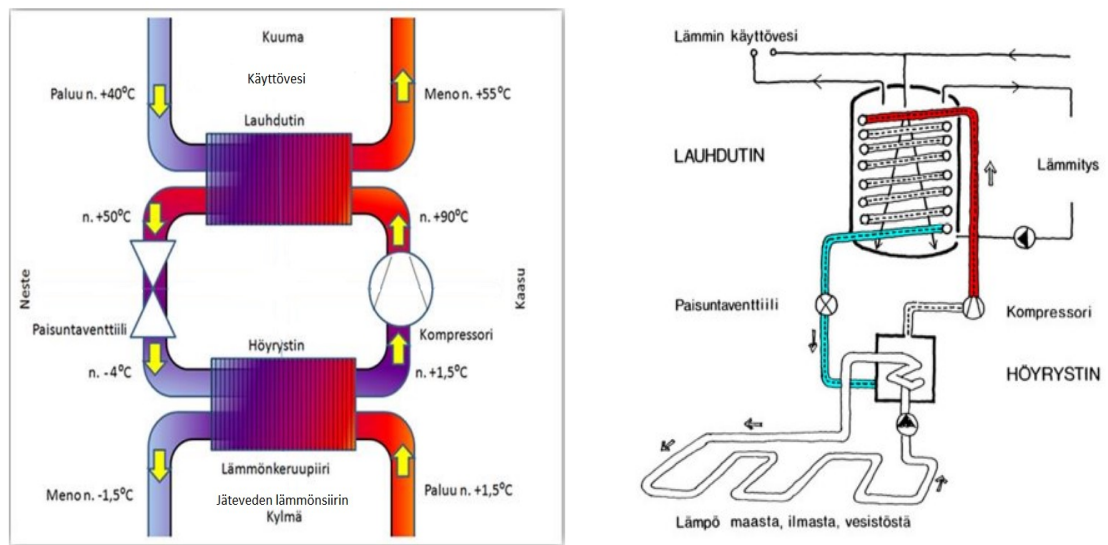
Lämmönsiirtimessä lämpö siirtyy pääasiassa konvektion eli johtumisen avulla. Näiden järjestelmien käyttökustannukset ovat hyvin matalat, koska järjestelmän nestettä siirtävät pumput ovat ainoita käyttökuluja. Vähäiset investointikustannukset ovat syy siihen, että useasti ylijäämäenergia hyödynnetään pelkästään lämmönsiirtimillä.

2.2.2 Lämpöpumput

Lämpöpumpun avulla saadaan energiatuotannon hyötysuhde korkeammaksi pelkkään lämmönsiirtimeen verrattuna ja lämpöä voidaan paremmin jakaa haluttuun kohteeseen sen lämpöisenä kuin on tarvetta. Kuitenkin investointi ja käyttökustannukset nousevat kalliimmiksi, jos hankitaan lämpöpumppu tukemaan järjestelmää.

Lämpöpumpun toiminnan periaatekuva on esitetty seuraavassa kuvassa 13. Siinä kylmäaine on kylmimmillään ja nestemäisenä juuri paisuntaventtiilin jälkeen ja kerää

lämpöä jäteveden lämmönsiirtimeltä tulevalta lämmönkeruupiiriltä höyrystimen avulla. Seuraavaksi kylmäaine paineistetaan kompressorin avulla jolloin neste muuttuu kaasuksi ja sen lämpötila nousee huomattavasti. Tämä kuuma kaasu johdetaan lauhduttimen läpi jonka tehtävä on saada aine kylmettymään, sekä tiivistymään nesteeksi. Lauhdutin siis luovuttaa lämpöä haluttuun paikkaan (tässä tapauksessa käyttöveteen). Paisuntaventtiili laskee nesteen paineen alas, jotta se voi taas uudelleen ottaa talteen keruupiiristä tulevaa lämpöä. (Motiva lämpöpumput ja hybridiratkaisut.)



Kuva 12 Lämpöpumpun toimintaperiaate (vasemmalla Motiva lämpöpumput ja hybridiratkaisut, muokattu. oikealla Tekes 2013, 5).

Lämpöpumppu siis ottaa energiaa matalassa lämpötilassa olevasta lämmönlähteestä (usein maaperä, ilma tai vesi) ja muuntaa sen kompressorin avulla siihen lämpötilaan kuin on tarvetta käyttämällä hyväksi kiertävän kylmäaineen höyrystymistä ja lauhtumista. Kylmäaine on ainetta joka höyrystyy matalassa lämpötilassa ja joka omaa alhaisen kiehumispisteen. Höyrystymis- ja kiehumispisteiden lämpötilat riippuvat paineesta ja siitä mitä kylmäainetta käytetään. Järjestelmän toiminnan kannalta on tärkeää, että prosessista saadaan enemmän rahallista hyötyä tuotetusta lämpöenergiasta kuin mitä kompressorin kuluttaa sähköenergiaa. Esimerkiksi kompressorin kuluttaessa 1kW sähköä lämpöpumppu tuottaa 2kW lämpöä, saadaan lämpökertoimeksi 2. Tämä kerroin usein ilmoitetaan lyhenteellä COP (Eng Coefficient of performance). Kompressorin sähkön kulutus kasvaa mitä suurempi lauhdutus- ja höyrystymislämpötilaero on, eli mitä suurempi ero lämpötiloissa, sitä huonompi on lämpöpumpuista saatava hyöty

energiasäästön kannalta. Kaikilla lämpöpumpuilla on tämä yhteinen periaate, vaikka tekniikaltaan eri laitetoimittajien pumput ovatkin hieman erilaisia. (Tekes 2013, 5.)

2.3 Suomen uimahalleissa jo olevia LTO-järjestelmiä

Selvitystä varten kerättiin tietoa Suomessa olevista uimahalleista sekä kylpylöistä. Tarkoituksena oli löytää tietoa mistä järjestelmiä löytyy, millainen hyöty niistä on ollut, ovatko toimineet luvatusi, paljonko vuosittaiset huolto kustannukset ovat olleet ja näiden tietojen avulla tutkia millaisella järjestelmällä saataisiin paras sijoitetun rahan tuotto Kaarinan uimahallissa.

Uimahalliportaali on paikka mistä löytyy tietoa noin 250 Suomessa sijaitsevasta uimahallista. Kaikki paikat eivät sinne tietojaan julkaise ja monet kohteet eivät ole ajan tasalla. Selvitystä varten lähetettiin jokaiseen portaalista löytyvään uimahalliin kysely sähköpostitse. Usean uimahallin yhteystiedot olivat ehtineet muuttua ja osaa halleista ei edes ollut enää olemassa, mutta vastauksia kyselyihin tuli siltikin monia kymmeniä ja osa tavoitetuista henkilöistä oli hyvin yhteistyö haluisia.

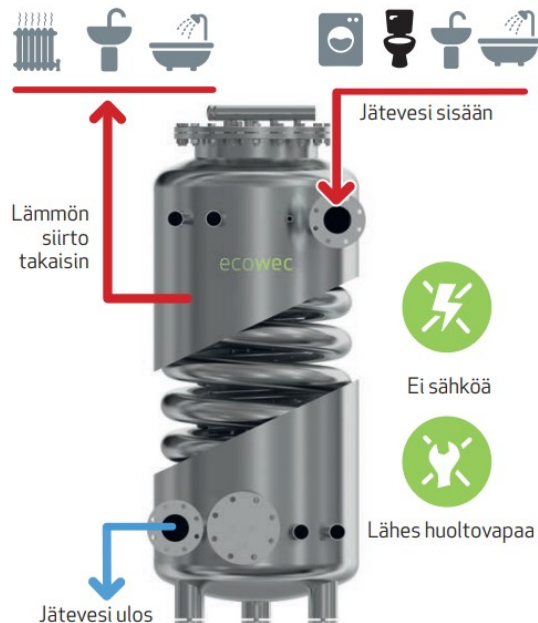
Vastauksista kävi ilmi, ettei monessakaan hallissa vielä ole järjestelmiä tai jos on niin niiden toiminnasta ei julkisesti haluta kertoa. Löytyi myös paikkoja mihin ollaan juuri suunnittelemassa järjestelmiä peruskorjauksen yhteydessä. Suurin osa löytyneistä JVLTO-järjestelmistä keskittyi ainoastaan suihkuvesiin ja vain muutamasta löytyi lisäksi huuhteluveden lämmöntalteenotto järjestelmä. Asiantuntija haastattelun perusteella kohteita olisi Suomessa noin 40, mutta kaikkia kohteita ei saatu tavoitettua.

Järjestelmien vertailuun olisi tarvittu mitattua tietoa virtauksista sekä lämpötiloista mitä laitteiston läpi menee ja paljonko tästä siirtyy takaisin kiinteistön käyttöön. Useassa kohteessa oli saatavilla tietoa lämpötiloista, mutta virtaamista ei juurikaan löytynyt tietoa mitä olisi annettu käyttöön.

Seuraavaksi esitellään uimahalleissa esiintyviä JVLTO-järjestelmien laitevalmistajia. Esittelyssä olevat tiedot laitteistosta ja sen toiminnasta perustuvat laitevalmistajien ilmoittamiin tietoihin.

2.3.1 Ecopal Oy

Ecopal on kehittänyt ja patentoinut edistyksellisen ja huoltovapaan Ecowec-hybridivaihtimen (kuvassa 14). Nämä lämmönvaihtimet valmistetaan Suomessa korkeiden laadunvarmistus-standardien sekä korkeiden materiaalivaatimusten johdosta.



Kuva 13. Ecowec-hybridivaihdin (Ecopal).

Järjestelmällä voidaan ottaa harmaasta sekä mustasta jätevedestä lämpöä talteen passiivisella käyttöveden esilämmityskytkennällä tai aktiivisella lämpöpumppukytkenällä. Valmistajan mukaan passiivisella kytkennällä voidaan saavuttaa 15–30 % LTO-hyötysuhde ja lämpöpumpun avulla 50–95 %.

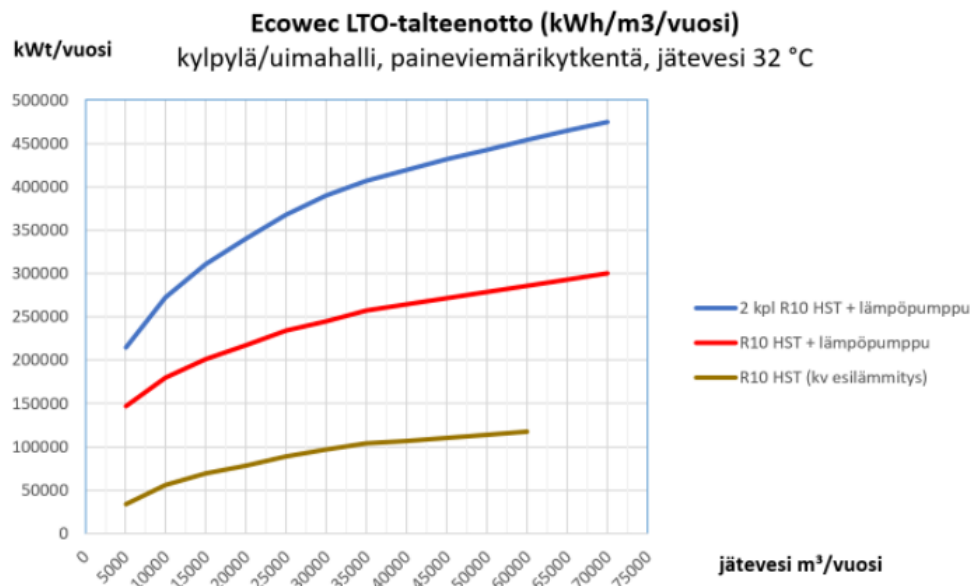
Viemärikytkennät voidaan toteuttaa joko painovoimaisena viettoviemärinä tai pumpattuna paineviemärinä. Paineviemäroinnillä voidaan nostaa hyötysuhdetta kymmeniä prosentteja ja sen avulla myös saadaan laitteisto puhdistumaan itsellään. Pumppaamo maksaa muutamia tuhansia euroja ja sähkökustannukset nousevat vuosittain noin 100–200 €.

Käyttöveden esilämmityksessä ilman lämpöpumppua vaihdin täytetään vedellä, johon lisätään ainetta joka estää levän muodostumisen pinnoille. vaihtimen spiraaliputkessa liikkuva jätevesi siirtää lämpönsä vaihtimen sisällä olevaan veteen, josta lämpö taas siirretään ulkoisen latausryhmän tai sisäisissä lisälämmönvaihtimissa kulkevaan

käyttöveeten. Jätevesi voidaan kytkeä joko painovoimaisena viettoviemärinä tai pumputtuna paineviemäröintinä vaihtimen liitoksiin.

Paras hyötysuhde saadaan kytkemällä vaihdin lämpöpumppuun. Lämpöpumppukytkenässä voidaan kytkeä useampi vaihdin rinnan tai sarjaan, jolloin toiminta voidaan optimoida mahdollisimman tehokkaaksi. Samalla voidaan hyödyntää myös muita lämmönlähteitä kuten poistoilmaa, maa-, lauhde-, tai aurinkolämpöä. Järjestelmä toimii muuten samalla tapaa kuin passiivinenkin järjestelmä, mutta veden sijasta vaihdin täytetään lämpöpumpun keruunesteellä.

Seuraavassa on kuvattu vaihtimesta luotu suuntaa antava taulukko, jonka perusteella voidaan valita sopivin ratkaisu kohteeseen.



Kuva 14. Ecowec LTO tuotto taulukko (Ecopal).

Vaihdin on valmistettu hapon kestävästä metallista, jotta taataan kestävyys uimahalleissa. Järjestelmä tarvitsee lattia pinta-alaa kulkureitteineen noin 1,5 m² / vaihdin / lämpöpumppu / varaaja. Markkinoilla laite on ollut vasta 5 vuoden ajan.

Toimiakseen hyvin järjestelmän jäteveden virtaama pitäisi olla vähintään noin 1000 m³ vuosittain, ja noin 10000 m³ virtaamalla takaisinmaksu aika on yleisesti 3–5 vuotta.

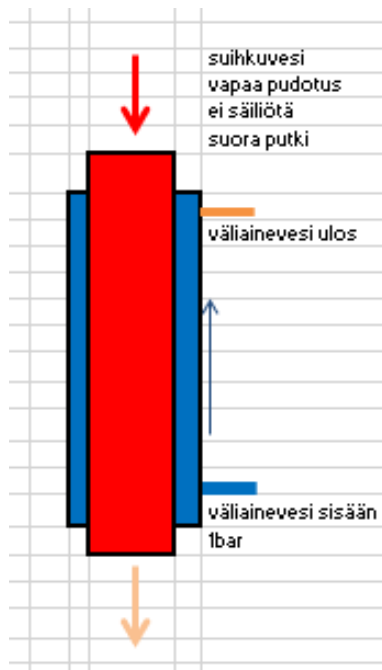
Laitteen tukkeutuminen on hyvin epätodennäköistä, mutta suositellaan kuitenkin asennettaessa varustettavaksi puhdistusluukuin. Mikäli laite pääsee tukkeutumaan voidaan viemäriveresi johtaa ohituslinjaa pitkin suoraan viemäriin.

(Ecopal.)

2.3.2 Karzasol

Karzasol LTO on markkinoiden kustannustehokkain vapaasti toimiva harmaan käyttöveden lämmön talteenottojärjestelmä. Laitteisto valmistetaan Lahdessa Finnradiatorin toimesta. Erikois osia ei ole lainkaan käytetty vaan kaikki osat ovat normaalia tukkumateriaalia.

Järjestelmässä viemäriveresi lasketaan painovoimaisesti alas putkea pitkin josta lämpö johtuu seinämän läpi ulkopuolisen vaipan väliainevedeen, väliaineen kulkiessa alhaalta ylös kierovesipumpun avulla (kuva 16). Laitteistolla on myös mahdollista ottaa mustista jätevesistä talteen energiaa, mutta tällöin on käytettävä yksiputki-LTO:ta.



Kuva 15. Karzasol LTO toiminnan periaate.

Valmistajien mukaan järjestelmällä saavutetaan vähintään 30-40% hyötysuhde ja laite maksaa itsensä nopeasti takaisin pienten investointikustannusten johdosta. Jokaiseen

laitteeseen kuuluu myös energiamittarointi, ensiö ja toisio puolen virtaamille sekä lämpötiloille, joten säästö lämmityskuluissa ei jää arvailujen varaan.

Laitteisto on miltein huoltovapaa, mutta arviolta noin 3 kertaa vuodessa tarvitsee suorittaa putkien puhdistus mihin menee aikaa 30min. Valmistajat hoitavat ensimmäisen vuoden puhdistukset ja samalla opastavat henkilökuntaa miten puhdistus suoritetaan.

Järjestelmä mahtuu hyvin pieneen tilaan kunhan korkeutta putkillla on noin 2-3m. Seuraavassa kuvassa esitetty tila ennen ja jälkeen asennuksen.



Kuva 16. Karzasol LTO ennen ja jälkeen.

(Karzasol.)

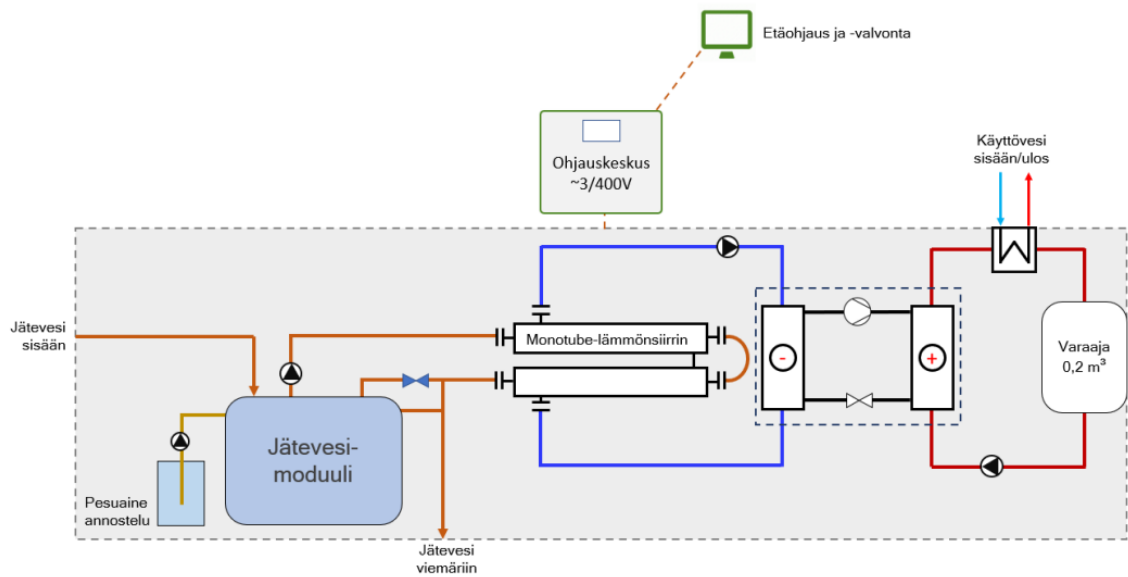
2.3.3 Finess Energy

Finess Heat-R HP LTO-järjestelmä ottaa aktiivisesti lämpöä talteen jätevesistä Monotube-kaksoisputkilämmönsiirtimellä (kuvassa 18). Lämmönsiirtimet voidaan toimittaa joko yksittäisinä laitteina tai osana suurempaa järjestelmää, myös avaimet käteen-ratkaisu on mahdollista.



Kuva 17. Monotube-kaksoisputkilämmönsiirrin (Finess).

Putkilämmönsiirtimet ovat poimutettua putkea, jotta saadaan aikaan turbulenttinen virtaus putkissa. Järjestelmässä kulkee kaksi sisäkkäistä putkea joissa toisessa kulkee jätevesi ja toisessa lämpöpumpun keruuneste. Talteen otettu lämpö johdetaan lämpöpumpulle, jonka kautta sitä voi hyödyntää esimerkiksi käyttöveden tai kiinteistön lämmitykseen. Jätevesien järjestelmät varustetaan automaattisella lämmönsiirtimen pesulaitteistolla kohteissa joissa jätevesi sisältää pintoihin tarttuvaa likaa (suihkuvesi, musta jätevesi tai puhdistettu jätevesi), joten puhtaana pidosta ei aiheudu kuormitusta kunnossapidon henkilöstölle. Siirtimet mitoitetaan aina yksilöllisesti asiakkaan tarpeen mukaan. Seuraavassa kuvassa esitetty Finessin LTO-järjestelmä.



Kuva 18. Finess LTO (Finess).

Optiona saatava etäohjaus ja valvonta mahdollistaa järjestelmän seurannan ja hallinnan selain pohjaisen liittymän avulla. Energiamittaus, jolla pystytään todentamaan järjestelmän säästöt on myöskin saatavilla optiona. Hyötysuhde näissä järjestelmissä on aina tapaus kohtainen.

(Finess.)

2.3.4 Therm-X

Therm-X on itsepuhdistava lämmönsiirrin jonka on valmistanut Tanskalainen Aco Engineering A/S. Siirrin on suunniteltu erityisesti lämmön talteenottoon likaisista tai kuituja sisältävistä nesteistä. Suomessa jälleenmyyntiä hoitaa Termihaukka Oy. Therm-X on avoin sylinterin muotoinen säiliö jonka sisällä on monia lämmönsiirrinlevyjä (kuva 20).



Kuva 19. Therm-X lämmönsiirrinlevyt, harjat sekä jäteveden poistoyhde.

Lämmönsiirrin levyjen sisällä olevissa virtauskanavissa kulkee puhdas vesi taikka väliaine, ja levyjen välissä likainen neste. Lämpö siirtyy levypintojen kautta niiden sisällä virtaavaan nesteeseen ja sitä kautta lämpö saadaan siirrettyä hyötykäyttöön. Likainen vesi johdetaan sisään säiliön alapinnasta ja johdetaan viemäriin säiliön yläreunasta, samalla kuin lämmönkeruuneste johdetaan virtauskanaviin ylhäältä alaspäin jolloin ristivirtaus-periaatteen mukaan saadaan paras teho lämmönsiirrolle.

Laitteen puhdistusjärjestelmä on patentoitu ja puhdistuksen toiminta on todistettu jo yli 20 vuoden käyttökokemuksilla ympäri maailmaa. Harjojen puhdistuessa lämmönsiirtopintoja se myös sekoittaa likaisen nesteen. Tämä menetelmä parantaa lämmönsiirto- tehoa entisestään ja pitää huolen, etteivät nesteessä esiintyvät partikkelit kerääntyä altaan pohjaan. Suomessakin on monta kymmentä vuotta vanhoja laitteistoja vieläkin käytössä. Seuraavassa kuvassa yli 20 vuotta vanha järjestelmä eräässä uimahallissa.



Kuva 20. 90-luvulla asennettu Therm-X LTO.

Valmistaja kertoo järjestelmän pystyvän vähintään 30 % energiansäästöihin ja normaalisti takaisinmaksuaika järjestelmälle vaihtelee noin 3–5 vuoden välillä.

(Therm-X.)

2.3.5 Mitä ongelmia jäteveden lämmöntalteenotto järjestelmissä on ilmentynyt

Keskusteluista eri käyttäjien kanssa ilmeni, että monikaan ei tiedä tarkkaan, miten heidän järjestelmänsä ovat toimineet, koska menneinä vuosina oli vain tärkeää, että järjestelmä hallilta löytyi ja voitiin mainostaa uimahallia hieman ”vihreämmäksi”. Huoltokustannukset ovat olleet joissain järjestelmissä huomattavat tukkeutuneiden hiusten ja suodattimien jatkuvan puhdistuksen vuoksi, ja niiden johdosta rahallinen hyöty lämmöntalteenotosta on jäänyt hyvinkin heikoksi, ellei jopa negatiiviseksi. Toki myös hyviäkin kokemuksia löytyi varsinkin uusimmista järjestelmistä. (käyttäjä haastattelu.)

Tässä selvityksessä ei käydä läpi missä kohteessa, kenen asentamia taikka kenen valmistamia järjestelmät ovat. Mahdolliset viat laitteen toimivuudessa voi johtua väärästä mitoituksesta, huollon laiminlyömisestä, laitteiston vikaantumisesta, taikka huonosti suunnitellusta/asennetusta järjestelmästä/laitteesta.

2.4 Järjestelmien vertailu

Useasti vertailu tehdään ainoastaan hinnan, laadun sekä toimitusajan perusteella, mutta näin pelkistetty ajattelutapa soveltuu vain yksinkertaisimpien tavaroiden hankintaan. Monimutkaisemmissa hankinnoissa kannattaa ottaa mahdollisimman monta järjestelmän toimintaan vaikuttavaa asiaa huomioon, jotta saadaan paras sijoitetun pääoman tuotto. Hintavertailu tai laatuvertailu ovat hieman harhaanjohtavia termejä kuvaamaan tätä ja voidaankin paremminkin puhua hankinnan sisällön vertailusta.

Suomen uimahalleihin on asennettu myös muitakin kuin edellä mainittujen laitevalmistajien laitteita, mutta järjestelmien vertailuun valikoitiin näistä kaikista satunnaisesti neljä valmistajaa, koska selvityksen aikataulun puitteissa ei ollut mahdollista ottaa jokaista laitevalmistajaa mukaan vertailuun.

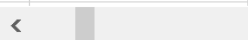
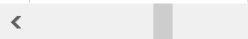
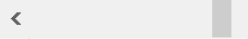
Julkista mitattua tietoa järjestelmien toiminnasta ei ollut saatavilla, eikä monikaan suosunut jakamaan tietoa jäteveden talteenottojärjestelmiensä toiminnasta siinä määrin, että ne olisivat olleet vertailukelpoisia. Useat laitteiden hallitsijat myös eivät olleet asennuttaneet järjestelmiinsä tarvittavia mittauspisteitä, joten energiansäästöt näissä kohteissa jäivät arvelujen varaan.

Vertailu on toteutettu käyttäjien sekä asiantuntijoiden luottamuksellisiin haastatteluihin, sekä arvioihin perustuen. Järjestelmien valmistajia ei julkaista tässä selvityksessä, vaan ne raportoidaan ainoastaan tilaajalle. Tässä vertailussa arviointi kriteereitä on alla mainitut kymmenen kappaletta. Arviotaville kriteereille annetaan esimerkinkin mukaisesti ensin pisteytys 0–10 pisteen väliltä joista lasketaan keskiarvo.

pisteytys 1-10	Valmistaja 1	Valmistaja 2	Valmistaja 3	Valmistaja 4
Hinta	10	2	6	4
Huollon tarve	7	8	6	8
Huollettavuus	6	7	8	9
Pisteet yhteensä	7,7	5,7	6,7	7,0

Kuva 21. Esimerkki vertailutaulukosta.

Edellä kuvatussa vertailussa voittajaksi tulisi valmistaja 1:n järjestelmä. Eri kriteereillä on kuitenkin erilainen merkitys riippuen minkälaista tuotetta tai palvelua ollaan hankkimassa, joten vertailutaulukkoon on tehty säädin jolla pystytään määrittämään jokaiselle kriteerille oma painoarvo 0–100 % välille riippuen siitä kuinka tärkeää tämä yksittäinen tekijä on kyseenomaiselle hankkijalle. Seuraavassa esimerkki kuvassa asetettu Hinnan painoarvoksi 20 %, huollon tarpeen 60 % ja huollettavuuden 90 %.

pisteytys 1-10	Valmistaja 1	Valmistaja 2	Valmistaja 3	Valmistaja 4	Kriteerin painoarvo			
					0 %		100 %	
Hinta	10	2	6	4	<		>	20,0 %
Huollon tarve	7	8	6	8	<		>	60,0 %
Huollettavuus	6	7	8	9	<		>	90,0 %
Painoarvolla korjattu pisteytys	3,9	3,8	4,0	4,6				

Kuva 22. Esimerkki vertailutaulukkoon lisätystä painoarvosta ja sen merkityksestä.

Huomataan että jos otetaan edellä mainitut kriteerien painoarvojen merkitys mukaan vertailuun valmistaja 4:n järjestelmä saa huomattavasti paremmat pisteet.

Kaarinan kunnossapidon henkilökunnan kanssa käydyissä palaverissa päädyttiin painoarvoihin, jotka ovat esitetty myöhempänä kriteerien esittelyjen yhteydessä, ennen henkilökunnan kommentteja (Kaarinan kunnossapidon ja kiinteistönhoidon henkilökunta). Samaisella Excel-kaaviolla pystyy helposti myös vertailemaan muita järjestelmiä tai palveluita, sekä kriteerit ovat helposti muunnettavissa sellaiseksi kuin kussakin tapauksessa on tarpeellista.

Hinta

Hinta on hyvin usein ainut ratkaiseva tekijä hankintoja tehdessä. Hinnalla tässä arvostelussa tarkoitetaan koko järjestelmän hintaa asennuksineen ja lisätarvikkeineen. Pisteytys tälle kriteerille määräytyy mitä halvempi sitä enemmän pisteitä.

Kriteerin painoarvoksi 30 %. ”Loppujen lopuksi muut asiat tärkeämpiä, koska hyvää ja halpaa harvoin on olemassa”

Huollon tarve

Huollon tarpeella tarkoitetaan, kuinka usein järjestelmän toimintaa tarvitsee pitää yllä huoltojen avulla. Esimerkiksi kuinka usein tarvitsee puhdistaa tai vaihtaa järjestelmästä jokin osa.

Mitä vähemmän joutuu vuosittain huoltoja tekemään sitä paremmat pisteet.

Kriteerin painoarvoksi 90 %. ”Mitä vähemmän joutuu laitetta huoltamaan sitä parempi, koska ylläpitokustannukset kasvavat huoltoja tehdessä ja myös energian talteenotosta saatu hyöty pienenee, jos laitetta joutuu koko ajan huoltamaan. Tämä on laitehankinnan tärkeämpi asioita, joten painoarvoa annamme tälle paljon.”

Huollettavuus

Huoltoja tarvitsee jokaiselle laitteelle tehdä jossain vaiheessa laitteen elinkaarta, mutta kuinka helposti laitetta voi huoltaa, löytyykö varaosia ja huoltoon tarvittavia tarvikkeita helposti normaaleista rautakaupoista ja pääseekö helposti käsiksi laitteeseen, jotta huoltoa pystyy tekemään.

Tälle korkeammat pisteet mitä helpommalla mahdollisista huolloista selviää.

Kriteerin painoarvoksi 90 %. ”Jotta välttyisimme pitkistä katkoksista, on tärkeää, että varaosat laitteisiin saataisiin hankittua nopeasti ja laitteisiin tulevan jäteveden pystyy helposti ohittamaan viemäriin.”

Energian mittaus

Sitä mitä ei ole mitattu ei tiedetä. Tuleeko järjestelmän mukana tuotetun energian mittaamiseen suunniteltu laitteisto ja saako sen helposti kytkettyä valvomoon.

Paremmat pisteet mitä paremmin valmistaja on ottanut asian huomioon.

Kriteerin painoarvoksi 90 %. ”Jotta pystymme tarkkailemaan järjestelmän toimintaa ja pystymme ennakoimaan ennen kuin jokin menee rikki on mittauspisteitä oltava tarpeeksi ja oikeaan paikkaan asennettuina”

Tuotettu energia

Paljonko laite pystyy ottamaan jätevedestä energiaa hyötykäyttöön. Tähän kriteerin vaikuttaa suuresti myös se onko järjestelmä toteutettu aktiivisesti vai passiivisesti.

Pisteytys tähän mitä suuremmalla hyötysuhteella laite pystyy tuottamaan lämpöenergiaa sitä suuremmat pisteet.

Kriteerin painoarvoksi 50 %. ”Riippuu paljon siitä mikä on talouden ja tekniikan kannalta järkevää. Pitää valita laite millä saadaan hyvä kate koko investoinnille.”

Takuu

Kuinka pitkän takuuajan valmista myöntää järjestelmilleen.

Sitä enemmän pisteitä, mitä pitempi takuu-aika on.

Kriteerin painoarvoksi 80 %. ”Pidempi takuu-aika kertoo laitevalmistajan luottamuksesta omiin järjestelmiinsä.”

Muiden käyttäjien arvostelu

Pisteytys siitä miten muut käyttäjät ovat arvostelleet saman valmistajan laitteistojen toimintaa.

Kriteerin painoarvoksi 30 %. ”Harvoin muut käyttäjät kertovat laitteistojensa todellisesta toiminnasta kaunistelematta niitä. Varsinkin jos järjestelmä toimii huonosti ei haluta myöntää toisille, että olisi tehty huono investointi. Usein myös järjestelmien asennus ja lisälaitteet eroavat huomattavasti toisistaan valmistajan ollessa sama, joten emme anna suurta painoarvoa tälle kriteerille.”

Tilan tarve

Kuinka suuren tilan järjestelmä ja siihen liitetyt komponentit sekä putkisto vie hallilta, niin että sitä pystyy vielä huoltamaan.

Paremmat pisteet mitä pienempään tilaan järjestelmä mahtuu kokonaisuudessaan.

Kriteerin painoarvoksi 90 %. ”Tilan tarve on hyvin tärkeää, koska uimahallilla on rajalliset tilat käytössään, eikä niitä pystytä järkevillä investoinneilla suurentamaan, jotta saataisiin jokin lisättävä laitteisto mahtumaan paremmin. ”

Käyttökustannukset

Esimerkiksi lämpöpumppu, automaattinen puhdistus, kiertoveden pumppaus ja mitaukset kuluttavat kaikki sähköenergiaa joista koituu koko ajan kustannuksia.

Mitä vähemmän koko järjestelmä aiheuttaa kuluja sitä paremmat pisteet.

Kriteerin painoarvoksi 90 %. ”Ainahan järjestelmän hyöty pienenee muiden kustannuksien noustessa. ”

Luotettavuus

Voiko järjestelmän toimintaan luottaa niin, ettei sen toimintaan tarvitse useasti kiinnittää huomiota.

Paremmat pisteet mitä vähemmällä huomiolla laite toimii.

Kriteerin painoarvoksi 80 %. ”Oikeanlaiset mittaukset ja valvomoon liitetty automaatio auttavat tässä ja pystytään varmistamaan järjestelmän toimivuus helposti. Ilman liitettyä automaatiota asettaisimme tämä tärkeudeksi täydet pisteet, mutta automaation helppottaessa päädyimme kyseiseen painoarvoon. ”

2.4.1 Tulokset

Vertailutaulukkoon on lisätty pisteytys muihin verrattuna siten, että parhaat pisteet saanut järjestellä saa täydet 10 pistettä ja seuraavien pisteet on suhteutettu ensimmäisen pisteisiin. Taulukkoon on jätetty 2 tyhjää kohtaa, jotta siihen voi käyttäjä lisätä haluamansa kriteereitä.

Taulukko 2. Järjestelmien vertailutaulukko

pisteitys 1-10	Valmistaja 1	Valmistaja 2	Valmistaja 3	Valmistaja 4	Kriteerin painoarvo	
					0 %	100 %
Hinta	9	7	7	6		30,00 %
Huollon tarve	9	8	8	9		90,00 %
Huollettavuus	8	7	7	7		90,00 %
Energian mittaus	8	7	9	6		90,00 %
tuotettu energia	7	6	8	6		50,00 %
Takuu	8	8	8	8		80,00 %
Käyttäjien arvostelut	8	7	8	7		30,00 %
Tilan tarve	8	6	8	6		90,00 %
Käyttökustannukset	9	8	7	7		90,00 %
Luotettavuus	8	7	7	8		80,00 %
						0,00 %
						0,00 %
Painoarvolla korjattu pisteitys	5,9	5,2	5,6	5,1		
Pisteitys verrattuna muihin	10,0	8,7	9,4	8,6		

Vertailun mukaan järjestelmä1 olisi paras vaihtoehto valituilla painoarvoilla.

3 MAHDOLLINEN JÄRJESTELMÄ KAARINAN UIMAHALLIIN

Tämän selvityksen aikana Kaarinan uimahallin tulevaisuudesta ei ollut vielä varmaa tietoa, mutta olettaen että päädytään remontoimaan vanha halli uuteen kuntoon, pyydettiin kahdelta laitevalmistajalta jotka olivat tilantarpeeltaan mahdollisia, tarjous heidän järjestelmistään nykyiseen halliin. Kohde esiteltiin valituille edustajille ja annettiin laskentaan lähtötiedot hallin toiminnasta.

3.1 Huomioitavaa ennen järjestelmän hankintaa

Suihkujen viemärointi

Osaan olevista laitteistoista voi johtaa harmaata sekä mustaa jätevettä, mutta toisiin ainoastaan harmaata jätevettä. Tällä hetkellä kohteessa vessojen viemärit ovat yhdistettyinä suihkujen viemärointiin, mutta halli joka tapauksessa remontoidaan perusteellisesti taikka puretaan uuden tieltä ja näissä kummassakin tapauksessa viemärointi voidaan uusida.

Mitä lähempää suihkutilat ovat toisiaan sekä lämmönvaihdinta sitä paremmalla hyötysuhteella saadaan järjestelmät toimimaan. Jos tilat ovat pitkän matkan päässä toisistaan ehtii vesi jäähtyä matkalla lämmönvaihtimelle. Myös virtaamien tasaisuus saadaan paremmaksi, jos suihkut ovat lähekkäin.

Viemäriputket pitää myös olla siinä määrin näkyvissä, että niihin pystytään muutoksia LTO:n yhdistämiseksi.

Järjestelmien tilan tarve

Laitteistojen tilantarve vaihtelee paljon ja onkin tärkeää ensin valmistaa uimahallista onko olemassa tilaa laitteistoille vai pitääkö luopua joistain muista järjestelmistä, jotta uudet saadaan mahtumaan. Peruskorjauksen myötä suurin osa jo olevista laitteista muuttuu nykyaikaisiin suuremman tilan vieviin järjestelmiin, eikä ylimääräistä tilaa ole

mahdollista järjestää, joten ellei uutta hallia rakenneta pitää valita mahdollisimman vähän tilaa vievistä järjestelmistä sopivin.

Jos tilaa on paljon käytettävissä ja voidaan järjestää suodattimen huuhteluista poistuvalla vedelle oma allas, mistä voidaan johtaa jätevettä lämmön talteenottolaitteistolle sopivana virtaamana, on järkevää tutkia sen kannattavuutta paremmin. Kohteessa ei ole tällaista tilaa saatavilla, mutta jos päädytään uuden hallin rakentamiseen kannattaa ottaa huuhteluviesien talteenotto parempaan tarkasteluun.

Mittauksen tärkeys

Osassa jo olevista järjestelmistä mitataan ainoastaan vesien lämpötiloja ja sitä kautta todetaan toimiiko järjestelmä hyvin vai huonosti. Jotta talteen otettua lämpöenergiaa voidaan seurata, on mittauspisteet asennettava vähintäänkin talteenottolaitteistoon menevälle sekä poistuvalla virtauksella ja lämpötilalle.

3.2 Tarjotut järjestelmät Kaarinan uimahalliin

Tilaaajan kanssa päädyttiin pyytämään kahdelta laitevalmistajalta tarjous jäteveden lämmöntalteenottojärjestelmästä joiden laitteet mahtuisivat kaukolämmönsiirtimen, sekä suihkujen viemäroinnin lähettyville. Laitevalmistajille toimitettiin lähtötiedot uimahallin vuosittaisista kaukolämmön-, ja veden kulutuksista sekä kävijämääristä.

Hallin tilojen ja toiminnan esittämiseksi järjestettiin molemmille tarjoajille kohde-esittely, missä käytiin myös läpi mahdollisuutta suodattimien huuhteluviesien talteenotolle.

Molemmat tarjoajat olivat sitä mieltä, ettei nykyiselle hallille ole järkevää suunnitella huuhteluviesien lämmöntalteenottoa, mikäli ei pystytä järjestämään noin 15 m³ tilaa huuhteluviesien varastoinnille. Jos päädytään rakentamaan uusi halli kannattaa tällaiselle altaalle varata tilaa, koska sillä saataisiin tehostettua hankittavan laitteiston tehoa johtamalla myös huuhteluedet suihkujen LTO:n kautta.

Toinen tarjotuista järjestelmistä on aktiivinen eli lämpöpumpulla tehostettu ja toinen passiivinen eli pelkästään lämmönsiirrin. Aktiivinen järjestelmä oli tarjotuista huomattavasti kalliimpi vaihtoehto, mutta myös lämmöntuotto sekä sähkönkulutuksesta aiheutuvat maksut olivat tässä tarjouksessa huomattavasti suurempia.

Valitettavasti toinen laitevalmistajista kertoi laitteiston hintatiedot olevan ainoastaan myyjän ja ostajan välisiä, joten tässä selvityksessä ei kerrota järjestelmien hinnoista, vaan hintatiedot ja takaisinmaksuajat raportoidaan ainoastaan tilaajalle.

Aktiivisen järjestelmän tarjoaja kertoi laitteistonsa pystyvän vuodessa tuottamaan lämpöä jätevedestä noin 413 MWh kuluttaen samalla sähköä 110 MWh. Passiivisessa järjestelmässä sähköä ei kulu juurikaan muuhun kuin veden pumppaukseen niin sitä ei ole laskelmissa huomioitu, mutta lämpöä passiivinen järjestelmä tuottaisi noin 117MWh.

Molemmat järjestelmien tarjoukset esitetään tilaajalle, jotta he pystyvät päättämään miten asian kanssa edetään.

4 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää Kaarinan kaupungin kunnossapidolle, kuinka kannattavaa olisi sijoittaa jäteveden lämmöntalteenottolaitteistoon heidän uimahallissaan. Työn teki haasteelliseksi uimahallin aluksi monimutkaiselta tuntuva vedenkäsittely mistä kirjoittajalla ei ollut mitään tietoa ennen selvityksen aloitusta, sekä hyvin niukka lähdemateriaalin saatavuus, vaikka onhan näitä laitteita ollut jo Suomessakin kymmeniä vuosia. Tästä syystä pyrittiin ottamaan yhteyttä melkein jokaiseen Suomessa sijaitsevaan uimahalliin sekä kylpylään järjestelmien toiminnan ja ongelmien selvittämiseksi. Muutamasta hallista henkilökunta suostui haastateltavaksi, jotta saatiin tietoa järjestelmien toiminnasta ja ongelmista. Erästä uimahallista henkilökunta lähetti yhteystietoni asian tuntijalle kenestä oli suuri apu selvitystä tehdessä. Suuret kiitokset tästä!

Hankkiessa mitattua tietoa järjestelmien toiminnasta vertailua varten kävi ilmi, ettei kovin monessakaan kohteessa edes kiinnitetty huomiota siihen, miten laite toimii tai jos mittauslaitteisto oli olemassa ei siitä haluttu julkaista tietoa, eikä edes antaa niitä pelkästään tutkimuskäyttöön. Haastatteluista kuitenkin selvisi, ettei laitevalmistajien lupaukset olleet pitäneet paikkaansa ja moni oli siitä syystä sitä mieltä, ettei enää ikinä tule sijoittamaan jäteveden lämmöntalteenottoon penniäkään. Tämä on kovin harmillista, sillä haastatteluista selvisi myös, että on myös olemassa järjestelmiä mitkä toimivat oikein hyvin ja asiakkaat ovat tyytyväisiä.

Mielestäni järjestelmien toiminnasta olisi hyvä jakaa tietoa julkisesti, jotta laitteistot yleistyisivät. Tuntuu että osa alalla olevista laitevalmistajista taikka asentajista pelkää kilpailua ja siitä johtuen ei suostu järjestelmiensä toiminnasta pahemmin puhumaan. Onhan se ymmärrettävää koska Suomessa ei montakaan näihin järjestelmiin erikoistunutta ihmistä ole.

Materiaaleihin, sähköpostikeskusteluihin sekä haastatteluihin perustuen voi päätellä, että Suomessa on vielä todella monta uimahallia ja kylpylää missä ei ole lämmöntalteenottoa jätevesille. Olisikin hyvin kannattavaa tutkia lämmön talteenoton mahdollisuuksia näissä jokaisessa.

Järjestelmien toiminnan ja valvonnan kannalta olisi hyvin tärkeää hankkia asianmukaiset virtausten ja lämpötilojen mittaukset kohteisiin. Sitä mitä ei ole mitattu ei tiedetä, eikä siitä pysty luotettavaa tietoa jakamaan muiden käyttöön.

Jäteveden lämmöntalteenotossa ja sen hyötykäytössä jokainen kohde on erilainen ja järjestelmän hankinnan kannattavuuteen vaikuttaa moni seikka, joten yhtä simppeleä keinoa ei ole olemassa mistä näkisi suoraan kannattaako investointi. Mutta mikäli kiinteistössä on vuosittain suuri veden kulutus ja siitä on vielä suurin osa lämmintä vettä kannattaa ryhtyä pohtimaan olisiko sinne kannattavaa suunnitella ratkaisua millä toteuttaa hanke.

Kaarinan kannattaisi investoida Suihkujäteveden lämmöntalteenotto järjestelmään, ellei uimahallia pureta ja rakenneta uutta, koska hankittujen tarjousten mukaan takaisinmaksuaika investoinnille olisi vain muutamia vuosia. Investointia suunniteltaessa oli myös

hyvä harkita jäteveden kierrätyksen mahdollisuuksia. Nopeimpaan säästöön he pääsivät uusimalla kaikki suihkut nykyaikaisiin, missä olisi mahdollisuus säätää virtaamaa nykyistä alemmaksi n. 12 l/min.

LÄHTEET

Energiatehokkuuden käsikirja. Uimahalliportaali. Viitattu 12.4.2021. https://www.uimahallipor-taali.fi/files/Energiatehokkuuden_parantaminen_Printattava_versio.pdf

Tekes 2013. Lämpöenergiaa jätevedestä - katsaus nykytilanteeseen ja mahdollisuuksiin. Viitattu 13.4.2021.

Rakennustieto 2019. Uima-allasvesien käsittely. RT 103095. Viitattu 15.4.2021. <https://kortis-tot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103095>

Ympäristöministeriö 2007. D1 Suomen rakennusmääräyskokoelma Kiinteistöjen vesi- ja viemäri laitteistot Määräykset ja ohjeet 2007. Helsinki: Ympäristöministeriö Asunto- ja rakennusosasto. Viitattu 18.4.2021. https://www.finlex.fi/data/normit/28208/D1_2007.pdf

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus 315/2002 uimahallien ja kylpylöiden allasvesien laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista. Viitattu 15.4.2021. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2002/20020315>

Hemmilä, K & Laitinen, A 2018, Tavoitteena nollaenergialiikuntarakennukset. VTT Technology, no. 320, VTT Technical Research Centre of Finland. Viitattu 25.4.2021 <http://www.vtt.fi/inf/pdf/technology/2018/T320.pdf>

Ylen uutinen 2013. 30sekuntia uimahallin suihkussa riittää. Viitattu 25.4.2021 <https://yle.fi/uutiset/3-6534487>

Ylen uutinen 2015. Viitattu 1.5.2021 <https://yle.fi/uutiset/3-7767838>

Kaukolämpötilasto 2005. Viitattu 15.4.2021 https://energia.fi/files/1197/kaukolampotilasto2005julkaisu_0.pdf

Motiva, laskukaavat, lämmin käyttövesi. Viitattu 20.5.2021. https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Motiva Energiatehokas lämmitys ja lämmöntalteenottojärjestelmä. Viitattu 12.5.2021. https://www.motiva.fi/files/7812/Energiatehokas_Lammitys_LTO_KOULUTUSAINEISTO.pdf

Motiva Lämpöpumput ja hybridiratkaisut. Viitattu 15.5.2021. https://energianeuvonta.fi/wp-content/uploads/2019/02/Motiva-Oy_L%C3%A4mp%C3%B6pumput-ja-hybridiratkaisut.pdf

Kaarinan kaupungin kunnossapidon ja kiinteistönhoidon haastatteluja. Toukokuu 2021.

Luottamukselliset keskustelut käyttäjien kanssa, joita ei julkaista kirjastokappaleessa.

- 20.5.2021
- 12.3.2021
- 25.4.2021
- 3.5.2021
- 4.5.2021

Luottamukselliset keskustelut asiantuntijoiden kanssa, joita ei julkaista kirjastokappaleessa.

- 27.2.2021
- 15.3.2021
- 18.3.2021

- 25.4.2021
- 3.5.2021
- 20.5.2021

Ecopal

- Valmistajan toimittama tiedonanto
- <https://www.ecopal.fi/ecowec>

Karzasol

- Valmistajan toimittama tiedonanto
- <https://www.karzasol.fi/kayttoveden-lammon-talteenotto/>

Therm-X

- Valmistajan toimittama tiedonanto
- <https://www.termihaukka.fi/thermx/>

Finess

- Valmistajan toimittama tiedonanto
- <https://finess.fi/>