

Energiatehokkuuden parantaminen lämminvesi- intensiivisissä kiinteistöissä

Jäteveden lämmön talteenotto ja
vaiheittainen käyttöveden lämmitys

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Ympäristötekniikka
Ympäristönsuojelutekniikka
Opinnäytetyö
Syksy 2016
Taru-Tiina Kalliokuusi

Lahden ammattikorkeakoulu
Ympäristötekniikka

KALLIOKUUSI, TARU-TIINA: Energiatehokkuuden parantaminen
lämmivesi-intensiivisissä
kiinteistöissä
Jäteveden lämmön talteenotto ja
vaiheittainen käyttöveden lämmitys

Ympäristönsuojelutekniikan opinnäytetyö, 35 sivua

Syksy 2016

TIIVISTELMÄ

Lämmivesi-intensiivisten kiinteistöjen energiatehokkuuden parantamista tutkittiin Senera Oy:n toimeksiannosta. Senera on maalämpöjärjestelmiin ja energiatehokkuutta parantaviin laitteistoihin erikoistunut yritys. Viime vuosien aikana Senera on kehittänyt laitteistot jäteveden lämmön talteenottoon sekä käyttöveden vaiheittaiseen lämmittämiseen lämpöpumpun avulla.

Kahdesta tai kolmesta tutkimuskiinteistöstä oli tarkoitus mitata ja analysoida käytännössä toteutuneet energiansäästöt ja hiilidioksidipäästövähennykset Suomen olosuhteissa. Käytännön tutkimusta ei kuitenkaan ehditty tekemään vaaditussa aikarajassa, joten se tehdään opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

Edellä mainitusta syystä käytännön tutkimustuloksista ei voitu vielä tehdä johtopäätöksiä. Kuitenkin aiheen teoreettinen tutkimus osoitti, että jäteveden talteenotolla ja veden vaiheittaisella lämmittämällä energiatehokkuutta on mahdollista parantaa kiinteistöissä, joissa lämmintä vettä kulutetaan paljon.

Asiasanat: jäteveden lämmön talteenotto, lämpöpumppu, käyttövesi, käyttöveden lämmitys, energiatehokkuus, hiilidioksidipäästöt

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Environmental Technology

KALLIOKUUSI, TARU-TIINA: Improving energy efficiency in hot
water intensives real estates
Sewage heat recovery and gradual
hot water heating

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering 35 pages

Autumn 2016

ABSTRACT

This study was commissioned by Senera Oy. The aim was to improve the energy efficiency in real estates that are hot water intensives. Senera is specialized in geothermal heat systems and equipment that improve energy efficiency. In recent years, Senera Oy has developed sewage heat recovery and gradual hot water heating technologies.

The purpose was to measure and analyze reduced energy consumption and carbon dioxide emissions in practice in a couple of real estates situated in Finland. The practical part of the study is not finished yet.

However, the theoretical analysis comes to conclusion that by sewage heat recovery and gradual hot water heating system it is possible to improve energy efficiency in real estates that consume a lot of hot water.

Key words: sewage heat recovery, heat pump, service water, service water heating, energy efficiency, carbon dioxide emissions

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LÄMPÖENERGIATASE JA VEDENKULUTUS KIINTEISTÖISSÄ	3
2.1	Saneerattavat asuinrakennukset	3
2.2	Uudet asuinrakennukset	4
2.3	Muiden rakennusten arviointi	5
3	RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN KEINOJA	8
3.1	Rakennuksen lämmitys	8
3.2	Veden lämmitys	9
3.3	Sähkö	9
3.4	Muita keinoja	10
4	JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO	11
4.1	Järjestelmät ja lämmön lähteet	11
4.2	Jätevesilämpölaitokset	12
4.3	Jäteveden lämmön talteenotto kiinteistön sisällä	13
4.4	Energiatehokkuuspotentiaali ja siihen vaikuttavat tekijät	14
4.5	Suunnittelu	16
4.6	Riskit	16
4.7	Vaikutukset	18
5	KÄYTTÖVEDEN VAIHEITTAINEN LÄMMITYS	19
5.1	Lämpöpumpun toimintaperiaate	19
5.2	Vaiheittainen käyttöveden lämmitys	20
5.3	Senera Oy:n KVVV-laitteisto ja sen soveltuvuus	21
6	LAINSÄÄDÄNTÖ SUOMESSA	22
6.1	Rakentamismääräykset	22
6.1.1	Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto	23
6.1.2	Käyttöveden vaiheittainen lämmityslaitteisto	24
6.2	Painelaitelaki	24
6.3	Kylmäaineita koskeva asetus	25
6.4	Sähköturvallisuuslaki	25
6.5	Laki rakennuksen energiatodistuksesta	25
7	KANNATTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	27

7.1	Öljyn hintakehitys	27
7.2	Tuet	28
8	KÄYTÄNNÖN TUTKIMUKSET	30
9	YHTEENVETO	31
	LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Kiinteistön energiatehokkuuden parantamisen motiivina ovat usein taloudelliset säästöt. Energiankäytön optimoinnilla vähennetään aina myös kasvihuonekaasupäästöjä – erityisesti jos energia tuotetaan fossiilisilla polttoaineilla. Nykyään kansainvälistä ilmastopolitiikkaa hallitsevat Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ilmastopöytäkirja ja sen mekanismit sekä Euroopan Unionin ilmastotavoitteet. Uusimpana ja laajimpana ilmastopöytäkirjana marraskuussa 2016 astui voimaan myös Pariisin ilmastopöytäkirja. Ilmastopoliittiset päätökset kannustavat valtioita, kuluttajayhteisöjä ja yksittäisiä kuluttajia valitsemaan ilmastoystävällisiä energiaratkaisuja: uusiutuvien energianlähteiden lisäksi panostetaan yhä enemmän energiankulutuksen vähentämiseen sekä hukkaenergian hyödyntämiseen.

Jäteveden lämpö on hyödynnettävissä olevaa lähi- ja hukkaenergiaa, jonka kannattavuuden arviointia ei tule ohittaa uudisrakennusten energiasuunnittelussa ja saneerauskiinteistöjen energiaremonteissa. Kiinteistöissä, joissa lämmintä talousvettä käytetään paljon, viemäriveden lämpöenergian määrä on merkittävä. On arvioitu, että Suomessa vuosina 1950 – 1970 rakennetuista elementtikerrostaloista 21-24 % lämmöstä kulkeutuu viemäriin kautta ulos rakennuksesta (Rakennusteollisuus 2012). Jäteveden lämmön talteenotto (JVLTO) tuo lisää vaihtoehtoja energiatehokkuuden kehittämiseksi ja kasvihuoneilmiön hillitsemiseksi. (Tekes 2013, 55.) Tässä opinnäytetyössä käytännön tutkimuskohteena toimii kiinteistön sisällä toimiva jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto.

Toisaalta runsas lämpimän veden kulutus lisää myös veden lämmittämisen tarvetta. Käyttöveden vaihteittainen lämmitys (KVVL) on uusi sovellus, jolla parannetaan veden lämmityksen energiatehokkuutta. Alhaiseen lauhtumislämpötilaan perustuvaa tekniikkaa on käytetty pitkään mm. lämpöpumpuissa ja jäähdyttimissä, mutta vaihteittaiseen käyttöveden lämmittämiseen sitä ei ole tietävästi aiemmin käytetty. Senera Oy on kehittänyt laitteiston parantamaan maalämpöjärjestelmiensä vuosihyötysuhdetta (SCOP, Seasonal Coefficient of Performance).

Jäteveden lämmön hyötykäyttöä ja käyttöveden vaiheittaista lämmittämistä voidaan soveltaa uusiin tai saneerauskohteisiin, ja niitä voidaan käyttää yhdessä tai erikseen. Niiden toimivuus ja energiatehokkuus ovat parhaimmillaan lämminkäyttövesi-intensiivisissä kohteissa, eli sellaisissa kiinteistöissä, joissa lämpimän jäteveden määrä ja käyttöveden lämmityksen tarve ovat suuria ja mahdollisimman jatkuvia. KVVL-järjestelmästä on yrityksen toimeksiannosta tehty jo yksi opinnäytetyö (Sivula 2016), ja tämä opinnäytetyö on osittain jatkoa Sivulan työlle. Molemmille laitteistoille on aloitettu myös Suomen mittakaavan markkinakartoitus.

Opinnäytetyön päämääränä oli kerätä Senera Oy:n kehittämien JVLTO- ja KVVL-laitteistojen käytännön mittaustuloksia Suomeen asennetuista kohteista ja analysoida energiatehokkuuden toteutumista. Laitteistojen tiedetään lisäävän kiinteistöjen energiatehokkuutta, mutta käytännön kokemusta ja mittaustuloksia niistä on vielä vähän. Tietoja tullaan hyödyntämään lämmitysjärjestelmien jatkokehittämisessä ja markkinoinnissa.

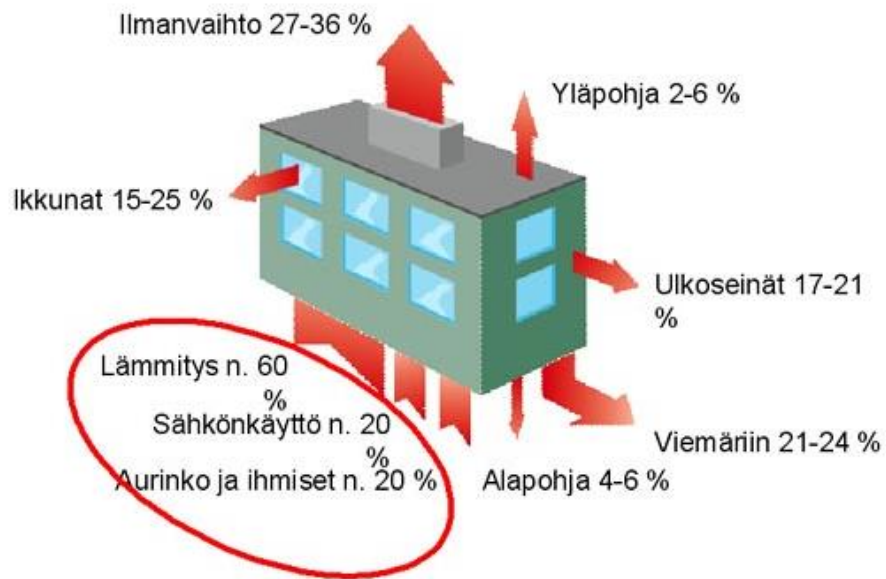
2 LÄMPÖENERGIATASE JA VEDENKULUTUS KIINTEISTÖISSÄ

Lämmitysenergiaa käytetään tilojen ja ilman lämmitykseen sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen. Pääasiassa lämpöä tuotetaan lämmitysjärjestelmällä tai lämpöpumpulla, mutta sen lisäksi rakennukseen saadaan lämpöä talousenergiasta sekä ihmisistä ja auringonsäteilystä. Lämpöenergiaa poistuu rakennuksista johtumalla rakenteiden kautta sekä poistumalla ilmanvaihdon ja jäteveden mukana. Pitkällä aikavälillä sama määrä lämpöä, joka rakennukseen päästetään, tulee sieltä myös ulos. (Lappalainen 2010, 45.)

Vedenkulutus ja lämpöenergian tarve ovat paljolti riippuvaisia kiinteistön tarkoituksesta ja iästä. Saneerauskohteissa mitoituserusteina voidaan käyttää todelliseen mittaukseen perustuvia arvoja sekä arvioita mahdollisen muutostyön aiheuttamista vaikutuksista. Uudiskohteita varten on olemassa suuntaa antavia arvoja mm. Motiva Oy:n (2015 a) taulukoissa sekä Suomen rakentamismääräyskokoelman osissa D3 ja D5. Suunnittelijat ja rakennuttajat voivat käyttää myös muita tilanteeseen päteviä arvioita, jotka täyttävät rakentamismääräyskokoelman vaatimukset.

2.1 Saneerattavat asuinrakennukset

Suomalainen kerrostaloasuja kuluttaa vettä keskimäärin 165 litraa vuorokaudessa, jos laskutus ei perustu huoneistokohtaiseen mittaukseen. Jos huoneiston vedenkulutusta mitataan, kulutus on keskimäärin 40 litraa vähemmän. (Lappalainen 2010, 47.) Lämpimän käyttöveden (55 °C) osuus asuinrakennusten kokonaisvedenkulutuksesta on Motivan (2015 a) mukaan noin 40 %. Kun tähän lisätään vielä pesukoneista ym. kodinkoneista tuleva koneiden lämmittämä jätevesi, lämpimän jäteveden osuus jäteveden kokonaismäärästä voi kasvaa vielä suuremmaksi. Kuviossa 1 on arvio yleisimmän suomalaisen kerrostalon lämpötaseesta. Ilmanvaihdon jälkeen toiseksi suurin lämpövuoto tapahtuu viemärin kautta.

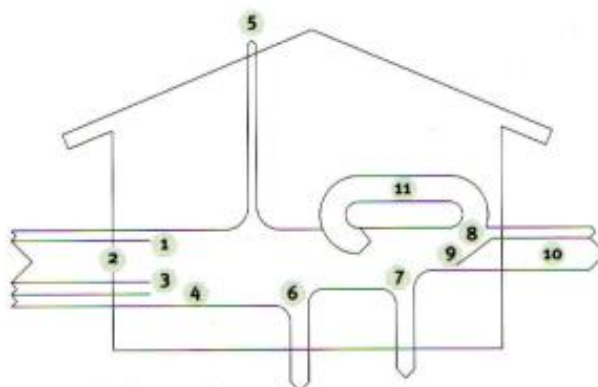


KUVIO 1. Tyypillisen 1950-70 -luvun kerrostalon lämpöenergiatase (Rakennusteollisuus 2012)

2.2 Uudet asuinrakennukset

Uudisrakentamisessa pyritään matala-, passiivi- ja nollaenergiataloihin, joissa primäärienergian tarve on alhainen. Kuviossa 2 esitetään suuntaa antava energian virtauskaavio nykyaikaisissa taloissa. Hyvin eristetyissä taloissa veden lämmitykseen kuluvan energian suhteellinen osuus kokonaislämmitysenergiatarpeesta voi olla jopa yli puolet (Sivula 2016, 17).

Energian lähteet:	Energian kulutus:
1. Auringon säteilylämpö	5. Hyödyntämättä jäävä ilmaisenergia
2. Laitteet	6. Tekniset häviöt
3. Ihmiset	7. Käyttöveden lämmitys
4. Varsinainen lämmitysenergia	8. Ilmanvaihdon lämpöhäviöt
	9. Vuotoilman lämpöhäviöt
	10. Rakennuksen vaipan lämpöhäviöt
	11. Ilmastoinnin lämmön talteenotto



KUVIO 2. Lämpöenergiavirtojen jakautuminen matalaenergiatalossa (Lappalainen 2010, 46)

2.3 Muiden rakennusten arviointi

Suurissa kiinteistöissä, jotka eivät ole asumiskäytössä, lämpöenergiatase ja vedenkulutus jakautuvat kussakin eri tavalla riippuen kiinteistön tarkoituksesta. Kun on kyseessä veden lämmöntalteenotto ja veden lämmityksen energiatehokkuus, tarkastelun kohteena ovat lähinnä lämminvesi-intensiiviset kiinteistöt. Tällaisia voivat olla esimerkiksi erilaiset teollisuuslaitokset, sairaalat ja muut hoitoalan rakennukset, suuret majoitustilat, uimahallit ja kylpylät, suurkeittiöt, suuret liikekiinteistöt, autopesulat, kalankasvattamot sekä jätevedenpuhdistamot.

Kokonaislämmönkulutus rakennustilavuutta kohti (bruttokuutio) on suurinta uimahalleissa ja kylpylöissä ja seuraaviksi vertailussa sijoittuvat rivitalot ja hoitoalan rakennukset (taulukko 1). Uimahallien ja kylpylöiden ominaiskulutusarvo on Kankaanpään tekemästä selvityksestä ja muut arvot ovat Lappalaisen Energia- ja ekologiakäsikirjasta. Suhteellinen vedenkulutus on suurinta uimahalleissa, erilaisissa terveydenhuollon rakennuksissa ja majoitusliikerakennuksissa (taulukko 2).

Lämmönkulutuksen intensiteetin ja vedenkulutuksen lisäksi JVLTO- ja KVVV-laitteistojen soveltuvuuteen vaikuttavat myös monet muut tekijät, kuten kiinteistön lämpöpotentiaali ja lämmön tarve ja lämpimän veden kulutus.

TAULUKKO 1. Lämmön keskimääräinen ominaiskulutus bruttotilavuutta kohden eri tyyppisissä kiinteistöissä (Lappalainen 2005, 47, Ruokojoen ja Motivan mukaan; Kankaanpää 2016 a)

	Lämmön kulutus kWh/brm ³
Omakotitalot	52
Rivitalot	57
Kerrostalot	50
Koulut	38
Hoitoalan rakennukset	56
Toimistot ja virastot	36
Muut julkiset rakennukset	32
Uimahallit ja kylpylät	81

TAULUKKO 2. Veden ominaiskulutuksia eri rakennustyypeissä (Motiva 2016)

	Veden ominaiskulutuksen mediaani, dm ³ /r-m ³
Liike- ja tavaratalot, kauppakeskukset	42
Majoitusliikerakennukset	289
Toimistorakennukset	58
Terveystoimintarakennukset (pois lukien terveyskeskukset ja -asemat)	296
Terveyskeskukset ja -asemat	149
Huoltolaitosrakennukset (pl. vanhainkodit)	206
Vanhainkodit	279
Päiväkodit	218
Urheilu- ja kuntoilurakennukset (pl. jää- ja uimahallit)	51
Uimahalli	1108
Yleissivistävien oppilaitosten rakennukset	70
Ammatillisten oppilaitosten rakennukset	61

Kankaanpään (2016 b) tekemän taulukon mukaan käyttöveden lämmittämiseen tarvittava lämpöenergia ei ole kaikissa uimahalleissa ja kylpylöissä samassa suhteessa veden kulutuksen kanssa. Tämä ilmiö

puoltaa tapauskohtaisen arvioinnin tarpeellisuutta arvioitaessa kiinteistöjen energiatehokkuustoimenpiteitä. Esimerkiksi kymmenen eniten vettä kuluttavan uimahallin lämpimän käyttöveden osuus kokonaislämpöenergiasta vaihteli 290-2800 MWh vuodessa. Vedenkulutus kyseisissä uimahalleissa vaihteli 44000-145000 kuution välillä. Eniten vettä kuluttanut uimahalli ei ollut kuitenkaan eniten lämpöenergiaa vaatinut kohde. Vedenkulutuksen ja lämmöntarpeen vaihtelut rakennustyyppin sisällä johtuvat erilaisista käyttötavoista ja -ajoista, varustelutasojen vaihteluista sekä rakennusten ja vesikalusteiden iästä ja kunnosta (Lappalainen 2010, 48).

3 RAKENNUSTEN ENERGIA TEHO KUUDEN PARANTAMISEN KEINOJA

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi etenkin uudisrakentamisessa laki velvoittaa minimoimaan rakennuksen laskennallisen kokonaisenergiankulutuksen eli E-luvun. Rakennusten käyttötarkoitusten mukaan jaoteltujen eri rakennusluokkien korkeimmat sallitut E-luvut on kirjattu Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 kohtaan 2.1.4. Vanhoissa kiinteistöissä, joiden elinkaari ei ole lopussa, on usein taloudellisesti kannattavaa pyrkiä energiatehokkuuteen, vaikkei se aina olisikaan lain velvoittamaa. Kiinteistön kokonaisenergiankulutusta voidaan vähentää monin eri keinoin, ja se voidaan jakaa kolmeen energiankulutuksen osa-alueeseen: rakennuksen lämmitykseen, veden lämmittämiseen ja sähkөөn.

3.1 Rakennuksen lämmitys

Rakennuksen lämmitysenergian tarvetta voidaan vähentää ensinnäkin jo suunnitteluvaiheessa optimoimalla rakennuksen koko ja tilat käyttötarkoitukseen sopiviksi. Lisäksi lämpöenergian tarpeeseen voidaan vaikuttaa muun muassa rakennuksen sijoittelulla (maaston muodot), auringon lämpösäteilyn hyödyntämisellä, vaipan tiiveydellä ja hyvällä eristämällä, rakennusosien (seinät, yläpohja, alapohja ja perustukset) olosuhteisiin sopivilla materiaaleilla, ikkunatyypillä, rakennuksen muodolla, sijainnilla sekä suuntauksella. Hyödyntämällä rakennuksesta poistuvaa hukkalämpöä ilmasta tai vedestä voidaan saada merkittävää lämpöenergiatehokkuutta, vaikka hukkalämpöä on mahdotonta poistaa kokonaan. Toisaalta ilmastoinnin, lämmön jakamisen, lämpötilojen ja muun energiankulutuksen optimoinnilla voidaan saada pienellä vaivalla merkittäviä säästöjä. (Lappalainen 2010, 26-44.)

Erityisesti rakennuksen vaipan tiiveyteen yhdistetään usein homeriski, joka voi saattaa rakennuksen käyttökelvottomaksi. Suomen rakentamismääräyskokoelmaa uudistetaan parhaillaan, ja sen tavoitteena on vähentää rakennuksista aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä erityisesti

energiankulutuksen osalta. Tampereen teknillisen yliopiston rakennusfysiikan professori Vinha yhdessä monien kuluttajien ja valvovien viranomaisten kanssa on huolissaan siitä, että kiristävillä rakentamismääräyksillä ei tavoiteta pitkäikäisiä rakennuksia. (Jaakkonen 2016.) Rakennusten mahdollisesti lyhyt käyttöikä kasvattaa kasvihuonepäästöjä vastoin uudistuvien rakentamismääräysten tavoitteita. Energiankulutusta ei pitäisi vähentää terveyden ja asumisviihtyvyyden kustannuksella.

3.2 Veden lämmitys

Lämpimän veden energiankulutus määräytyy vesimäärän, putkiston eristyksen laadun ja käyttövesiverkoston liitettyjen lämmityslaitteiden summaksi. Lappalaisen (2010, 137) mukaan lämpimän käyttöveden aiheuttaman energiantarpeen pienentämiseksi voidaan tehdä muun muassa seuraavia toimia: lämminvesiputkien eristys, vesikalusteiden huolto ja päivittäminen nykyaikaisiin kalusteisiin, lämpimän käyttöveden ylimmän lämpötilan säätäminen optimaaliseksi, veden lämpötilojen tasaaminen kiertovesijohdollisissa rakennuksissa, säätökeskuksen uusiminen, huoneistokohtaisten vesimittareiden asentaminen ja käyttötottumusten muuttaminen.

Lisäksi veden lämmitysjärjestelmällä on oleellisia vaikutuksia energiankulutukseen. Veden lämmittämiseen voidaan hyödyntää myös ilmanvaihdon tai jäteveden hukkalämpöä ja siten vähentää primäärienergian tarvetta. Vanhoissa rakennuksissa lämpimän käyttöveden kiertojohtojen lämpöhäviöt voivat olla yhtä suuria käyttöveden lämmitykseen tarvittavan energiamäärän kanssa (Motiva 2015 a). Lämpöhäviöiden lisäksi käyttöveden energiansäästömahdollisuuksia kannattaa tarkastella veden lämmityksen osalta.

3.3 Sähkö

Sähköä kuluu rakennuksissa laitteisiin, kodinkoneisiin, valaistukseen ja joskus myös lämmitykseen. Kotitalouksissa voidaan helposti valita

energiatehokkaita kodinkoneita ja lampuja. Asuinkiinteistöjen lisäksi muissakin kiinteistöissä voidaan laitteistojen ja koneiden automaatiolla ja niiden mahdollisella päivittämisellä saavuttaa suuria energiasäästöjä. Sähkön tarvetta voidaan vähentää myös esimerkiksi sähkölämmitteisessä rakennuksessa käyttämällä sähkön rinnalla jotain muuta lämmitysmuotoa tai vaihtamalla koko lämmitysjärjestelmä.

3.4 Muita keinoja

Energian kustannus- ja ympäristösäästöjä sekä huoltovarmuutta voidaan saada myös pienentämällä ostoenergian tarvetta tuottamalla itse lähienergiaa esimerkiksi aurinkopaneeleilla, lämpöpumpuilla tai tuulivoimalla (Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry 2014, 10-11). Uusiutuvien ja senkaltaisten lähienergioiden hybridikäyttö on nykypäivää ja tulevaisuutta. Hybridienergialla tarkoitetaan sitä, että energiaa kerätään pienistä osittain eriaikaisista lähteistä. Lämmöntalteenotto (LTO) ja lämpöpumppu voivat toimia hybridienergianlähteinä muiden energianlähteiden kanssa.

Rakennuksen tai saneerauksen suunnitteluvaiheessa oleelliseksi tekijäksi nousee myös tulevaisuuden kehityksen ennustaminen ja siihen varautuminen: rakennuksen käyttötarkoitus tai sen käyttäjien energiankulutustottumukset voivat muuttua. Toisaalta eri energianlähteiden hintojen kehitys vaikuttaa lämmitysjärjestelmien valintaan, ei pelkästään niiden energiankulutus. Suunniteltaessa energiaremonttia vanhaan rakennukseen kannattaa yhden remontin aikana puuttua useampaan energiansäästömahdollisuuteen. Näin yhdellä isommalla remontilla saataisiin mahdollisimman suuri hyöty ja uudistukset aiheuttaisivat mahdollisimman lyhyen poikkeustilan rakennuksen käytölle.

4 JÄTEVEDEN LÄMMÖNTALTEENOTTO

Jäteveden lämmön hyötykäyttö ja tutkimus ovat Suomessa vielä melko vähäisiä verrattuna esimerkiksi Ruotsiin tai Sveitsiin. Yksi merkittävä edistysaskel Suomessa oli vuonna 2010 innovaatorahoittaja Tekesin Vesi-ohjelman (2008-2012) järjestämä signaalisessio, jonka innoittamana Vesi-ohjelmassa lähdettiin selvittämään asiaa Suomen näkökulmasta. Vuonna 2013 julkaistuun katsaukseen koottiin tietoa teknologiasta, laitetoimittajista, toteutuneista JVLTO-kohteista sekä projektisuunnitteluun ja taloudellisuuteen liittyviä näkökulmia. (Tekes 2013, 1.)

Jäteveden lämmöstä saatetaan puhua uusiutuvana energianlähteenä. Kuitenkaan Euroopan Unionin uusiutuvan energian direktiivin (RES-direktiivi) ja Suomen kansallisen energiatukirahituksen näkökulmasta sitä ei luokitella uusiutuvaksi energianlähteeksi, vaikka sillä korvattaisiin fossiilisten polttoaineiden käyttöä. (Salminen 2011, 23.) Toisaalta se on hyödynnettävissä olevaa lähi- ja hukkaenergiaa, jonka kannattavuuden arviointia ei tule ohittaa uusissa tai saneerauskiinteistöissä.

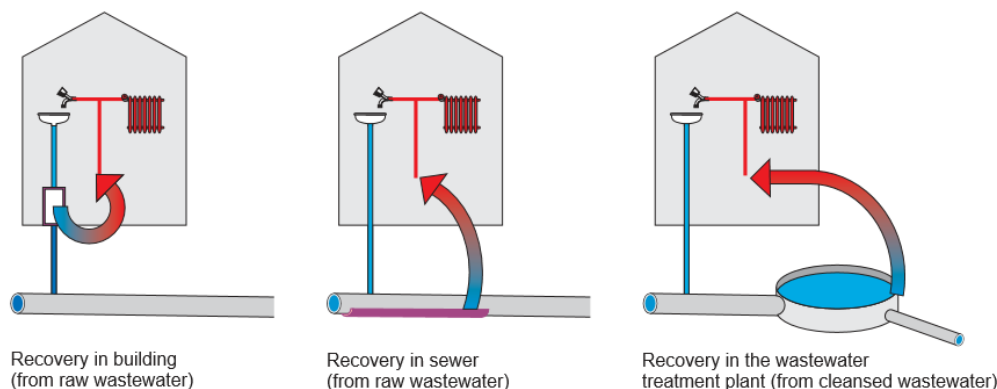
4.1 Järjestelmät ja lämmön lähteet

Jäteveden lämpöä voidaan hyödyntää käyttämällä pelkkiä lämmönsiirtimiä (passiivinen järjestelmä) tai lämmönsiirtimien ja lämpöpumpun yhdistelmää (aktiivinen järjestelmä). Lämpöpumpun avulla energiantuotannon hyötysuhde saadaan korkeammaksi ja lämpöä voidaan paremmin tuottaa keskitetysti ja jakaa hajautetusti. Samalla kuitenkin investointikustannukset nousevat.

Jäteveden lämpöä on mahdollista ottaa talteen kolmesta erityyppisestä lähteestä (kuvio 3):

1. puhdistamattomasta jätevedestä kiinteistön sisällä
2. puhdistamattomasta jätevedestä pääviemäristä ennen jätevedenpuhdistamo
3. puhdistetusta jätevedestä jätevedenpuhdistamolla.

Kiinteistöjen sisäisistä mustan jäteveden LTO-järjestelmistä rakennetaan usein passiivisia, ellei lämpöpumppua käytetä kiinteistössä myös muuhun lämmittämiseen. Kahdessa kuvion 3 jälkimmäisessä tapauksessa on usein aktiivinen järjestelmä, ja jätevedestä saatua energiaa hyödynnetään myös kiinteistön tai laitoksen ulkopuolella.



KUVIO 3. Jäteveden lämpöä voidaan ottaa talteen kolmesta erityyppisestä lähteestä (Tekes 2013, 6; SwissEnergy 2005 mukaan)

JVLTO-laitteistojen laaja käyttö Suomessa vaatii kuitenkin lähivuosina vielä lisää tutkimusta, informaatiota, yhteistyötä ja tahtoa (Tekes 2013, 55). Suomen kaikista yli 400 vesilaitoksesta vain muutamalla jätevedenpuhdistamolla on käytössä jätevesilämpöpumppu ja muissakaan potentiaalisissa kiinteistöissä JVLTO ei ole vielä kovin yleistä. Kansainvälisen WasteWaterHeat -projektin yhteydessä tehdyn ruotsalaiselvityksen mukaan lämpöpumppujärjestelmä jäteveden lämmön talteenottoon on kannattavaa silloin, kun lämpöenergian tarve on 100 – 200 kW. Passiiviseen järjestelmään suositellaan puolestaan vähintään 10 kW lämpöenergian tarvetta. (Energikontor Sydost 2016, 18-19.)

4.2 Jätevesilämpölaitokset

Jätevedenpuhdistamojen yhteydessä puhdistettua jätevettä hyödyntävät lämpölaitokset ovat useimmiten kannattavia. Niissä lämmön

talteenottopotentialiaali on suuri ja purkuveden lämpötilan lasku voi olla vastaanottavalle vesistölle hyödyllistä etenkin kesäaikaan. Sen vaikutus on kuitenkin suurinta talvella, kun kiinteistöjen lämmöntarve on suurimmillaan ja vesi on samanaikaisesti kylmimmillään.

Jätevedenpuhdistamolla voidaan laitoksen oman tarpeen ylittävä lämpömäärä syöttää kaukolämpöverkkoon, jos sellainen on saatavilla kohtuullisen lähellä. Jätevesilämpölaitoksen kannattavuutta voidaan olosuhteiden salliessa kasvattaa myös kaukojäähdytyksellä. (Tekes 2013, 31.) Myös esimerkiksi monilta teollisuuslaitoksilta syntyy jatkuvasti lämmintä jätevettä, joka pahimmassa tapauksessa johdetaan suoraan vesistöön.

Pääviemäreiden jäteveden lämmön talteenotosta ei ole tiedossa kotimaisia toteutuneita hankkeita. Suomessa on tehty yksi selvitys lämpölaitoksesta pääviemäriin, ja sen mukaan lämmön talteenotto oli kannattavampaa jätevedenpuhdistamolla puhdistetusta jätevedestä kuin mustasta viemäriverdestä. Kannattavuuteen vaikuttivat merkittävästi mustan veden vaatimat investoinnit kuten suodatus- ja välppäyslaitteistot. (Tekes 2013, 31.) Kuitenkin muualta Euroopasta löytyy runsaasti esimerkkikohteita, joissa viemäreistä otettu lämpö on taloudellisesti kannattavaa (Tekes 2013, 20). Esimerkiksi Sveitsissä ollaan erittäin hyvin perillä jäteveden lämpöpotentialista, ja jätevesilämpöpumpun rakentaminen on jopa pakollista siellä, missä se on kannattavaa (Tekes 2013, 3). Kannattavuusvertailussa on huomioitava myös se, että Keski-Euroopassa talvi on lyhyempi ja talviaikaan jätevesi on lämpimämpää kuin Suomessa.

4.3 Jäteveden lämmön talteenotto kiinteistön sisällä

Kiinteistökohtaisissa lämmön talteenottojärjestelmissä etuna on se, että lämmön lähde ja tarve sijaitsevat lähekkäin, jolloin etäisyydestä ei aiheudu merkittäviä lämpöhäviöitä. Jätevesi on lämpimintä heti viemäriin saavuttua, asuinrakennuksissa se on 20 - 30 °C (Energikontor Sydost 2016, 4). Tyypillisesti kiinteistöissä käytetään passiivisia järjestelmiä, joissa lämpö otetaan talteen joko kiinteistön omasta viemäristä ennen

kunnallistekniikkaan yhdistymistä tai suoraan pesuvesistä, esimerkiksi suihkun alle asennetulla lämmönvaihtimella. Aktiivinen lämmön talteenottojärjestelmä kiinteistössä on kannattavaa lähinnä silloin, kun lämpöpumppua käytetään myös muuhun lämmöntuotantoon. Saatua lämpöenergiaa voidaan siirtää teollisuusprosesseihin ja prosessivesiin, talous- ja pesuvesiin, allasvesiin, ilmanvaihtoon ja kiinteistön muuhun lämmitysjärjestelmään.

4.4 Energiatehokkuuspotentiaali ja siihen vaikuttavat tekijät

Energiansäästön potentiaaliin vaikuttavat olennaisesti jäteveden lämpötila, virtaama sekä LTO-laitteiston ja putkiston lämpöhäviöt. Jäteveden korkeampi lämpötila sekä suurempi virtaama vaikuttavat positiivisesti lämpöpotentiaaliin. Tekesin (2013, 6) mukaan hankkeen suunnitteluvaiheessa vedenkulutuksen ja lämpötilan arviointi sekä niiden kehityksen ennustaminen ovat merkittäviä, sillä huolellisella arvioinnilla voidaan taata laitteiston toiminta koko sen elinkaaren aikana. Energiatehokkuuden varmistamiseksi virtauksen tulisi olla myös mahdollisimman jatkuvaa. Etenkin aktiivisessa järjestelmässä virtauskatkot vaikuttavat kannattavuuteen: lämpöpumpun käynnistäminen vaatii suhteellisen paljon energiaa eikä sitä kannata sammuttaa lyhyen käyttökatkon ajaksi.

Lämpöhäviöt laitteista, putkista ja varaajista laskevat jonkin verran energiategokkuuspotentiaalia, ja etenkin vanhoissa rakennuksissa kiertojohtojen lämpöhäviöt voivat olla merkittäviä (Motiva 2015 a). Veden kiintoainepitoisuus vaikuttaa käytännössä laitteiston toimintavarmuuteen, mutta ei sen tehoon. Rakentamismääräyskokoelman osan D3 kohdassa 4.4.2 esitetyt määräykset lämpöhäviöiden huomioimisesta lämmitysjärjestelmän energiankulutuslaskelmissa koskevat uudiskohteita. Saneerauskiinteistöissä lämpöhäviöt tulee laskennallisesti arvioida viimeistään laadittaessa energiatodistusta.

Jäteveden lämpöpotentiaali voidaan yksinkertaistetusti laskea kaavalla 1 (Tekes 2013, 2). Taulukossa 3 on lähtötietoja ja tulos kuvitteellisen 45

asunnon kerrostalon jäteveden lämpöpotentiaalista. Saadulla 31,5 TW energiamäärällä voisi esimerkiksi lämmittää 2700 m³ 5 °C lämpöistä vettä 15-asteiseksi.

$$Q = m * c_p * \rho * \Delta T \quad (1)$$

jossa

- Q [kW] energia
- m [l/a] jäteveden määrä vuodessa
- c_p [kJ/kg°C] jäteveden ominaislämpökapasiteetti
- ρ [kg/l] jäteveden ominaispaino
- ΔT [°C] lämpötilaero

TAULUKKO 3. Teoreettinen jäteveden lämpöpotentiaali 45 asunnon kerrostalossa

Asuntojen määrä, kpl, 2 asukasta/asunto	45
Veden kulutus, litraa/asukas/päivä	165
Veden kulutus, litraa/vuosi	5 420 250
Veden ominaispaino, kg/l	1
Jäteveden massa, kg/vuosi	5 420 250
Veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C	4,19
Lämmön talteenotto eli ΔT , °C	5
Talteen otettu jäteveden lämpöenergia, MJ/vuosi	113 554 238
Talteen otettu jäteveden lämpöenergia, kWh/vuosi	31 542 844
Talteen otettu jäteveden lämpöenergia, MWh/vuosi	31 543

Energiansäästöpotentiaali voi nousta suureksi esimerkiksi elintarviketeollisuudessa, sillä siellä tarvitaan usein sekä jäähdytystä että lämmitystä. Erityisesti lämpöpumppuja käytettäessä hyötysuhde kasvaa sitä suuremmaksi mitä pienempi on lämmönlähteen ja -kohteen lämpötilaero. (Huhtakangas 2008). Lämpöpumpun toimintaperiaatetta kuvataan tässä työssä sivuilla 19-20.

Kotitalouksissa vesimäärät ovat pieniä, joten niissä voidaan hyödyntää pienempiä laitteita, jolloin lämpöenergian kokonaissäästö jää myös kohtalaisen pieneksi. Esimerkiksi markkinoilla on joitakin suihkukaapin alle asennettavia LTO-laitteita, joita hyödynnetään suihkuveden lämmittämiseen. Tämän tyyppisillä laitteilla voidaan saada alle sadan euron säästö vuodessa henkilöä kohden (Salminen 2015, 94). Tarkasteltaessa takaisinmaksuaikoja kotitalouksiin soveltuvan LTO-laitteen hinta voidaan kuitenkin kattaa syntyvillä säästöillä kohtalaisen nopeasti (Salminen 2015, 46).

4.5 Suunnittelu

Aina jäteveden lämmön talteenoton suunnitteluvaiheessa on selvitettävä edellytykset sen rakentamiselle. Ensimmäinen edellytys on jo tämän työn alussa esitetty riittävä lämpimän jäteveden määrä eli käytännössä lämpimän veden kulutus ja jatkuvuus. Muita alkuvaiheen suunnittelun näkökohtia ovat kohteen lämpötilat, sijainti, järjestelmätyypin valinta (aktiivinen vai passiivinen), mahdolliset luvat, sopimukselliset asiat eri osapuolten kesken, eritelty kustannusarvio, rahoitus, tukimahdollisuudet sekä ympäristönäkökohdat. (Tekes 2013, 39.) Kiinteistön omaan käyttöön hyödynnettävä JVLTO-laite vaatii vähemmän viranomaisten tai muiden osapuolten kuulemista kuin lämpölaitoksen perustaminen.

4.6 Riskit

Taulukossa 4 kuvataan lämmön talteenottolaitteistojen riskejä. Käytettäessä lämmönvaihdinta yksinään lämmön talteenottolaitteiston riskit ovat pienet. Jos rinnalle lisätään lämpöpumppu, riskinä voi olla, että energiaa kuluu jopa enemmän kuin ilman lämpöpumppua. Kiinteistön sisäisessä JVLTO-järjestelmässä lämpöpumpun investointi- ja käyttökustannukset pienenevät huomattavasti, jos lämpöpumppua käytetään muuhunkin kuin JVLTO-laitteistoon. (Salminen 2015, 38-39). Suunnitteluvaiheen mahdollisimman todenmukaiset tiedot ja laskelmat ovat merkittävässä asemassa riskien kartoittamisessa ja minimoimisessa.

TAULUKKO 4. Lämmön talteenottolaitteiston riskit (Salmisen 2015, 38-40 mukaan)

Syy	Riskit		Riskin pienentäminen
	Lämmönvaihdin (passiivinen)	Lämmönvaihdin + lämpöpumppu (aktiivinen)	
Epäsäännöllinen puhdistaminen	Voi alentaa laitteiston tehoa	Voi alentaa laitteiston tehoa	Säännöllinen / automaattinen puhdistus
Laiminlyöty puhdistus	Tukkeuma → putkiliitosten pitämättömyys	Tukkeuma → putkiliitosten pitämättömyys	Säännöllinen / automaattinen puhdistus
Suuret partikkelit jätevedessä / olosuhteisiin sopimaton malli	Laitteen hajoaminen → laitteen korjaaminen / uusinta	Laitteen hajoaminen → □ laitteen korjaaminen / uusinta	Olosuhteiden ja jäteveden laadun analysointi jo suunnitteluvaiheessa
Automaatiikan puute	-	Laitteiston käytön optimointi ei onnistu → ei saavuteta energiansäästöä	Automaatiikan asentaminen ja käyttö
Liian pieni tai epäsäännöllinen virtaus, vähäinen lämmön tarve	Takaisinmaksuaika pitenee	Takaisinmaksuaika pitenee	Automaatiikka, oikeanlaisen laitteiston valitseminen
Huoltopalvelut	Käyttökustannukset kasvavat → takaisinmaksuaika pitenee	Käyttökustannukset kasvavat → takaisinmaksuaika pitenee	Huolto hoidetaan osittain itse, automaattipuhdistus

Edeltävässä taulukossa kuvattujen riskien lisäksi pääviemäreihin asennetut LTO-laitteistojen pelätään laskevan jäteveden lämpötilaa niin paljon, että se häiritsee typen poistoa jätevedenpuhdistamalla. Keski-Euroopassa asiaa on tutkittu ja todettu, että useimmiten siellä missä jätevesilämpölaite on kannattavaa, jätevedenpuhdistamon toiminnalle ei koidu kohtuutonta haittaa. Sieltä saatujen kokemusten perusteella alle 0,5 °C lämpötilan lasku viemäriin jätevedessä voi olla kannattavaa JVLTO-järjestelmän rakentamiseksi. (Tekes 2013, 38). Suomessa tilanne voi tosin olla toinen pohjoisen sijainnin ja osittain pitkien siirtoviemäreiden aiheuttaman alhaisemman jäteveden lämpötilan vuoksi. Etenkin Pohjois-Suomessa puhdistamolle saapuva jätevesi on harvoin yli 12 °C, joka on edellytys nitrifikaation onnistumiselle. (Tekes 2013, 7; Etelämäki, Rantanen & Valve 2003, 20.)

4.7 Vaikutukset

Merkittävimmät vaikutukset jäteveden lämmöntalteenotolla ovat energiansäästö ja sen tuomat kustannussäästöt ja hiilidioksidi (CO₂) -päästöjen vähenemä. Säästöjen suuruus ja takaisinmaksuaika riippuvat pitkälti hankkeen koosta, energian hinnasta ja mahdollisesta rahoitustuesta. CO₂-päästöjen pienenemiseen vaikuttaa hankkeen koon lisäksi kiinteistön lämmitysmuoto: Jos lämpö tuotetaan pääasiallisesti maalämmöllä, jossa päästöt ovat pienet, niin lämmön talteenoton ilmastovaikutukset ovat myös pienet. Puolestaan jos lämmönlähteenä on korkeapäästöinen öljylämmitys, niin lämmön talteenoton ympäristövaikutukset kasvavat suuriksi.

5 KÄYTTÖVEDEN VAIHEITTAINEN LÄMMITYS

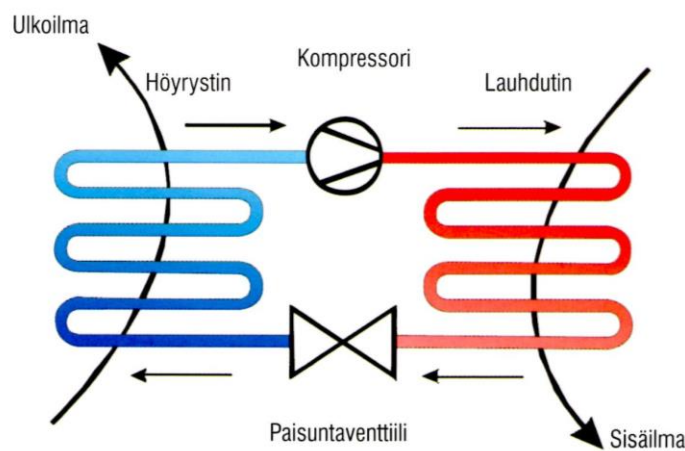
Fysiikan lämpöopin mukaan yhden vesikuution lämmittämiseen tarvitaan noin 58 kWh nettoenergiaa, kun veden lämpötila nostetaan 5 °C:sta 55 °C:een. Nettoenergialla tarkoitetaan lämmitysjärjestelmän hyötysuhteen ja polttoaineen tai lämmön lähteen energiasisällön tuloa (Lappalainen 2010, 45). Kuitenkin lämpöpumpun avulla primääriseen energian tarvetta voidaan pienentää oleellisesti. Saatava lämpöenergian määrä voi olla kolminkertainen tai parhaimmillaan optimaalisissa olosuhteissa lähes viisinkertainen alun perin kulutettuun primäärienergian määrään verrattuna.

Käyttöveden vaiheittainen lämmitys (KVVL) perustuu lämpöpumpun toimintaan ja vaatii aina lämpöpumpun. Se on alun perin kehitetty parantamaan maalämpöjärjestelmien energiatehokkuutta, mutta sitä voidaan käyttää muidenkin lämpöpumppujen kanssa. Lämpöpumpun hyödyntäminen veden lämmitykseen parantaa lämpöpumpun vuosihyötysuhdetta, jos rakennuksen ilma lämpenee vesikiertoisella lämpöpumppujärjestelmällä: kesällä ilman lämmityksen tarve on pieni, joten lämpöpumppu lämmittää vain osateholla, veden lämmittäminen lämpöpumpulla tuo kesäisin lämmitystehontarvetta.

5.1 Lämpöpumpun toimintaperiaate

Nestemäinen kylmäaine sitoo lämpöä kaasuuntuessa ja vastaavasti kaasun jäähtyessä kylmäaine luovuttaa lämpöä (kuvio 5). Lämpöpumpun höyrystimellä alhaisessa paineessa kylmäaine höyrystyy lämmitessään lämmönlähteen vaikutuksesta. Hyvällä kylmäaineella on alhainen kiehumispiste, jota edelleen lasketaan madaltamalla painetta höyrystimellä. Kylmäaineena käytetään tavallisesti metaanin tai etaanin johdannaisia, joissa on fluoria, bromia tai klooria. Lämmön lähteenä voivat toimia ulkoilma, poistoilma, maaperä, auringon säteily, jätevesi tai vesistö. (Perälä 2013, 28-29; Harju 2010, 175-176.)

Kaasuuntumisen jälkeen kompressori puristaa kylmäaineen korkeampaan paineeseen, mikä aiheuttaa sen kuumenemisen. Kuumentunut kylmäaine johdetaan lauhduttimeen, jossa lämpö siirtyy kylmäainetta alhaisempaan lämpötilaan, ja kylmäaine jäähtyy tiivistyksen jälleen nesteeksi. Jäähtynyt kylmäaine kulkeutuu höyrystimelle paisuntaventtiilin kautta, jossa sen paine ja lämpötila laskevat. Paisuntaventtiilin tehtävä on jakaa laite matala- ja korkeapaineisiin sekä annostella oikea määrä kylmäainetta höyrystimelle. (Perälä 2013, 28-29; Harju 2010, 175-176, 182.)



KUVIO 5. Lämpöpumpun toimintakuvaus (Perälä 2013, 28)

5.2 Vaiheittainen käyttöveden lämmitys

Yleisesti tiedetään, että lämpöpumpun hyötysuhde on suurempi silloin, kun lämmönlähteen ja lämmitettävän kohteen lämpötilaero on mahdollisimman pieni. Tämä perustuu alhaisemman lauhtumispaineen tuomaan hyötysuhteen (COP, Coefficient of Performance) kasvuun: mitä matalampi lauhtumispaine on lauhduttimella, sitä enemmän saadaan lämpöenergiaa. (Sivula 2016, 27.)

Lämpöpumput on optimoitu toimimaan sekä höyrystimen että lauhduttimen osalta tietyn lämmönsiirtimen yli olevan lämpötilaeron mukaan. Höyrystimen osalta tulevan ja palaavan lämmönkeruuliuksen lämpötilaero on tyypillisesti 3–5 K, kun taas lauhduttimella tulevan ja lähtevän veden lämpötilaero on tyypillisesti 7 K. (Sivula 2016, 27).

Senera Oy kehitti laitteiston, jossa veden lämmitys aloitetaan tuloveden lämpötilasta ja sitä lämmitetään aina edellä mainitun lauhduttimella olevan lämpötilaeron verran kerrallaan eli noin 7 astetta jokaisessa vaiheessa. Erilämpöiset vedet pidetään lämmityksen ajan toisistaan erillään. (Sivula 2016, 27-28.)

5.3 Senera Oy:n KVVV-laitteisto ja sen soveltuvuus

KVVV-laitteistossa on kaksi lämminvesivaraajaa, joista toinen lämmittää varaajassa olevaa vettä ja toinen on valmis käytettäväksi. Lämpimän käyttöveden kierrosta aiheutuvia häviöitä varten siinä on vielä erillinen varaaja, joka lämpenee kuumakaasuvaihtimen kautta saatavalla lämmöllä. (Sivula 2015, 27.) Sivulan mukaan (2015, 31) teoreettisesti ideaalisissa olosuhteissa toimivan käyttöveden vaiheittaisen lämmityslaitteiston vuosihyötysuhde SCOP on 4,49. Sivula täsmentää kuitenkin, että käytännön kohteet poikkeavat optimaalisista olosuhteista, joten vuosihyötysuhde vaihtelee tapauskohtaisesti.

Senera Oy:n KVVV-laitteisto soveltuu asuinrakennusten lisäksi myös muihin lämminvesi-intensiivisiin kohteisiin, kuten uimahalleihin, sairaaloihin, autopesuloihin, kalankasvattamoille ja pesuloihin. Toisen lämminvesivaraajan ansiosta vedenkulutuksen ei ole välttämätöntä olla tasaista, mikä parantaa laitteiston hyödynnettävyyttä. Laitteisto on kehitetty Suomessa ja täyttää kotimaassa asetetut määräykset.

6 LAINSÄÄDÄNTÖ SUOMESSA

Kiinteistökohtaiset veden lämmitys- ja jäteveden lämmöntalteenottolaitteistojen käyttö ei ole itsessään luvanvaraista, mutta saneeraustyöt ja rakentaminen voivat muilta osin vaatia rakennuslupaa. Suomessa maankäyttö- ja rakennuslain rakennusmääräyskokoelma, kylmäaineita koskeva asetus sekä sähköturvallisuuslaki ohjaavat JVLTO-laitteiden rakentamista, asentamista ja käyttöä. Lämpöpumppuja koskevat kylmäaineita koskeva asetus, painelaitelaki ja sähköturvallisuuslaki (Harju 2010, 182; Perälä & Perälä 2013, 83). Seneran laitteet on suunniteltu Suomen olosuhteisiin ja ne täyttävät Suomen lain asettamat vaatimukset. Erityisesti suunnittelu- ja asentamisvaiheessa tulee kuitenkin vielä huomioida tilan tarve, sijoittelu sekä riittävän tehokas laite.

Jäteveden LTO-laitteisto ei tuo rakennuksen julkisivuun muutoksia. Lämpöpumppujen ulkoyksiköt saattavat kuitenkin paikkakunnasta riippuen vaatia kunnan toimenpideluvan. Ruotsissa veden lämpötilan saa laskea samaan lämpötilaan kuin se on kiinteistöön tullutkin (Energikontor Sydost 2016, 13; svenskt Vattenin julkaisemien vesi- ja viemärlaitosten yleisten sopimusehtojen P94 ABVA mukaan). Suomessa vastaavaa määräystä ei ainakaan vielä ole. Paikallisen vesihuoltolaitoksen lupaehtojen täytyminen on syytä varmistaa aina jo suunnitteluvaiheessa.

6.1 Rakentamismääräykset

Suomen Rakentamismääräyskokoelma (RakMk) perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin. Sitä sovelletaan Suomessa kaikessa uudisrakentamisessa sekä korjausrakentamisessa ”vain siltä osin kuin toimenpiteen laatu ja laajuus sekä rakennuksen tai sen osan mahdollisesti muutettava käyttötapa edellyttävät”, ellei määräyksessä toisin mainita (RakMk D1, kohta 1.1). Rakentamista koskevat asetukset on osittain päivitetty ja loput tullaan päivittämään vuoteen 2018 mennessä. Kokoelma sisältää määräyksiä ja ohjeita, joista määräykset ovat velvoittavia. Ympäristöministeriön antamat ohjeet eivät ole velvoittavia, vaan määräykset voidaan toteuttaa myös muilla tavoin. (Edilex 2016.)

RakMk:n osassa D1 on määräyksiä ja ohjeita kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteisiin ja osio D3 käsittelee rakennusten energiatehokkuutta. Osiossa D3 rakennustyyppit on jaettu käyttötarkoituksen mukaan yhdeksään eri luokkaan, joiden mukaan määräysten soveltaminen on määritelty. RakMk D5 sisältää ohjeita rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskentaan. Nykyisissä rakentamismääräyksissä ei oteta kantaa jäteveden lämmöntalteenottoon kuten ilmanvaihdon lämmöntalteenottoon: osio D3 (kohta 2.6.2) määrää talteen otettavaksi tai muulla tavoin pienennettäväksi 45 % ilmanvaihdon lämmityksen vaatimasta lämpömäärästä.

6.1.1 Jäteveden lämmöntalteenottolaitteisto

Rakentamismääräyskokoelmassa määrätään jäteveden lämmön talteenottoon liittyen erityisesti seuraavia asioita:

- Suunnittelu- ja asennusvaiheessa on ennaltaehkäistävä terveydellinen vaara, hajut, tulva tai muut haitat
 - o asianmukaiset materiaalit ja liitokset takaamaan kestävyyttä
 - o viemäriin liitettävät laitteet eivät saa liikaa kuormittaa viemäriä tai aiheuttaa melua (RakMk D1 2007, kohta 4.1).
- Viettoviemäriin liitetty laite on sijoitettava padotuskorkeuden yläpuolelle: jos se ei ole mahdollista, jätevesi tulee esimerkiksi pumppaamalla nostaa ylemmäksi (RakMk D1 2007, kohta 4.2.2).
- Sijoittelussa tulee huomioida viemäriin korjattavuus tai vaihto, ja jätevesilaitteiston puhdistettavuus ja huollettavuus tulee taata (RakMk D1 2007, kohdat 4.3, 4.4, 4.5).
- Lämmitysjärjestelmän lämmitysteho tulee mitoittaa, niin että lämmityskaudella lämpö voidaan pitää tietyllä tasolla. Lämmitystehon mitoituksessa ei huomioida rakennuksen sisäisiä eikä auringon säteilyn lämpökuormia. (RakMk D3 2012, kohta 2.7.)
- Lämmitysjärjestelmän energiankäytön laskennassa tulee huomioida järjestelmän ja rakennuksen lämpöhäviöt, lämpökuormat sekä apulaitteiden sähkönkulutus, ja saadut tulokset esitetään

uudisrakennuksille laadittavassa energiaselvityksessä (RakMk D3 2012, kohdat 4.4.2, 5.1).

6.1.2 Käyttöveden vaiheittainen lämmityslaitteisto

Käyttöveden vaiheittaista lämmitystä koskevat erityisesti seuraavat määräykset:

- Vesilaitteistosta ei saa aiheutua haittaa tai vaaraa. Sen tulee olla teknisiltä ominaisuuksiltaan ja materiaaleiltaan käyttövarma, kestävä ja hygieeninen. Tiiveys ja paineenkestävyys tulee taata. (RakMk D1 2007, kohdat 2.1, 2.2, 2.3, 2.6.)
- Lämpimän käyttöveden tulee pysyä laitteistossa 55 - 65 asteisena (RakMk D1 2007, kohta 2.3.8).
- Laitteiston tilantarve ja huollettavuus tulee huomioida. Siihen on asennettava myös tärkeimmät toimintaa kuvaavat mittarit. (RakMk D1 2007, kohdat 2.4.2, 2.6.5.)
- Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarve lasketaan määräyksessä esitetyn kunkin rakennusluokan taulukkotiedon mukaan (RakMk D3 2012, kohta 3.4).
- Kiertovesijohtojen ja varaajien laskennallisista lämpöhäviöistä puolet lasketaan rakennuksen sisäiseksi lämpökuomaksi (RakMk D3 2012, kohta 3.3.6).

6.2 Painelaitelaki

Laitteen markkinoille tuova taho on vastuussa painelaitteen suunnittelusta ja valmistamisesta niin, että laite voidaan rakentaa, hoitaa, sijoittaa, käyttää ja tarkastaa niin, ettei se vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta. Painelaitteen omistajan ja haltijan tulee huolehtia sen käytöstä, tarkastuksista ja valvonnasta. (Painelaitelaki 869/1999, 3 §, 6 §, 10 §.)

6.3 Kylmäaineita koskeva asetus

Valtioneuvoston asetus otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huollosta (452/2009) säättää kylmäaineiden talteenotosta ja kylmäainelaitteiden huollosta. Kylmäaineiden parissa työskentelevillä henkilöillä tulee olla asianmukainen koulutus tai riittävä työkokemus kylmäaineista. Alle kolme kiloa kylmäainetta sisältävien laitteiden kohdalla vaatimukset ovat lievempiä kuin isommilla laitteilla. (Vna 452/2009, 2 §.)

6.4 Sähköturvallisuuslaki

Nykyinen sähköturvallisuuslaki määrää, että sähkölaitteiden jokaisessa elinkaaren vaiheessa tulee varmistaa, ettei niistä koidu vaaraa elämälle tai omaisuudelle, kohtuutonta sähkömagneettista häiriötä tai helposti toimintahäiriöitä. Myös sähkölaitteiden korjaus- huolto- ja asennustöitä tekevällä on oltava riittävä ammattitaito. Sähkölaitteistoille, joissa on mahdollisesti sähkölaitteiden lisäksi myös muita komponentteja muodostaen yhden toiminnallisen kokonaisuuden, vaaditaan käyttöönottotarkastus laitteiston rakentajan toimesta. (Sähköturvallisuuslaki 410/1996, 5 §, 8 §, 17 §, 19 §.)

Sähköturvallisuuslaki on ollut eduskunnassa uusittavana sen hajanaisuuden ja epäjohdonmukaisuuden vuoksi. Merkittäviä uusia säädöksiä ei ole tiedossa, mutta sähköturvallisuuslainsäädännön rakennetta tullaan muuttamaan selkeämmäksi. (Hallituksen esitys 116/2016 vp, 17-18.)

6.5 Laki rakennuksen energiatodistuksesta

Vain lain rakennuksen energiatodistuksesta (50/2013) 12 § mukainen pätevä henkilö on oikeutettu laatimaan rakennuksen 8-sivuisen energiatodistuksen, joka vaaditaan nykyisin kaikilta lämmitettäviltä rakennuksilta tiettyjä poikkeuksia lukuun ottamatta. Todistus on voimassa kymmenen vuotta ja sen hankkimisesta vastaa pääsääntöisesti

rakennuksen omistaja. Lain tavoitteena on parantaa kiinteistöjen energiatehokkuuden vertailtavuutta. Uudisrakennuksissa se tulee laatia jo suunnitteluvaiheessa ja tarvittaessa tarkentaa vielä ennen rakennuksen käyttöönottoa. Julkisissa rakennuksissa energiatodistuksen energiatehokkuutta kuvaava luokitteluasteikko tulee olla selvästi nähtävillä. Vanhoissa kiinteistöissä energiatodistus tulee laatia viimeistään ennen myynti- tai vuokraustilannetta. (Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013, 1-3 §, 6-8 §.)

Ympäristöministeriön asetuksessa rakennusten energiatehokkuudesta (176/2013) ja sen liitteissä annetaan tarkempia ohjeita energiankulutuksen laskentaan ja todistuksen laadintaan. Asetuksen liitteiden 1 ja 2 mukaan E-luvun laskennassa käytetään myös rakennusmääräyskokoelmassa esitettyjä luokitteluja, taulukoita ja kaavoja. Asetuksen liitteen 1 kohdassa 1 lämpöpumppujen lämmönlähteestä ottama energia luokitellaan uusiutuvaksi omavaraisenergiaksi, ja E-lukuun huomioidaan se osa, joka vähentää ostoenergiantarvetta.

Jäteveden lämmöntalteenoton huomioimiseen E-luvussa ei ole erillisiä ohjeita niin kuin ilmanvaihdon lämmöntalteenotolle. E-luvun laskennassa hyödynnettävässä RakMk:n osion D5 kaavassa 3.18 huomioidaan $Q_{kv,LTO}$, joka voidaan tulkita myös jäteveden lämmöntalteenottona. Jäteveden lto-järjestelmällä voidaan siis pienentää E-lukua, kunhan todistuksen laatija dokumentoi laskentatavan todistuksen lisätietoihin.

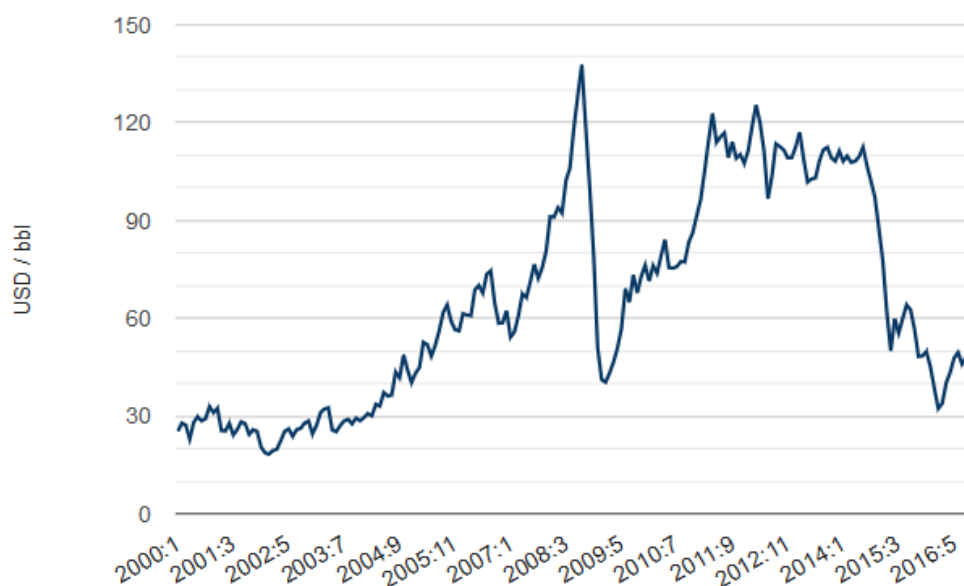
7 KANNATTAVUUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Toimenpiteen kannattavuus tulee laskea jo suunnitteluvaiheessa. Energiatehokkuustoimenpiteen avulla saavutettavilla säästöillä tulee kattaa kohtuullisessa ajassa laitteiden, asennustöiden, käytön ja mahdollisen lainan kustannukset, minkä jälkeen se alkaa tuottaa säästöä. Käyttäjän omia investointikustannuksia voidaan vähentää erilaisilla rahoitustuilla, jolloin takaisinmaksuaika lyhenee. Erityisesti uusien teknologioiden, joista käytännön kokemusta on vähän, valitseminen voi vaatia kannustimeksi ulkopuolista rahoitusta. Tietyt tahot myöntävät rahoitustukea ympäristölle hyödyllisiin hankkeisiin tehdäkseen hankkeista taloudellisesti kannattavia.

JVLTTO- ja KVVV-laitteiden taloudelliseen kannattavuuteen vaikuttavat vaihtoehtoisen tai edeltävän energianlähteen ja sähkön hinnat sekä hintojen kehitys. Erityisesti JVLTTO-laitteistossa kannattavuuteen vaikuttavat myös laitteiston hyötysuhde, lämpöenergia ja lämpöenergian tarve sekä niiden kohtaaminen. Myös laitteistojen asennuksen ajankohta sekä muut mahdolliset samanaikaiset remontit voivat joissain tapauksissa vaikuttaa kannattavuuteen ja mahdollisten tukien saatavuuteen. Lämpölaitoksissa lämpöenergia lisäksi kannattavuuteen vaikuttavat etäisyys lämmön lähteen ja kohteen välillä sekä kaukojäähdytyksen mahdollisuus.

7.1 Öljyn hintakehitys

Öljyn maailmanmarkkinahinta on ollut viime vuosina matala kuvion 6 mukaisesti: viimeisin raju halpeneminen alkoi syyskuussa 2014. Öljyn hinnan on odotettu tänä vuonna hieman nousevan, mutta pitkäaikaisia ennustuksia on vaikea tehdä (Länkinen 2016, Reutersin AFP:n ja AP:n mukaan; Melender 2016, Arvopaperin mukaan). Korkea öljyn hinta parantaa energiateräkkötoimenpiteen kannattavuutta silloin, kun öljy on vaihtoehtoinen tai edeltävä energianlähde.



Kuvio 6. Raakaöljyn hinnan kehitys (Öljy- ja biopolttoaineala ry 2016; The Oil Market Journal'n ja Thomson Reuters'n mukaan)

7.2 Tuet

Valtio tarjoaa energiatukea yrityksille, kunnille ja yhteisöille. JVLTO- ja KVVV-laitteet voivat kuulua tämän tuen piiriin. Hakemukset tehdään ELY-keskukselle, ja sen kanssa tukien myöntämisestä päättää työ- ja elinkeinoministeriö. Uudisrakentamisessa tukea myönnetään vain uusille teknologioille. Saneerauskohteissa puolestaan tukea ei myönnetä, jos hankkeessa siirrytään kaukolämmöstä lämmön erillistuotantoon eli esimerkiksi vaihdettaessa kaukolämpö maalämpöön. (Motiva 2015 b.)

Aikaisemmin energia- ja korjaustukea ovat myöntäneet kunnat ja Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA). Vuoden 2017 alusta energia-avustusta ei enää myönnetä ja korjaustukea myöntää vain ARA. (ARA 2016). Tältä osin tukea ei siis voi enää JVLTO- ja KVVV-laitteistojen hankintaan saada. Myöskään verotuksen kotitalousvähennystä ei voi saada remontista, joka on taloyhtiön vastuulla. Lämmitysjärjestelmät ovat yhtiöjärjestyksissä useimmiten taloyhtiön vastuulla eivätkä siten ole taloyhtiöissä kotitalousvähennyskelpoisia. Verotuksessa voi kuitenkin

saada kotitalousvähennyksen, jos huoneiston tai rakennuksen omistaja (henkilö tai kuolinpesä) vastaa remontoinnista. Esimerkiksi omakotitalon omistajalla ja talossa asuvalla puolisoilla on mahdollista saada kodin lämmitysjärjestelmän asennuskustannuksista ja remontoinnin työn osuudesta yhteensä korkeintaan 4800 € verovähennystä.

Euroopan energiatehokkuusrahostolta, eli European Energy Efficiency Fundilta (EEEF), voi hakea valmistelurahoitusta sekä investointirahoitusta suuriin hankkeisiin, jotka liittyvät suoraan tai välillisesti energiatehokkuuteen ja energiansäästöön. Ehtoina rahoitukselle ovat 20 % primäärienergiensäästö ja teknologian toimivuuden todistaminen aiemmilla hankkeilla. Jäteveden lämmön talteenotossa investointi ei yksin yllä vaadittuun 5-25 miljoonan euron haarukkaan, mutta se voi olla yksi osa kiinteistön energiaremonttia, johon tukea haetaan. EEEF rahoitus on tarkoitettu viranomaisille ja niiden puolesta toimiville yrityksille. Deutsche Bank on yksi vaikuttavimmista toimijoista EEEF:ssa. (EEEF 2016). Vuoden 2016 syyskuussa pankin vakavaraisuuden horjumisesta uutisoitiin laajasti (Malinen, Sirkanen & Välimäki 2016). Pankin vaikeuksien vaikuttavuutta tukiin on vaikea arvioida.

Tekes auttaa suomalaisia yrityksiä mm. niiden innovatiivisissa tutkimus- ja kehitystoimintahankkeissa. Senera Oy ja muut senkaltaiset yritykset voivat hakea Tekesiltä rahoitustukea uusien teknologioiden kehittämiseen ja tutkimusyhteistyöhön tuotekehittelyn vauhdittamiseksi. (Tekes 2016.)

8 KÄYTÄNNÖN TUTKIMUKSET

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli laskea, kuinka paljon energiaa ja ilmastopäästöjä KVVV- ja JVLTO-laitteilla on käytännössä säästetty. Mahdolliset vaikutukset kiinteistöjen E-lukuihin olisi myös arvioitu. Laskelmien tekeminen ei kuitenkaan onnistunut tälle opinnäytetyölle asetettujen aikarajojen sisällä. Tutkimuskohteiksi valittiin sellaiset kohteet, joissa JVLTO-laite ja KVVV-laite ovat erikseen asennettuna. Mahdollisesti olisi laskettu toteutuneet hyödyt myös kohteesta, jossa molemmat laitteet ovat käytössä. Käytännön tutkimustyö tehdään myöhemmin tämän opinnäytetyön jälkeen.

9 YHTEENVETO

Perustelut hukkalämmön hyödyntämiseen ja energiatehokkuuden lisäämiseen ovat jo olemassa. Lämminvesi-intensiivisten kiinteistöjen energiatehokkuuden osaamista ja tietoisuutta voidaan lisätä kouluttamisella, tiedottamisella ja toteutuneiden hankkeiden avoimella seurannalla. JVLTO- ja KVVV- laitteiden yleistymisen vaatii myös yhteistyötä ympäristöosaajilta, laitevalmistajilta, suunnittelijoilta, rakennuttajilta, rahoittajilta sekä päättäjiltä. Yhteistyön ja osaamisen lisääminen edellyttää myös eri toimijoiden motiivien kohtaamisen.

Erityisesti saneerauskohteissa energiatehokkuuden parantaminen kannattaa aloittaa sieltä missä taloudelliset ja ympäristön säästöt ovat suurimmat. Uudisrakentamisessa energiatehokkuustoimet on helpompia toteuttaa ja niissä voidaan pienemmällä vaivalla puuttua myös pienempiin energiansäästökohteisiin. Vesi ja vesilaitteet ovat potentiaalisia ja kannattavia energiatehokkuuden parantamisen kohteita erityisesti vesi-intensiivisissä rakennuksissa.

Vielä nykyisinkin esimerkiksi monilta teollisuuslaitoksilta virtaa lämmintä, talvisin höyryävää, vettä suoraan vesistöön. Laitokset eivät välttämättä itse tarvitse lämpöä ja se jää siksi hyödyntämättä. Rakentamismääräyksillä olisi mahdollista puuttua tällaisiin tilanteisiin esimerkiksi vaatimalla lämpimän jäteveden tuottajia kartoittamaan jäteveden lämpöpotentiaali ja sen hyödyntämismahdollisuudet. Kannatan Sveitsin käytäntöä siitä, että jäteveden lämmöntalteenotto on pakollista siellä, missä se on kannattavaa. Ympäristöhyötyjen vuoksi lämmöntalteenoton ei välttämättä aina tarvitse olla taloudellisesti tuottavaa, jos se on kuitenkin kannattavaa.

Jatkotutkimuksena ehdotan KVVV ja JVLTO-laitteiden tarkempaa soveltuvuuden arviointia, asentamista ja käytännön tulosten laskemista myös muissa kuin asuinrakennuksissa: pesuloissa, autopesuloissa, sairaaloissa, kalankasvattamoilla ja niin edelleen. Käytännössä todistettu hyöty kannustaa muitakin toimijoita vastaaviin toimenpiteisiin.

Käytännön energiatehokkuusmittausten jälkeen voisi olla hyvä teettää vastaavat mittaukset myös Motivan laboratoriossa. Näin saataisiin tieteellisesti tehokkaita argumentteja ja todistusaineistoa laitteistojen hyödyistä käytännön tutkimustuloksille. Myös yhteistyö Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:n tulevaisuuden energiajärjestelmien asiantuntijoiden kanssa avaisi hyvin todennäköisesti uusia ovia Seneran tuotekehitykselle ja liiketoiminnalle.

LÄHTEET

Painetut lähteet:

Energikontor Sydost. 2016. Vägledning för återvinning av värme från avloppsvatten. WasteWaterHeat. Esite.

Etelämäki, L., Valve, M. & Rantanen, P. 2003. Jätevesien lämpötilat Suomessa. 4/2003 Vesitalous. Ympäristöviestintä YVT Oy.

Harju, P. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Kouvola: Penan Tieto-Opus Ky.

Lappalainen, M. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja, suunnittelu ja rakentaminen. Tampere: Rakennustieto Oy.

Perälä, O. & Perälä, R. 2013. Lämpöpumput. Helsinki: Alfamer.

Salminen, A. 2011. Jäteveden lämmön hyötykäyttö – uusiutuvan energian käyttöä vai energian säästöä? 4/2011 Vesitalous. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Salminen, S. 2015. Kotitalousveden lämmön talteenotto. Diplomityö. Oulun yliopisto.

Sivula T. 2016. Maalämpöjärjestelmän hyötysuhteen parantamisen tarkastelu lämpimän käyttöveden lämmityksessä. YAMK-opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. 2014. RIL 265-2014 Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL ry.

Tekes. 2013. Lämpöenergiaa jätevedestä - katsaus nykytilanteeseen ja mahdollisuuksiin. Tekesin Vesi-ohjelma.

Elektroniset lähteet:

ARA (Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus). 2016. Kuntien myöntämät korjaus- ja energia-avustukset [viitattu 7.10.2016]. Saatavissa:

<http://www.ara.fi/fi->

[Fi/Rahoitus/Avustukset/Kuntien_myontamat_korjaus_ja_energiaavustukset](http://www.ara.fi/fi-Fi/Rahoitus/Avustukset/Kuntien_myontamat_korjaus_ja_energiaavustukset)

Edilex. 2016. Rakentamismääräykset [viitattu 10.10.2016]. Saatavissa:

<https://www.edilex.fi/rakentamismaaraykset>

EEEF (European Energy Efficiency Fund). 2016. European Energy Efficiency Fund - Frequently Asked Questions [viitattu 7.10.2016].

Saatavissa:

http://www.eeef.eu/tl_files/downloads/Frequently%20Asked%20Questions%20EEEF.pdf

Hallituksen esitys 116/2016 vp. Hallituksen esitys eduskunnalle

sähköturvallisuuslaiksi ja laiksi eräitä tuoteryhmiä koskevista ilmoitetuista laitoksista annetun lain muuttamisesta [viitattu 3.11.2016]. Saatavissa:

https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/HallituksenEsitys/Documents/HE_116+2016.pdf

Huhtakangas, P. 2008. Jäteveden hukkalämmön talteenotto säästää energiakustannuksissa. Kehittyvä Elintarvike. Nro 2/2008 [viitattu 30.9.2016]. Saatavissa: <http://kehittyvaelintarvike.fi/teemajutut/36-jateveden-hukkalammon-talteenotto-saastaa-energiakustannuksissa>

Jaakkonen, P. 2016. Ovatko nollaenergiatalot uusi homepommi? ”Onhan se aika hurja asia, jos riskialttiit ratkaisut lisääntyvät säädösten seurauksena”. Ilta-Sanomat [viitattu 31.10.2016]. Saatavissa:

<http://www.iltasanomat.fi/asuminen/art-2000001939157.html>

Kankaanpää, J. 2016 a. Markkinakartoitus, uimahallit ja kylpylät Suomessa. Excel-taulukko. Senera Oy.

Kankaanpää, J. 2016 b. Säästöarvio vaiheittaiselle maalämpöpumppulämmitykselle. Excel-taulukko. Senera Oy.

Laki rakennuksen energiatodistuksesta 50/2013. Suomen laki [viitattu 9.11.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>

Länkinen, T. 2016. Öljyn hinta nousukiitoon öljymahtien kädenpuristuksesta. Yle [viitattu 4.11.2016]. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-9199066>

Malinen, T., Sirkkanen, S. & Välimäki, T. 2016. Onko Deutsche Bank uusi Lehman Brothers? Poliitikkaradio, Yle Puhe [viitattu 7.10.2016]. Saatavissa: <http://areena.yle.fi/1-3711537>

Melender, T. 2016. Ennuste: Öljyn hinta voi nousta nopeasti - tässä 4 syytä. Talouselämä [viitattu 4.11.2016]. Saatavissa: <http://www.talouselama.fi/uutiset/ennuste-oljyn-hinta-voi-nousta-nopeasti-tassa-4-syyta-6534972>

Motiva Oy. 2015 a. Laskukaavat: Lämmin käyttövesi [viitattu 23.9.2016]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteis-tojen_energiahallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Motiva Oy. 2015 b. Investointituet uusiutuvalle energialle [viitattu 7.10.2016]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/uusiutuva_energia_suomessa/uusiutuvan_energian_tuet/investointituet_uusiutuvalle_energialle

Motiva Oy 2016. Vesi [viitattu 9.11.2016]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/files/10853/Ominaiskulutus_Vesi.pdf

Painelaitelaki 869/1999. Suomen laki [viitattu 13.10.2016]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990869>

Rakennusteollisuus RT ry. 2012. Kerrostalon energiatase [viitattu 23.9.2016]. Saatavissa:

<http://www.teeparannus.fi/parhaatkaytannot/ratkaisuja/kerrostalonenergiatase/>

RakMk D1 (Rakentamismääräyskokoelma D1). 2007. Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot. Saatavilla: http://www.finlex.fi/data/normit/28208-D1_2007.pdf

RakMk D3 (Rakentamismääräyskokoelma D3). 2011.

Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta 2/11.

Saatavilla: http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf

RakMk D5 (Rakentamismääräyskokoelma D5). 2012. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Saatavilla: <file:///C:/Users/Antti/AppData/Local/Temp/D5-17-5-2013-final-su-1.pdf>

Sähköturvallisuuslaki 410/1996. Suomen laki [viitattu 13.10.2016].

Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19960410>

TeKes. 2016. Tutkimus, kehitys ja pilotointi [viitattu 7.10.2016].

Saatavissa: <http://www.tekes.fi/rahoitus/pk-yritys/tutkimus-kehitys-pilotointi/>

Valtioneuvoston asetus otsonikerrosta heikentäviä aineita ja eräitä fluorattuja kasvihuonekaasuja sisältävien laitteiden huollosta 452/2009.

Suomen laki [viitattu 13.10.2016]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090452>

Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta 176/2013.

Suomen laki [viitattu 9.11.2016]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130176>

Öljy- ja biopolttoaineala ry. 2016. Raakaöljyn hintakehitys [viitattu 1.11.2016]. Saatavissa: <http://www.oil.fi/fi/tilastot-1-hinnat-ja-verot/13-raakaoljyn-hintakehitys>

