



# **Kaukolämmitteisten asuinrakennusten lämpimän käyttövesijärjestelmän ja lämmönsiirtimen suunnittelun ja mitoitusten eroavaisuudet Suomessa ja Ruotsissa**

Laura Lehtola

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Energi-och miljöteknik
Tunnistenumero:	6365
Tekijä:	Laura Lehtola
Työn nimi:	Kaukolämmitteisten asuinrakennusten lämpimän käyttövesijärjestelmän ja lämmönsiirtimen suunnittelun ja mitoitus-ten eroavaisuudet Suomessa ja Ruotsissa
Työn ohjaaja (Arcada):	Ins. Kaj Karumaa
Toimeksiantaja:	Ammattikorkeakoulu Arcada
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Kaukolämmönmyyjät Suomessa ja Ruotsissa eivät nykypäivänä kerää tietoa todellisista lämpimän käyttöveden kokonaiskulutus määristä. Lämmönmyyjät keskittyvät enemmän energiamäärien myyntiin, kuin asuntojen maksimivirtaamien vaihtelun analysointiin. Siksi lämpimän käyttövesijärjestelmän ja lämmönsiirtimen mitoitusperiaatteita, suunnittelua ja käytännön mittauksia on syytä käydä läpi asian kehittämisen kannalta.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus on tutkia eroavaisuuksia Suomen ja Ruotsin lämpimän käyttövesijärjestelmän ja lämmönsiirtimen suunnitteluun ja mitoitukseen. Vertailun kohteina toimivat Suomen rakennusmääräyskokoelma (RakMK) ja Ruotsin Boverkets Byggregler (BBR), sekä molempien maiden energia-alan järjestöjen määräykset ja ohjeet. Energiateollisuus Ry:n asettamia kaukolämpölaitteistojen määräyksiä ja ohjeita (K1) lämmönsiirtimen mitoitukseen vertailtiin Ruotsin Svensk Fjärrvärme F:101-julkaisuun. Työn päätavoite on saada maiden mitoitustekniset erot selvästi esille, jotta niitä olisi helpompi vertailla keskenään.</p> <p>Työssä tarkastellaan lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamia, lämmönsiirtimen mitoitusperiaatteita ja säätöjärjestelmän suunnittelua kaukolämmityksessä asuinrakennuksissa. Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamien analysoinnin tavoitteena on myös tarkastella lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen tehoa ja miten asuntojen lukumäärät vaikuttavat lopulliseen mitoitukseen. Työssä ilmeni, että Suomen ja Ruotsin lämpimän käyttöveden suunnittelussa ja mitoituksessa löytyy suuriakin eroja maiden välillä, vaikka maiden välinen lämpimän käyttöveden kulutuskäyttäytyminen ei juurikaan eroa toisistaan.</p> <p>Merkittävin eroavaisuus lämpimän käyttövesijärjestelmän suunnittelussa tuli ilmi lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituskriteerien laskentatavoissa. Myös säätöjärjestelmän suunnittelussa- ja mitoituksessa ja lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen tehollaskennassa paljastui eroavaisuuksia maiden välillä.</p> <p>Työn lopussa käydään läpi lämpimän käyttöveden käytännön mittausperiaatetta ja pohditaan työn tutkimustuloksia mitoitusperiaatteiden ja käytännön toteutuksen näkökulmasta.</p>	
Avainsanat:	Kaukolämmitys, lämmin käyttövesi, mitoitusvirtaama
Sivumäärä:	43
Kieli:	Suomi
Hyväksymispäivämäärä:	24.5.2018

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Kouluohjelma:	Energi-och miljöteknik
Identifikationsnummer:	6365
Författare:	Laura Lehtola
Arbetets namn:	Kaukolämmitteisten asuinrakennusten lämpimän käyttövesijärjestelmän ja lämmönsiirtimen suunnittelun ja mitoitusten eroavaisuudet Suomessa ja Ruotsissa
Handledare (Arcada):	Ing. Kaj Karumaa
Uppdragsgivare:	Yrkeshögskolan Arcada
<p>Sammandrag:</p> <p>Energiföretag som säljer fjärrvärme har i nuläget dålig kontroll över hur mycket tappvarmvatten det egentligen går åt per bostad hos deras kunder. Energiföretagen fokuserar sig mer på att kontrollera mängden energi de säljer av fjärrvärmevattnet. Mitt arbete går på djupet igenom dimensioneringsprinciper för tappvarmvatten och dess reglersystem och hur dessa kunde utvecklas till allt bättre fungerande enheter.</p> <p>Syftet med det här examensarbetet är att undersöka skillnader i Finlands och Sveriges dimensioneringsprinciper för tappvarmvattensystem och dess värmepumpar. I arbetet undersöks variationer i dimensioneringsflödet i flerbostadshus uppvärmda med fjärrvärme och värmepumpars effekt, då antalet lägenheter varierar. Som undersökningsgrund används Finlands byggbestämmelsesamling och Sveriges Boverkets Byggregler samt bestämmelser och principer tillhörande energi-industrins organisationer. Avsikten med undersökningen är att lyfta fram olikheterna i planeringen och dimensioneringen och där efter jämföra dem med varandra.</p> <p>Dimensioneringsflödet, värmepumpens dimensionerings principer och reglersystemet i tappvarmvattensystemet för flerbostadshus betraktas och jämförs. I arbetet redovisas även skillnader i värmepumpens dimensioneringseffekt mellan länderna. Undersökningen visade att det finns betydande skillnader mellan ländernas planerings- och dimensionerings principer för tappvarmvattensystem i flerbostadshus. Betydande skillnader upptäcktes i beräkningskalkylerna för dimensionerandeflödet och reglersystemet för tappvarmvattensystem, fastän förbrukningsbeteendet av tappvarmvattnet ungefär är det samma i båda länderna.</p> <p>I slutet av arbetet analyseras undersökningens resultat och mer ändamålsenliga dimensioneringsprinciper föreslås för dimensionering och planering av tappvarmvattensystem i bägge länderna. Dessutom förklaras principen i hur de egentliga flödes- och temperaturmätningarna skall genomföras i praktiken.</p>	
Nyckelord:	Fjärrvärme, tappvarmvatten, dimensioneringsflöde
Sidantal:	43
Språk:	Finska
Datum för godkännande:	24.5.2018

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Energi-och miljöteknik
Identification number:	6365
Author:	Laura Lehtola
Title:	Kaukolämmitteisten asuinrakennusten lämpimän käyttövesijärjestelmän ja lämmönsiirtimen suunnittelun ja mitoitus-ten eroavaisuudet Suomessa ja Ruotsissa
Supervisor (Arcada):	B.Eng Kaj Karumaa
Commissioned by:	Arcada University of Applied Sciences
Abstract:	
<p>Energy companies which are involved in the production of district heating have a poor control over how much the actual consumption of domestic hot water is in full. Energy companies focus more on controlling the amount of energy they sell from district heating water. My thesis goes in depth through the dimensioning principles for domestic hot water and its adjustment system and how these could evolve into better functioning units.</p> <p>The objective of this thesis is to investigate the differences in dimensioning and design principles of domestic hot water systems in Finland and Sweden. This study also focuses on the effect of heat exchangers in district heated residential buildings. The aim of this study is to compare the calculated dimensioning flows, the adjustment system and effects of the heat exchanger, when the amount of apartments changes.</p> <p>The study shows that current design and dimensioning standards differ a lot from one another in Finland and Sweden, even though both countries have relatively same behavioral manners in usage of domestic hot water per person.</p> <p>At the end of the study, results were discussed and new suggestions of design and dimensioning flow principles for domestic hot water were made, for Finland and Sweden.</p> <p>This study also focuses on showing the principle for measuring the actual domestic hot water flow and temperatures in different district heated houses.</p>	
Keywords:	District heating, domestic hot water, dimensioning flow
Number of pages:	43
Language:	Finnish
Date of acceptance:	24.5.2018

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>Kaukolämpö .....</b>	<b>13</b>
2.1	Kaukolämpö Suomessa .....	14
2.2	Kaukolämpö Ruotsissa .....	15
<b>3</b>	<b>Lämmin käyttövesi .....</b>	<b>16</b>
3.1	Lämpimän käyttövesiverkoston lämpötilakriteerit Suomessa .....	17
3.2	Lämpimän käyttövesiverkoston lämpötilakriteerit Ruotsissa .....	18
<b>4</b>	<b>Lämpimän käyttövesijärjestelmän rakenne ja kytkennät kaukolämmitetyssä asuinrakennuksessa.....</b>	<b>18</b>
4.1	Lämpimän käyttövesijärjestelmän periaatekytkennät Suomessa ja Ruotsissa.....	18
4.1.1	<i>Peruskytkenä</i> .....	19
4.1.2	<i>Pientalokytkenä</i> .....	20
4.1.3	<i>Välisyöttökytkenä</i> .....	21
<b>5</b>	<b>Lämpimän käyttöveden lämmönsiirrin asuinrakennuksessa .....</b>	<b>22</b>
5.1	Juotettu vastavirtalevylämmönsiirrin .....	23
<b>6</b>	<b>Lämpimän käyttöveden säätöjärjestelmä .....</b>	<b>24</b>
6.1	Säätöventtiilin mitoitus.....	25
<b>7</b>	<b>Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitusperiaate.....</b>	<b>26</b>
7.1	Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen teho .....	27
<b>8</b>	<b>Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitusperiaate Suomessa .....</b>	<b>28</b>
8.1	Säätöventtiilin mitoitus Suomessa.....	29
<b>9</b>	<b>Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitusperiaate Ruotsissa.....</b>	<b>30</b>
9.1	Säätöventtiilin mitoitus Ruotsissa.....	31
<b>10</b>	<b>Lämpimän käyttövesijärjestelmän mitoitusperiaatteiden ja suunnittelun vertailu.....</b>	<b>32</b>
<b>11</b>	<b>Lämpimän käyttövesijärjestelmän todellisten virtaamien- ja lämpötilojen tiedonkeruu .....</b>	<b>37</b>
11.1	Mittauslaitteisto .....	38
<b>12</b>	<b>Yhteenveto ja johtopäätökset.....</b>	<b>39</b>



## Kuvat

Kuva 1: Lämmityksen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa, Ennakkotieto 2016. (Energiateollisuus 2017).....	15
Kuva 2: Lämmityksen markkinaosuudet kerros- ja pientaloissa, Energiläget i Sverige 2015. (Energimyndigheten 2016).....	16
Kuva 3: Peruskytkentä (Energiateollisuus, K1) .....	20
Kuva 4: Pientalokytkentä (Energiateollisuus, K1) .....	21
Kuva 5: Välisyöttökytkentä (Energiateollisuus, K1).....	22
Kuva 6: Esimerkki lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen vahvistuksesta käyttövesivirtaaman funktiona (Koivuniemi, Janne 2005).....	25
Kuva 7 : Säätoventtiilin valinta asuntojen lukumäärän mukaan (Svensk Fjärrvärme, 2014) .....	32
Kuva 8: Suomen ja Ruotsin mitoitusvirtaamat lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimelle asuntojen lukumäärän funktiona.....	33
Kuva 9: Esimerkki Suomessa ja Ruotsissa käytettävistä lämpimän käyttöveden säätoventtiileistä asuinrakennuksissa (Koivuniemi, Janne 2005).....	36
Kuva 10: Periaatekuva asennetusta lämpimän käyttöveden mittauslaitteistosta.....	38

## **Taulukot**

Taulukko 1: Suomen ja Ruotsin lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitustemperatuurit normaalissa käyttötilanteessa ..... 23

Taulukko 2: Suomen ja Ruotsin mitoitusvirtaamien ja lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen tehojen suhde asuntojen lukumäärän funktiona. .... 35



## KÄYTETYT LYHENTEET

CHP	yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto
Ensiöpuoli	käsittää putkiston ja laitteet, jotka sijaitsevat, sillä puolella lämmönsiirrintä, jossa kaukolämpövesi virtaa
Toisiopuoli	käsittää putkiston ja laitteet, jotka sijaitsevat kiinteistön puolella lämmönsiirrintä
Talousvesi	rakennukseen tuleva kylmä raakavesi
Jakojohto	vesijohto, joka palvelee kahta tai useampaa vesipistettä
Kytkenäjohto	vesijohto, jolla vesikaluste yhdistetään jakojohdot
$k_v$ -arvo	tarkoitetaan sitä tilavuusvirtaa joka virtaa venttiilin läpi tietyllä iskunpituudella ja 100 kPa paine-erolla. $k_v$ -arvon mittayksikkö on m <sup>3</sup> /h.
$k_{vS}$ -arvo	Venttiilivalmistajien $k_{vS}$ -arvolla ilmaistaan säätöventtiilin kapasiteettia. Venttiilin kapasiteetti viittaa tilavuusvirtaan joka virtaa venttiilin läpi sen ollessa täysin auki ja paine-eron ollessa 100 kPa. $k_{vS}$ -arvon mittayksikkö on m <sup>3</sup> /h.
Sopimusteho	tarkoittaa kaukolämpöön liittymisvaiheessa varattua tuntista lämpötehoa asuinrakennuksissa. Sopimustehon mittayksikkö on kW.
Huipputeho	yhden tunnin suurin tehontarve
BBR	Boverkets Byggregler
RakMK	Suomen Rakentamismääräyskokoelma
K1	Energiateollisuus Ry:n laatimat määräykset ja ohjeet rakennusten kaukolämmityksen suunnitteluun ja mitoittamiseen Suomessa.
F:101	Svensk Fjärrvärme Ab:n laatimat määräykset ja ohjeet rakennusten kaukolämmityksen suunnitteluun ja mitoittamiseen Ruotsissa.

## KÄYTETYT MERKINNÄT JA MITTAYKSIKÖT

$q$	todennäköinen virtaama eli mitoitusvirtaama
$q_{N1}$	suurin normivirtaama mitoittavassa putkessa
$\theta$	todennäköisyys, että normivirtaamien $q_{N1}$ on vesikalusteella käytössä huippukulutuksen aikana
$Q$	liitettyjen vesipisteiden normivirtaamien summa
$A$	kerroin, joka ottaa huomioon kuinka usein mitoitusvirtaama $q$ ylitetään
$q_m$	kyseessä olevan venttiilin keskimääräinen virtaama
$\emptyset$	käyttöveden lämmönsiirtimen teho
$q_v$	lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama
$c_p$	veden ominaislämpökapasiteetti
$\rho$	veden tiheys
$\Delta T$	veden lämpötilaero lämmönsiirtimen läpi
$\dot{V}$	lämmönsiirtimen ensiöpuolen mitoitusvirtaama
$\Delta p$	säätöventtiilin mitoituspaine-ero
$\beta$	säätöventtiilin auktoriteetti
$\Delta p_{sv}$	valitun säätöventtiilin painehäviö mitoitusvirtaamalla
$\Delta p_{mit}$	lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero
$Q_m$	suurin asuntokohtainen normivirtaama

## ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö on tehty Ammattikorkeakoulu Arcadan energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelmassa.

Haluan kiittää työni ohjaajaa Kaj Karumaata ohjeistuksesta sekä asiantuntemuksesta aiheita kohtaan. Ohjaajani työpanos työn ideoinnissa oli huomattava.

Lisäksi haluan suuresti kiittää perhettäni, sukulaisia ja ystäviäni tuesta koko opinnäytetyö prosessin ja opiskeluni aikana. Lähimmäisten tuki ja kannustus ovat siivittäneet minut suoritettuun insinööritutkintooni.

Helsingissä 22.5.2018

---

Laura Lehtola

# 1 JOHDANTO

Kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa lämmin käyttövesi tuotetaan lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimien ja säätölaitteiston avulla.

Lämpimän käyttövesijärjestelmän suunnittelu- ja mitoitusperiaatteiden tavoite on taata käyttäjilleen tasalämpöinen ja käyttäjäturvallinen lämpimän käyttöveden lämpötila kaikissa käyttöolosuhteissa. Jos lämmin käyttövesijärjestelmä ei ole oikein mitoitettu, eikä pysty nopeasti reagoimaan, esimerkiksi kasvaneeseen lämpimän käyttöveden tarpeeseen, voi käyttäjän henkilökohtainen turvallisuus olla vaarassa. Lämpimän käyttöveden minimilämpötilaa käytetään, jottei mikrobien määrä putkistossa pääse nousemaan terveyttä haittaavalle tasolle. Maksimilämpötilaa käytetään mitoituksessa, jotta säästytään lämpimän käyttöveden liian korkean lämpötilan aiheuttamilta tapaturmilta. Tämän takia tarvitaan suunnittelu- ja mitoituskriteerit, joiden mukaan lämmin käyttövesijärjestelmä mitoitetaan.

Mitoituskriteerit kaukolämpölaitteiston suunnitteluun ja mitoitukseen määrää ensisijaisesti viranomaisten määräykset ja ohjeet. Joten eroavaisuuksia Suomen ja Ruotsin mitoitusperusteissa on, vaikkei maat käyttöveden kokonaisenergian kulutuksessa juuri eroa toisistaan. Täydennettyjä määräyksiä ja ohjeita kaukolämpölaitteiston mitoitukseen ja suunnitteluun antavat myös energia-alan etujärjestöt, jotka julkaisevat omia suosituksia ja ohjeita. Myös paikalliset energiayhtiöt asettavat omat ohjeensa kaukolämpölaitteiston suunnitteluun, niin Suomessa kuin Ruotsissakin.

Suomessa energia-alan elinkeino- ja työmarkkinapoliittinen etujärjestö, Energiateollisuus Ry, julkaisee omat laaditut ohjeet kaukolämpölaitteiston suunnitteluun- ja mitoitukseen. Ruotsissa omat suositukset ja ohjeet laatii ammattijärjestö Svensk Fjärrvärme. Energia-alan järjestöjen suositukset ovat muuttuneet koko maan kattavaksi käytännöksi, mutta viime kädessä järjestöjen määräysten ja ohjeiden noudattaminen määritellään kuitenkin asiakkaan ja lämmönmyyjän välisessä yksityisoikeudellisessa sopimuksessa.

Opinnäytetyössäni käsitellään Suomen ja Ruotsin lämpimän käyttövesijärjestelmän suunnittelu- ja mitoituskäytäntöjen eroja kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa. Tarkoitus

on löytää vastauksia siihen, onko lämpimän käyttöveden mitoitusperiaatteissa ja säätöjärjestelmissä suuriakin eroja maiden välillä. Työni kautta pyrittiin myös näkemään, miten lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamien vaihtelut vaikuttavat lämmönsiirtimen tehollaskentaan maiden välillä.

Tämän lisäksi työssäni käydään läpi lämpimän käyttöveden kulutuksen mittausmenetelmien toteutusperiaatteita kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa, tulevaisuuden tutkimustöiden pohjaksi.

Työn lopussa pohditaan asiantuntijahaastattelun myötä mitoituksen ja suunnittelun epäkohtia ja mietitään korjausliikkeitä maiden välisiin mitoitusperiaatteisiin.

Opinnäytetyön alussa käydään nopeasti myös läpi kaukolämmön tuotantoa ja historiaa sekä Suomessa että Ruotsissa.

## **2 KAUKOLÄMPÖ**

Kaukolämpö on Suomen ja Ruotsin yleisin lämmitys muoto, noin reilu puolet maiden asuinkiinteistöistä lämmitetään kaukolämmöllä [3], [15].

Kaukolämpö on keskitettyä lämmöntuotantoa, missä useita rakennuksia, laajoja alueita tai jopa kokonaisia kaupunkeja lämmitetään yhdestä tai useammasta lämmöntuotantolaitoksesta käsin. Kaukolämmön perusidea on hyödyntää sähkön tuotannossa vapautuvaa lauhdelämpöä rakennusten lämmittämiseen. Suurin energiataloudellisin hyöty saadaan irti kaukolämpötuotannosta, kun sama laitos tuottaa sähköä ja lämpöä. Tämän vuoksi kaukolämpö tuotetaan useimmiten yhdessä sähkön tuotannon kanssa niin sanotussa CHP-voimalaitoksessa, jossa lämpö tuotetaan sähkön sivutuotteena.

Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitos (CHP, engl. Combined Heat and Power production) mahdollistaa korkeamman kokonaisyötysuhteen, verrattuna sähkön ja lämmön erillistuotantolaitosten polttoaineen kulutukseen. Tuotettu lämpöenergia siirretään lämmöntuotantolaitoksen lauhduttimen kautta kaukolämpöjaketuverkostoon. Jakeluverkon siirto-, runko- ja talojohtojen kautta kuuma kaukolämpövesi välitetään lopulta asiakaskiinteistöihin. Asiakkaiden lämmönjakokeskuksessa lämpöenergia luovutetaan kiinteistön lämmitysjärjestelmiin, kuten radiaattoriverkostoon tai lämpimän käyttöveden

valmistukseen. Kaukolämpöveden lämpötila on vuodenajasta ja tehosta riippuen 70-120°C Suomessa.

Ruotsissa kaukolämmön lämpötila vaihtelee 65-115°C molemmin puolin.

Jäähtynyt 25-45°C kaukolämpövesi palautetaan uudelleen lämmitettäväksi lämmöntuotantolaitokseen Suomessa. Ruotsissa jäähtynyt kaukolämpövesi on noin 22-50°C.

Maailman ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä rakennettiin New Yorkiin 1877, jolloin lämpöenergiaa siirrettiin kaukolämpöverkostossa höyryn muodossa. Ruotsiin aloitettiin vuonna 1909 rakentaa ensimmäistä vesikiertoista kaukolämpöjärjestelmää [3, s. 12]. Suomen suurkaupungeissa kaukolämpötoiminta käynnistyi 1950-1960-luvulla. Vuoden 1970 öljykriisin siivittämänä toiminta laajeni huomattavasti koko maahan. Tänä päivänä kaukolämmitys on mukavuutensa ja energiataloudellisuutensa vuoksi vankasti vakiinnuttanut paikkansa Suomen ja Ruotsin taajama-alueiden peruslämmitysmuotona [1, s.263-294].

## **2.1 Kaukolämpö Suomessa**

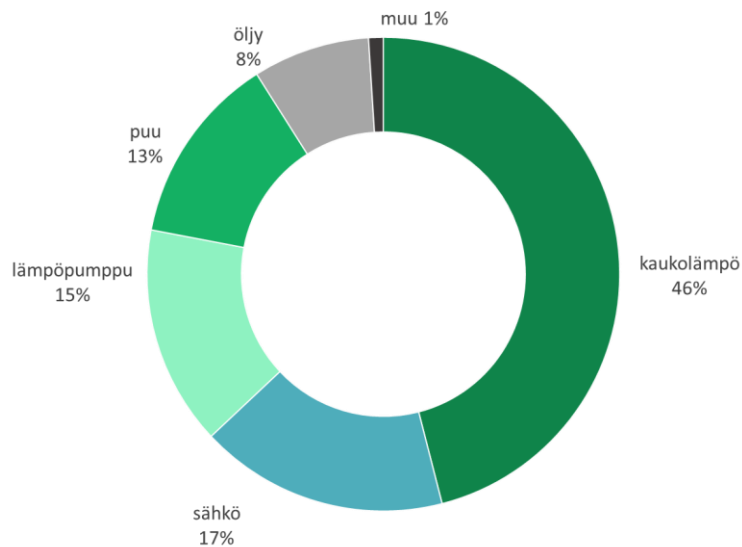
Suomen ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä rakennettiin vuonna 1940 Helsingin Olympiakylään, joka sijaitsee Käpylän kaupunginosassa [3, s.12].

Vuonna 2016 Suomessa käytettiin kaiken kaikkiaan noin 33,2 TWh kaukolämpöä, mikä tarkoitti 10,6 % kasvua vuodesta 2015.

Suomen asuintalojen yhteenlaskettu sopimusteho oli vuonna 2016 18,9 GW [6, s.7].

Suomessa tuotetaan kaukolämpöenergiaa monella eri polttoaineella, hinnasta ja saatavuudesta riippuen. Yhteistuotantolaitokset (CHP) käyttävät polttoaineenaan useimmiten fossiilisia polttoaineita kuten kivihiihtä, öljyä tai maakaasua. Usein kaukolämpötuotannossa kuitenkin pyritään uusiutuvien ja kotimaisten polttoaineiden käyttöön. Suomessa uusiutuvaan energiaan käytetään yleisesti mm. puupellettiä sekä puu- ja paperiteollisuuden sivu- ja jätetuotteita. Vuonna 2017 uusiutuvien polttoaineiden käyttö lisääntyi 2 % vuoteen 2016 verraten [8]. Nykyisin Suomessa käytetään 36 % uusiutuvia polttoaineita kaukolämmönlähteinä kokonaisenergiälähteisiin verrattuna. Kaukolämmöllä vähenne-

tään kasvihuonekaasujen syntyä ja edistetään energiatuotannon ympäristötavoitteita Suomessa. Seuraavassa kuvassa 1 nähdään lämmityksen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa vuonna 2016.



Kuva 1: Lämmityksen markkinaosuudet asuin- ja palvelurakennuksissa, Ennakkotieto 2016. (Energiateollisuus 2017)

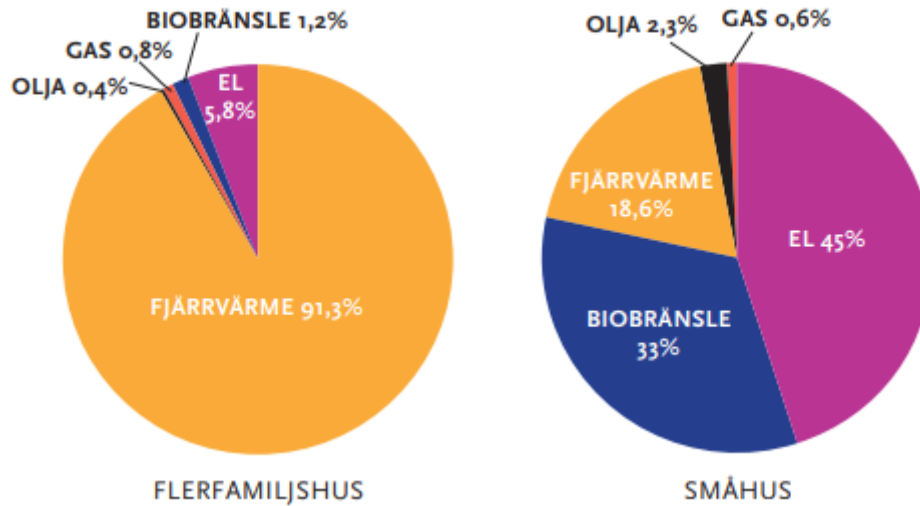
## 2.2 Kaukolämpö Ruotsissa

Ruotsin ensimmäinen kunnallinen kaukolämpöjakoverkosto rakennettiin vuonna 1948 Karlstadiin, Vänern järven kupeeseen [2, s. 403-407].

Kaukolämpöverkoston oli ainoastaan tarkoitus välittää lämpö paikalliseen valimoon höyryn muodossa, mutta parissa vuodessa kaukolämpöverkosto laajentuikin välittämään kaukolämpöä useampaan paikalliseen uudisrakennettuun asuinrakennukseen [15, s.11].

Tästä alkoi kaukolämmön yritystoiminta Ruotsissa. 1950-luvun tienoilla toiminta laajeni entisestään yhdeksään Ruotsin suurkaupunkiin, niin Tukholmaan, Göteborgiin kuin Malmöhön. Edellä mainitut suurkaupungit ovat nykyäänkin suurimpia kaukolämmön tuottajia Ruotsissa. Malmö oli kaupungeista nopein laajentamaan kaukolämpöverkkoa ja aloitti liiketoimintansa jo vuonna 1953. Nykyisin kaukolämpöverkosta löytyy 285 kunnasta, kun Ruotsissa on 290 rekisteröityä kuntaa [15, s.11,18].

Vuonna 2017 Ruotsissa käytettiin keskimäärin noin 139 kWh/m<sup>2</sup> energiaa asuinrakennusten lämmitykseen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. [14]. Seuraavassa kuvassa 2 esitellään lämmityksen markkinaosuudet kerros- ja pientaloissa vuonna 2015.



Kuva 2: Lämmityksen markkinaosuudet kerros- ja pientaloissa, Energiläget i Sverige 2015. (Energimyndigheten 2016)

### 3 LÄMMIN KÄYTTÖVESI

Kaukolämmön avulla tuotetaan lämmintä käyttövettä aina kulloisenkin tehon tarpeen mukaisesti, siihen suunnitellulla lämpimän käyttövedensiirtimellä. Lämmönsiirtimen läpi virtaava talousvesi, lämmitetään kuumalla kaukolämpövedellä oikeaan lämpötilaan, asiakkaitten käyttöön.

Hyvin tyypillistä lämpimän käyttöveden kulutukselle on sen suuret ja nopeat teho- ja virtaamavaihtelut. Tämä johtuu yleensä nykyisten yksiotehanojen nopeasta avattavuudesta ja suljettavuudesta [3]. Nopeat tehovaihtelut vaikeuttavat järjestelmän suunnittelua ja mitoitusta, joka usein konkreettisesti nähdään LVI-suunnittelijan lämmönsiirtimen ylimitoituksena.

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituksesta tekee hankalaa todellisten teho- ja virtaamatietojen arviointi, kun apuna ei ole pitkäkestoisia käytännön mittauksia. Läm-



pimän käyttöveden vaihtelu on niin nopea prosessi, että säätöjärjestelmä yhdessä lämmönsiirtimen varauskyvyn kanssa, ei yksinkertaisesti pysty reagoimaan lämpötilan muutoksiin riittävän nopeasti. Lämmönsiirtimen virheellinen mitoitus nähdään lämpimän käyttöveden lämpötilan huojumisena, toimilaitteiden nopeana kulumisena, sekä lämmönsiirtimen normaalia nopeampana likaantumisenä.

Likaantumisen aiheuttaa väärin mitoitettut virtausnopeudet ja painehäviöt lämmönsiirtimen ylitse. Likaantuminen heikentää huomattavasti siirtimen lämmönsiirto-ominaisuuksia ja lisää energiankulutusta.

Lämpötilan huojuntaa voidaan vähentää säätölaitteiston tarkalla virittämisellä, sillä edellytyksellä, että käyttöveden lämmönsiirrin ja ensiöpuolen säätöventtiili ovat oikein mitoitettu vastaamaan varsinaista lämpökuormitusta [9].

Kaukolämmitteisen käyttövesijärjestelmän oikeanlaisella mitoituksella ja suunnittelulla on täten hyvin merkitsevä rooli lämpimän käyttöveden tasaisen lämpötilan varmistamiseen ja käyttäjäturvalliseen toteuttamiseen.

### **3.1 Lämpimän käyttövesiverkoston lämpötilakriteerit Suomessa**

Kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa lämpimän käyttöveden verkosto suunnitellaan ja mitoitetaan Suomessa niin, että lämpimän käyttöveden lämpötila pysyy mitoitusvirtaamalla 58 °C:ssa [5].

Lämpimän käyttöveden verkosto on kuitenkin suunniteltava ja asennettava niin, että veden lämpötila ei missään vaiheessa verkostoa laske alle 55 °C, pois lukien odotusajan johto-osuuksia. Vesilaitteiston odotusajan johto-osuuksissa, kuten esimerkiksi kytkentä-johdoissa, voi veden lämpötila laskea alle 55°C.

Lämminvesijärjestelmän minimi-lämpötilat edesauttavat, ettei terveydelle haitallisia mikrobeja kuten esimerkiksi legionella-bakteereja, pääse esiintymään käyttövesiverkostossa. Henkilökohtaiseen hygieniaan tarkoitetuista lämminvesikalusteista saatava lämmin vesi ei saa ylittää 65 °C [7].

### **3.2 Lämpimän käyttövesiverkoston lämpötilakriteerit Ruotsissa**

Ruotsissa lämmin käyttövesiverkosto suunnitellaan ja mitoitetaan siten, että lämpimän käyttöveden lämpötila ei missään vaiheessa verkostoa laske alle 50°C.

Svensk Fjärrvärme, joka Ruotsissa antaa ohjeet kaukolämpölaitteiden suunnitteluun ja mitoitukseen suosittelee määräyksissään kuitenkin, että lämpimän käyttöveden lämpötila olisi lämmönsiirtimeltä lähtiessään noin 53-55°C.

Usean asunnon asuinrakennuksissa toisiopuolen mitoitusmenolämpötilana mitoitusvirtaamalla käytetään 55°C. Lämminvesikalusteelta tuleva lämmin käyttövesi ei saa ylittää 60°C Ruotsissa, Suomen 65°C:een verrattuna.

## **4 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVESIJÄRJESTELMÄN RAKENNE JA KYTKENNÄT KAUKOLÄMMITETYSSÄ ASUINRAKENNUKSESSA**

Lämmin käyttövesiverkosto koostuu lämmönsiirtimestä, säätölaitteistosta, pumppauslaitteistosta, toisiopuolen jako- ja kytkentäputkistoista venttiileineen, sekä tarvittavista lämminvesikalusteista.

Asuinrakennusten vesikalusteina toimii: astianpesukoneet, pesualtaat, suihkut, kylpyammeet, pesuistuimet ja laskuhanat. Lämpimän käyttövesijärjestelmän suunnittelun ja asennuksen yleinen edellytys Suomessa ja Ruotsissa on välttyä veden liian korkean lämpötilan aiheuttamilta tapaturmilta kaikissa käyttöolosuhteissa [7].

### **4.1 Lämpimän käyttövesijärjestelmän periaatekytkennät Suomessa ja Ruotsissa**

Suomessa ja Ruotsissa kaukolämpöasiakkaat liitetään lämmönjakokeskuksessa kaukolämpöverkkoon epäsuoran kytkennän avulla. Epäsuorassa kytkennässä rakennuksen käyttöveden lämpöenergia otetaan kaukolämpövedestä lämmönsiirtimien kautta.

Epäsuorassa kytkentätavassa lämmönmyyjän kaukolämpövesi ja kiinteistön itsenäinen käyttövesipiiri eivät pääse missään vaiheessa sekoittumaan keskenään. Raaka kaukolämpövesi luokitellaan Suomessa liian epäpuhtaaksi käytettäväksi sellaisenaan lämpimässä käyttövesijärjestelmässä [3].

Suomessa ja Ruotsissa käytetään yleisesti kahta eri periaatekytkentätapaa asuinrakennuksissa, peruskytkentää ja välisyöttökytkentää. Suomesta löytyy myös pientalokytkentä, jota käytetään rakennuksissa, joissa tilojen lämmitystehontarve on enintään 30 kW ja missä lämpimän käyttöveden mitoitus-teho on enintään 120 kW.

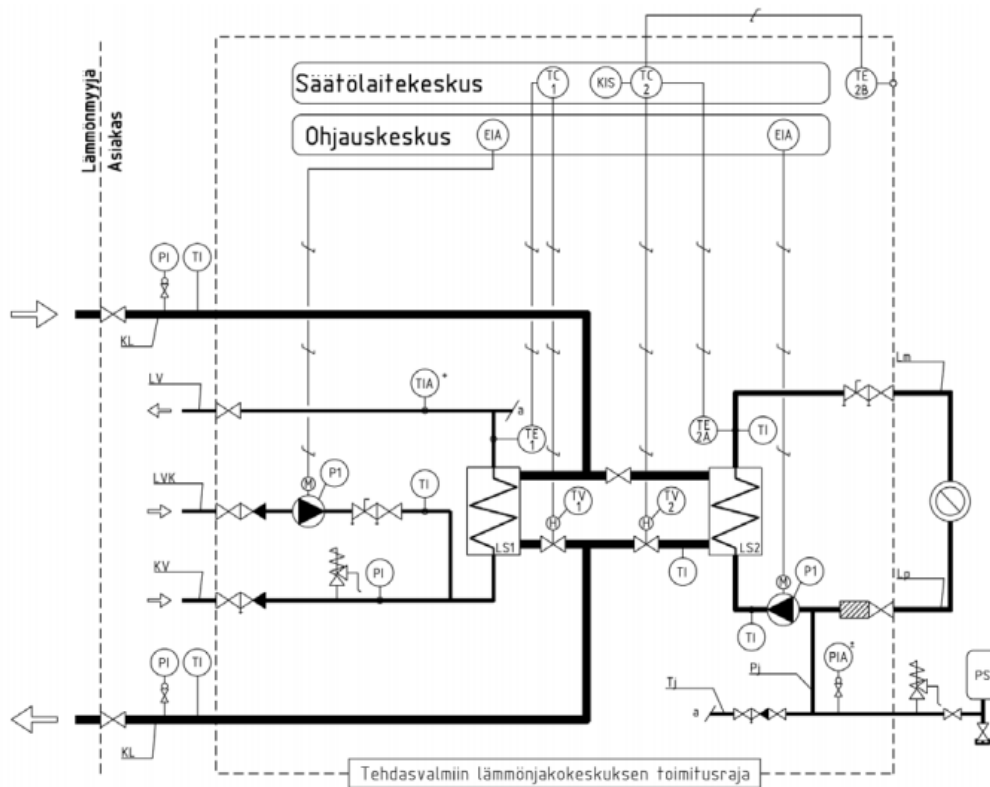
Perus- ja välisyöttökytkentää käytetään asuinrakennuksissa kuitenkin eniten, koska lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen tehovaraus on suurempi pientalokytkentään verrattuna.

Asuinrakennusten periaatekytkennät kaukolämmitykseen määritetään Energiateollisuus ry:n K1-julkaisun mukaan Suomessa [5]. Ruotsissa lämpimän käyttöveden periaatekytkennät kaukolämpöverkkoon määrittää F:101-julkaisu, jonka Svensk Fjärrvärme laatii. Eri periaatekytkennät on esitelty kuvissa 3, 4 ja 5.

#### **4.1.1 Peruskytkentä**

Peruskytkentää käytetään kaikissa uudisrakennuksissa sekä pääosin kaikissa olemassa olevissa asuinrakennuksissa, pientaloja lukuun ottamatta. Peruskytkentä on rinnakkaiskytkentätapa, joten kytkennässä käytetään erillisiä lämmönsiirtimiä, lämmityksen ja lämpimän käyttövedenpiireille.

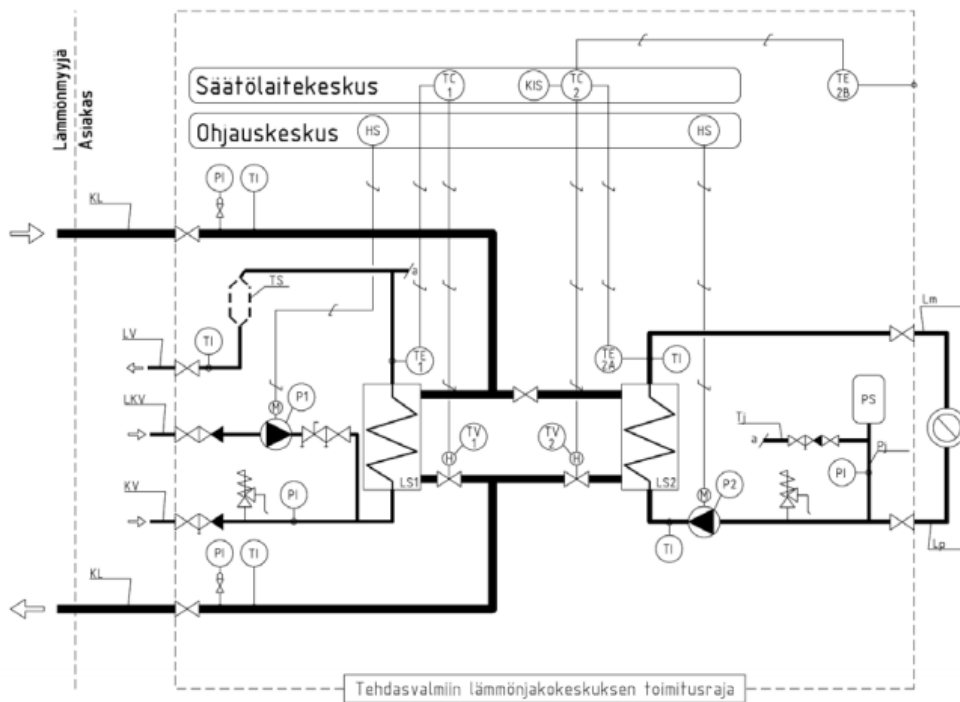
Peruskytkentää käytetään Suomessa rakennuksissa, joissa tilojen lämmitystehontarve on yli 30 kW tai kun lämpimän käyttöveden mitoitus-teho on vähintään 120 kW, K1-julkaisun mukaan. Ilmanvaihto- tai lämmityssiirtimeltä palaavaa kaukolämpöveden lämpötilaa ei voi hyödyntää peruskytkennässä lämpimän käyttöveden esilämmitykseen käyttövesisiirtimessä, jotta kytkennällä saavutettaisiin kaukolämpövedelle selvästi suotuisampi jäähtymä.



Kuva 3: Peruskytkentä (Energiateollisuus, K1)

#### 4.1.2 Pientalokytkenä

Pientalokytkenä käytetään niissä rakennuksissa, joissa tilojen lämmitystehontarve on enintään 30 kW ja missä lämpimän käyttöveden mitoitus-teho on enintään 120 kW [5]. Pientalokytkenässä käytetään myös rinnakkaiskytkentätapaa.

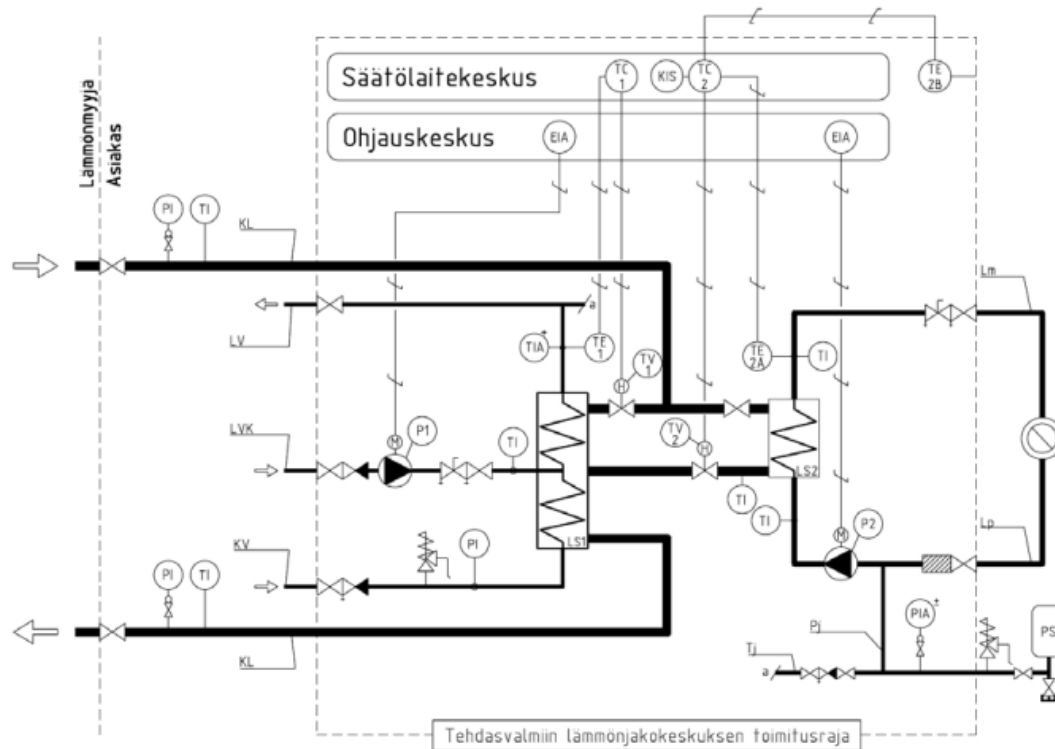


Kuva 4: Pientalokytkentä (Energiateollisuus, K1)

#### 4.1.3 Välisyöttökytkentä

Välisyöttökytkentä on kaksivaiheinen kytkentätapa, jossa käytetään hyväksi ilmanvaihdossa ja lämmityksessä jäähtyneen kaukolämpöveden paluuvettä käyttöveden esilämmitykseen. Suomessa välisyöttökytkentää käytetään niissä rakennuksissa, joissa käyttöveden mitoitus-teho on vähintään 120 kW ja lämmityssiirtimien kaukolämpöveden paluulämpötila on yli 45°C [5]. Jos kaukolämpöveden paluulämpötila on 40-45°C ilmanvaihto- ja lämmityssiirtimeltä, käytetään välisyöttökytkentää vain silloin, kun käyttöveden mitoitus-teho on 300 kW tai enemmän.

Välisyöttökytkennän avulla saavutetaan selvästi parempi kaukolämpöveden jäähditys, muihin kytkentätapoihin verraten.



Kuva 5: Välisyöttökenttä (Energieateollisuus, K1)

## 5 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRIN ASUINRAKENNUKSESSA

Lämpimän käyttövesijärjestelmän lämmönsiirrin on osa asuinkiinteistön lämmönjakokeskukseen liitettävää laitekokonaisuutta. Lämmönsiirtimen tehtävä on siirtää lämpöenergiaa yhdestä nestevirrasta toiseen, sekoittamatta nesteitä keskenään. Nestevirrat kulkevat niitä erottavan lämmönsiirtopinnan molemmin puolin ja lämpöenergia siirtyy siirtinpinnan kautta kaukolämpövedestä lämmitettävään lämmitysverkoston käyttöveeten.

Nykyään käytetään yleisesti niin Suomessa kuin Ruotsissa kovajuotettuja vastavirtalevyllämmönsiirtimiä asuinrakennuksissa, missä nestevirrat kulkevat vastakkaisiin suuntiin toisiinsa nähden.

Suomen ja Ruotsin lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituslämpötilat on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1: Suomen ja Ruotsin lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituslämpötilat normaalissa käyttötilanteessa

	LÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU	KYLMÄ VESI	LÄMMIN VESI
KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRRIN SUOMI	70	20	10	58
KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRRIN RUOTSI	65	≤ 22	10	55
KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRRIN RUOTSI (PIENTALOT)	65	≤ 22	10	50*
HUOMAUTUS	*Pientalot joissa lämpimän käyttövedenkierto mitoitetaan toisiopuolella 55°C			

## 5.1 Juotettu vastavirtalevylämmönsiirrin

Lämmin käyttövesi luo erityisvaatimuksia lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinta-alan materiaalille, veden syövyttävien vaikutuksien takia. Juotetun vastavirtalevylämmönsiirtimen lämmönsiirtopinnat ovat näin ollen tehty ruostumattomasta teräksestä tai kuparista ja kestävät 1,6 MPa käyttöpainetta. Ruostumaton teräs ja kupari muodostavat pinnalleen suojaavan oksidikerroksen, joka suojaa lämmönsiirintä syöpymiseltä [1].

Juotetun vastavirtalevylämmönsiirtimen lämmönsiirto-ominaisuus on erinomainen, lämmönsiirtimen asteisuuden takia. Asteisuus ilmaisee ensiöpuolen paluulämpötilan ja toisiopuolen tulolämpötilan lämpötila erotusta. Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen asteisuus Suomessa on nykyisin korkeintaan 10°C, kun Ruotsissa lämmönsiirtimen asteisuus on enintään 12°C [5], [12].

Juotetun vastavirtalevylämmönsiirtimen heikkoutena voidaan pitää sen pientä vesitilavuutta, joka saattaa aiheuttaa säätöongelmia varsinkin nopeasti vaihtelevissa lämmitysprosesseissa.

## 6 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN SÄÄTÖJÄRJESTELMÄ

Lämpimän käyttöveden säätölaitteet on suunniteltava, mitoitettava, asennettava sekä viri-tettävä siten, että järjestelmä takaa tasalämpöisen käyttöveden lämpötilan kaikissa käyttöolosuhteissa.

Lämpimän käyttöveden säätöventtiili on sijoitettu lämmönjakohuoneessa kaukolämpö-putkiston ensiöpuolelle, aivan lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen viereen. Säätö-venttiili säätelee kaukolämpöveden virtausta siten, että lämmönjakokeskukseen kytketty käyttöveden lämmönsiirrin luovuttaa toisiopuolelle halutun lämpöistä vettä. Lämpimän käyttöveden lämpötilaa säädetään säätökeskuksesta saadun mittausarvon perusteella. Säätökeskus vertaa lämpimän käyttöveden lämpötila-anturilta tulevaa mitattua arvoa ase-tusarvoon ja pyrkii säätösignaalin avulla pitämään veden lämpötilan sille asetetussa ase-tusarvossa.

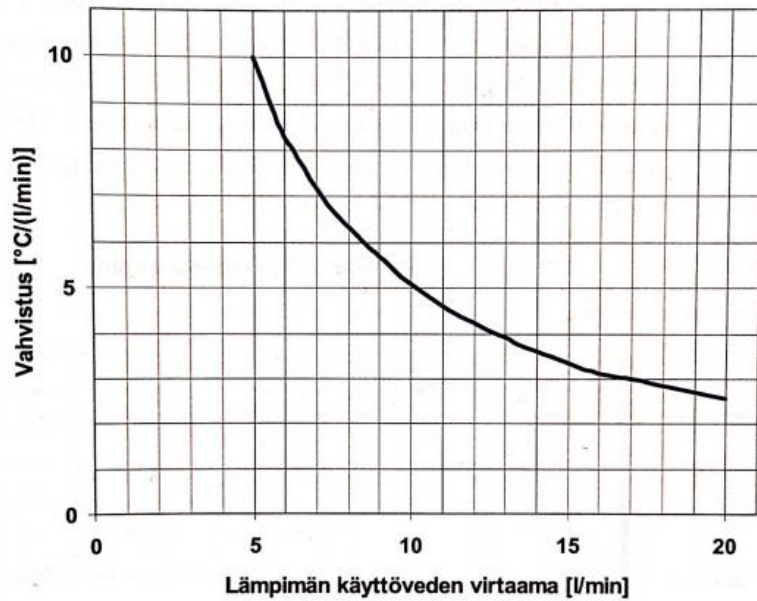
Tekniikaltaan säätöjärjestelmä on hyvin yksinkertaisesti ohjattava kokonaisuus, mutta lämpimän käyttöveden lämpötilojen säätöä hankaloittaa tyypillisesti nopeat kuormitus-vaihtelut ja epälineaarisuus. Myös laitevalinnat, säädettävän järjestelmän mitoitus ja sää-tölaitteiston ominaisuudet vaikuttavat säädön käytännön toteutumiseen.

Säätöjärjestelmän toisiopuolen käyttöveden lämpötilamuutoksen ja ensiöpuolen virtaa-man suhdetta kutsutaan vahvistukseksi.

Vahvistuksen suhde lämpimän käyttöveden virtaamaan on voimakkaasti epälineaarinen. Epälineaarisuudesta johtuen suuret kuormituksen muutokset aiheuttavat vähäisen lämpi-män käyttöveden kulutuksen aikana suurta huojuntaa [9].

Seuraavassa kuvassa 6 on esitetty vahvistuksen suhdetta lämpimän käyttöveden virtaa-maan.





Kuva 6: Esimerkki lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen vahvistuksesta käyttövesivirtaaman funktiona (Koivuniemi, Janne 2005)

## 6.1 Säätöventtiilin mitoitus

Lämpimän käyttöveden säätöventtiilin mitoitusperiaate perustuu siihen, että säätöventtiilin, lämmönsiirtimen ja putkiston painehäviöiden summa olisi yhtä suuri kuin lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero mitoitusvirtaamalla.

Säätöventtiilin kokoluokka määritellään lämmönsiirtimen mitoitusarvojen mukaisilla virtaamilla ja käytettävissä olevan paine-eron mukaan. Säätöventtiilin  $k_v$ -arvolla tarkoitetaan sitä tilavuusvirtaa joka virtaa venttiilin läpi tietyllä iskunpituudella ja paine-erolla. Säätöventtiileille usein ilmoitettu  $k_{vS}$ -arvo on verrannollinen vaadittuun  $k_v$ -arvoon. Venttiilinvalmistajien ilmoittama  $k_{vS}$ -arvo ilmaisee säätöventtiilin kapasiteettia.

Säätöventtiilin  $k_v$ -arvo määritetään seuraavalla yhtälöllä Suomessa ja Ruotsissa [5], [12]:

$$k_v = \frac{\dot{V}}{\sqrt{\Delta p}}$$

$\dot{V}$  = lämmönsiirtimen ensiöpuolen mitoitusvirtaama, m<sup>3</sup>/h

$\Delta p$  = mitoituspaine-ero, kPa

Säätöventtiilin auktoriteetti eli vaikutusaste  $\beta$  kertoo säätöventtiilin painehäviön suhteesta lämmönjakokeskuksen kiertopiirin putkiston ja lämmönsiirtimien yhteisestä painehäviöstä mitoitusvirtaamalla laskettuna.

Säätöventtiilin auktoriteetti, eli vaikutusaste saadaan ratkaistua seuraavalla yhtälöllä Ruotsissa ja Suomessa [5], [12]:

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{mit}}$$

$\beta$  = säätöventtiilin auktoriteetti

$\Delta p_{sv}$  = valitun säätöventtiilin painehäviö mitoitusvirtaamalla, kPa

$\Delta p_{mit}$  = lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero, kPa

## 7 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUSPERIAATE

Asuinrakennusten kaukolämmityslaitteiden ja lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoituksen tekee LVI-suunnittelija. Yleisenä kaukolämmityslaitteiston mitoitusperiaatteena asuinkiinteistöissä on mahdollisimman hyvä kaukolämpöveden jäähdytys kaikissa käyttöolosuhteissa [3].

Lämpimän käyttöveden tehontarve ei ole lineaarinen, vaan se vaihtelee satunnaisesti erilaisten vuorokausi- ja viikkorytmien mukaisesti, joten mitoitusvirtaaman laskentaan käytetään normivirtaamien summaan perustuvaa todennäköisyyskaavaa. Lämpimän käyttöveden jakojohdon mitoitusvesivirta määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 ”Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot” normivirtaamien summaan perustuvasta yhtälöstä.

Ruotsissa lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitusvesivirran määrää Svensk Fjärrvärme Ab. Julkaisussa F:101 ”Fjärrvärmecentralens utförande och installation-tek-niska bestämmelser” on määritelty kaukolämmitetyn asuinrakennuksen lämpimän käyt-töveden lämmönsiirtimen mitoitusperiaate. Suomeen verrattuna Ruotsissa kaukolämmitettyjen asuinrakennusten lämmönsiirtimen mitoitusperiaate mitoitusvesivirtaan löytyy energiateollisuuden julkaisemasta F:101-ohjeesta. Julkaisu-F:101 on laadittu ruotsalai-sista ja eurooppalaisista teollisuuden standardeista, kaukolämpöalan toimijoiden ohjeista ja viranomaisten rakennusmääräyksistä (Boverkets byggregler).

Energiateollisuus ry:n julkaisu K1 ”Rakennusten kaukolämmitys” sisältää määräykset ja ohjeet kaukolämmön lämmönsiirtimien ja säätöventtiilin mitoitukseen. Suomen K1-jul-kaisun ja Ruotsin F:101-julkaisun määräysten ja ohjeiden noudattaminen määrittellään kuitenkin viime kädessä asiakkaan ja lämmönmyyjän välisessä yksityisoikeudellisessa sopimuksessa [5], [12].

Lämmönmyyjiltä löytyy lisäksi omia koottuja määräyksiä kaukolämmityslaitteiden suun-nitteluun ja puuttuu tarvittaessa lämmönsiirtimen mitoitukseen.

## 7.1 Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen teho

Käyttövesilämmönsiirtimen mitoitusteho lasketaan käyttöveden siirtimelle tulevan kyl-män veden ja toisipuolen mitoitusvirtaaman ja sieltä siirrettävän lämpimän veden läm-pötilaeroista.

Käyttöveden lämmönsiirtimen teho lasketaan seuraavalla yhtälöllä:

$$\dot{Q} = q_v \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta T$$

$\dot{Q}$  = käyttöveden lämmönsiirtimen teho, kW

$q_v$  = lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama, dm<sup>3</sup>/s

$c_p$  = veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK

$\rho$  = veden tiheys, kg/dm<sup>3</sup>

$\Delta T$  = veden lämpötilaero lämmönsiirtimen läpi, K

## 8 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUSPERIAATE SUOMESSA

Lämpimän käyttöveden jakojohdon mitoitusvirtaama määritetään Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D1 ”Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot” normivirtaamien summaan perustuvasta yhtälöstä.

Seuraavassa yhtälössä on esitetty normivirtaamien summaan perustuva todennäköisyyskaava mitoitusvirtaaman laskennalle [7].

$$q = q_{N1} + \theta(Q - q_{N1}) + A\sqrt{q_m\theta} \sqrt{Q - q_{N1}}$$

$q$  = todennäköinen mitoitusvirtaama,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$q_{N1}$  = suurin normivirtaama mitoitettavassa putkessa,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$\theta$  = todennäköisyys, että normivirtaamien  $q_{N1}$  on vesikalusteella käytössä huippukulutuksen aikana

$Q$  = liitettyjen vesipisteiden normivirtaamien summa,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$A$  = kerroin, joka ottaa huomioon kuinka usein mitoitusvirtaama ylitetään

$q_m$  = kyseessä olevan venttiilin keskimääräinen virtaama,  $\text{dm}^3/\text{s}$

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen toisiopuolen mitoitusvirtaamana käytetään jakojohdon mitoitusvirtaamaa. Jakojohdon mitoitusvirtaama asuin-, toimisto-, koulu-, sairaala-, ym. vastaavissa rakennuksissa laskentaan seuraavilla arvoilla [7]:

$q_{N1} = 0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$  (ei kylpyammetta)

$q_{N1} = 0,3 \text{ dm}^3/\text{s}$  (kylpyamme)

$q_m = 0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$

$\theta = 0,015$

$A = 3,1$

Käyttöveden jatkuvan virtauksen virtausnopeus ei saa nousta toisiopuolen putkistossa yli  $1,0 \text{ m/s}$  eroosikorroosiovaaran takia, joten mitoitusnopeutena käytetään  $0,5 \text{ m/s}$  [5].

## 8.1 Säätoventtiilin mitoitus Suomessa

Säätoventtiilin tehtävä on pitää lämpimän käyttövedenjärjestelmän käytettävissä olevan paine-eron vakiona. Säätoventtiilin mitoituksesta tekee hankalaa kaukolämpöveden lämpötilan jatkuva vaihtelu ulkolämpötilan mukaan ja kaukolämpöverkostossa muuttuva paine-ero. Tämän takia Suomesta löytyy paikkakuntaisia eroavaisuuksia lämpimän käyttöveden säätoventtiilin mitoitukseen.

Todellinen paine-ero on jatkuvasti muuttuva tekijä, muun muassa lämpimän käyttöveden laitteiston sijainnista, käytössä olevasta lämpölaitoksesta ja muista kaukolämmön käyttäjistä riippuen [9].

Lämmönmyyjä ilmoittaa asiakkaalle käytettävissä olevan paine-eron säätoventtiilin mitoitusta varten. Vähimmäispaine-ero, 60 kPa, määritellään kuitenkin samaksi kaikille kaukolämmön käyttäjille Suomessa [5].

Käyttöveden säätoventtiiliksi valitaan yleensä  $k_{vs}$ -arvoltaan seuraavaksi pienempi kokoluokka, koska liian suurella venttiilillä virtauksen säätäminen on hankalaa ja säädön vaikutus hidasta. Säätoventtiilin painehäviö on oltava vähintään puolet lämmönjakokeskukseen kyseisen säätöpiirin kokonaispainehäviöstä.

Kahta rinnankytkettyä säätoventtiiliä käytetään yleisesti asuinrakennuksissa, missä tehon vaihtelu on hyvin suurta.

Perusteellisesti mitoitettussa säätöjärjestelmässä pienin säädettävissä oleva teho ja virtaus on noin 7% mitoitetuista arvoista [9].

Energiateollisuus ry:n K1-julkaisun mukaan asennetun säätöjärjestelmän on täytettävä seuraavat vaatimukset lämmönmyyjän ilmoittamissa käyttöolosuhteissa [5]:

- |   |             |
|---|-------------|
| 1. Suurin pysyvä poikkeama asetusarvosta  | +/- 2°C     |
| Sallittu palautumisaika muutoksen alkuhetkestä siihen hetkeen, kun em. vaatimus täyttyy | 2 minuuttia |
| 2. Suurin hetkellinen poikkeama asetusarvosta   |             |
| lämmityksen säätöjärjestelmät   | +/- 5°C     |
| käyttöveden säätöjärjestelmät   | +7/-10°C    |
| muut säätöjärjestelmät  | +/- 10°C    |

- |                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 3. Sallittu jatkuva huojunta  |           |
| käyttöveden säätöjärjestelmät | +/- 2°C   |
| muut säätöjärjestelmät        | +/- 0,5°C |

## 9 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVEDEN LÄMMÖNSIIRTIMEN MITOITUSPERIAATE RUOTSISSA

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitusvirtaama lasketaan Ruotsissa F:101-julkaisun mukaan, jonka Svensk Fjärrvärme julkaisee.

Mitoituslaskelmaan käytetään seuraavaa yhtälöä:

$$q = q_m + O(nQ_m - q_m) + A\sqrt{q_m O} \sqrt{nQ_m - q_m}$$

$q$  = lämmönsiirtimen mitoitusvirtaama  $n$  asunnolle,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$q_m$  = asuntokohtainen mitoitusvirtaama,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$Q_m$  = suurin asuntokohtainen normivirtaama,  $\text{dm}^3/\text{s}$

$O$  = tekijä, joka ottaa huomioon kuinka usein  $q_m$  ylitetään

$A$  = tekijä, joka ottaa huomioon kuinka usein mitoitusvirtaama  $q$  ylitetään

$n$  = asuntojen lukumäärä

Seuraavia arvoja käytetään lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitusvirtaaman laskentaan asuinrakennuksissa:

$$q_m = 0,15 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$Q_m = 0,2 \text{ dm}^3/\text{s}$$

$$O = 0,015$$

$$A = 2,1$$

Mikäli lämpimän käyttöveden tarve on poikkeuksellisen suuri, esimerkiksi opiskelija-asunnoissa tai muissa rakennusmuodoissa kuin asuinrakennuksissa, voidaan  $A$ :n arvo korottaa 3,1:een [12].

Seuraavat mahdolliset poikkeustilanteet on otettava huomioon lämpimän käyttöveden käyttötilanteissa, Svensk Fjärrvärme F:101-julkaisun mukaan [12]:

1. Kaukolämpövesi on alle 65°C
2. Paine-ero on pienempi kuin mitoituspainero
3. Suurempi lämpötilanpudotus kuin 5°C siirtimen ja vesipisteen välillä
4. Lämpimän käyttöveden virtaama ylittyy edellä mainitussa mitoitusvirtaamassa pidemmän ajan
5. Lämpimän käyttöveden kiertovesipumppu pysähtyy tai jokin muu vikatilanne syntyy

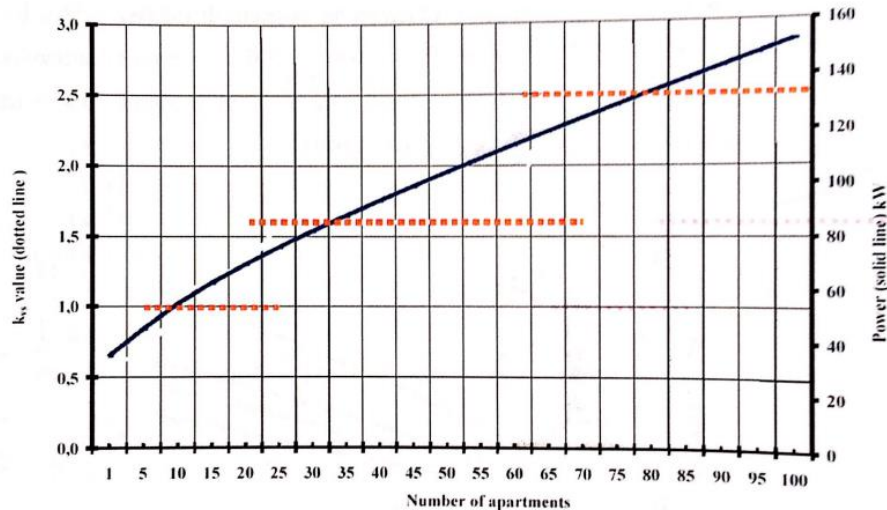
## 9.1 Säätöventtiilin mitoitus Ruotsissa

Svensk Fjärrvärme on luonut oman laskentamallin lämpimän käyttöveden säätöventtiilin mitoitukseen, kaukolämpölaitteiston suunnitteluun ja mitoitukseen tarkoitettussa julkaisussaan.

Säätöventtiili tulee laskentamallin mukaan valita niin, että käyttövesijärjestelmän ensiöpuolen painero on vähintään 150 kPa. Kaukolämmön lämpötilan ollessa 65°C, on lämpimän käyttöveden säätöventtiilin tarkoitus aiheuttaa vähintään 100 kPa painero, venttiilin ollessa täysin auki.

Seuraavassa kuvassa 7 esitellään miten säätöventtiilin  $k_v$ -arvo valitaan asuntojen lukumäärän funktiona Ruotsissa.

$K_v$ -arvot on kuvassa laskettu paineron ollessa 150 kPa ja kaukolämmön menoveden ollessa 65°C. Punaiset katkoviivat ilmaisevat säätöventtiilien  $k_v$ -arvoja: 1,0; 1,6 ja 2,5. Tehokäyrästä käy ilmi, että suurempaan säätöventtiilin tulisi siirtyä silloin kun tehokäyrä saavuttaa pienemmän venttiilin kapasiteetin.



Kuva 7 : Säätoventtiilin valinta asuntojen lukumäärän mukaan (Svensk Fjärrvärme, 2014)

## 10 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVESIJÄRJESTELMÄN MITOITUSPERIAATTEIDEN JA SUUNNITTELUN VERTAILU

Suomen ja Ruotsin lämpimän käyttövesijärjestelmän suunnittelussa ja mitoitusperiaatteissa löytyy suuriakin eroja. Huomattavat erot maiden välillä näkyvät lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaaman, lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimeen ja säätoventtiilin mitoitusperiaatteissa. Ruotsissa kaukolämmön ensiöpuolen mitoitettava tulolämpötila on 5°C matalampi kuin Suomessa. Kaukolämmön ensiöpuolen mitoitettava paluulämpötila vaihtelee 20-22°C välillä Ruotsissa, kun Suomessa taas mitoitetaan aina samalla 20°C paluulämpötilalla. Myös lämpimän käyttöveden mitoituslämpötila toisiopuolella on 3°C alhaisempi Ruotsissa kuin Suomessa. Ruotsissa käytetään 55°C lämpimän käyttöveden järjestelmän mitoituslämpötilana, kun taas Suomessa käytetään 58°C. Mitoituslämpötilojen vaikutukset tulevat parhaiten esiin lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimeen teholasennassa, jossa lämmönsiirtimeen teho on vahvasti riippuvainen lämpötilaeroista ja virtaamasta lämmönsiirtimeen läpi. Teholaskennassa ensiöpuolen ja toisiopuolen tulo- ja paluulämpötiloilla on yhdessä mitoitettavan mitoitusvirtaaman kanssa suurin vaikutus lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimeen tehoon.

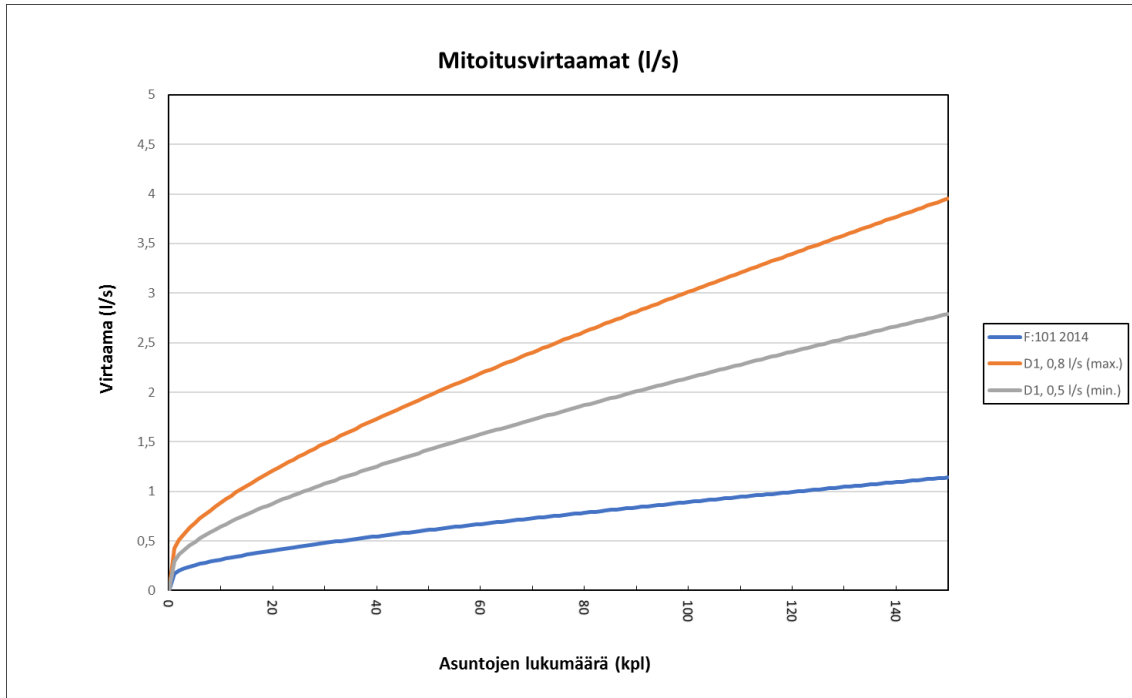
Maiden mitoitusvirtaamien eroavaisuudet paljastuvat, kun mitoitusvirtaamia vertaillaan keskenään asuntojen lukumäärän mukaan. Suomessa käytetään mitoitusvirtaamien laskentaan normivirtaamien summaan perustuvaa laskentayhtälöä, missä muuttuvia tekijöitä



ovat: suurin normivirtaamien summa mitoitettavassa putkessa ja liitettyjen vesipisteiden keskimääräinen normivirtaama yhdessä asuntojen lukumäärän mukaan. Ainut muuttuva tekijä Ruotsin lämmönsiirtimen mitoitusvirtaamalaskennassa on taas asuntojen lukumäärä.

Lämmönsiirtimen mitoitusvirtaamaa onkin tiukennettu Ruotsissa muutaman vuoden välein. Samanaikaisuustekijää on tiukennettu vuodesta vuoteen, jotta virtaaman kasvu on saatu pienennettyä asuntojen lukumäärien kasvaessa [9].

Seuraavassa kuvassa 8 on vertailtu Suomen rakentamismääräyskokoelman D1-julkaisun jakojohdosten mitoitusperiaatetta, Ruotsin Svensk Fjärrvärme F:101-julkaisuun. D1-julkaisussa on käytetty asuntokohtaisina oletuksina 0,8 l/s ja 0,5 l/s, normivirtaamien summana. Maksimioletuksena normivirtaamien summalle on käytetty 0,8 l/s, jota voidaan laskennassa käyttää, vaikka normivirtaamien summa olisikin suurempi todellisuudessa. Maksimioletuksena asunnossa olisi neljä vesikalustetta, josta tulisi lämmintä käyttövedettä, eli astianpesuallas, pesuallas, suihku ja kylpyamme. Minimioletuksena on käytetty 0,5 l/s, normivirtaamien summana. Minimioletuksessa asunnossa olisi astianpesuallas, pesuallas ja suihku.



Kuva 8: Suomen ja Ruotsin mitoitusvirtaamat lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimelle asuntojen lukumäärän funktiona

Kuvasta 8 näkee hyvin esimerkiksi että 40 asunnon F:101 mitoitusvirtaama on 44 % D1:n minimimitoituksesta ja 32 % D1:n maksimimitoituksesta. 120 asunnossa F:101 mitoitusvirtaama on 41 % D1:n minimimitoituksesta ja 29 % D1:n maksimimitoituksesta. Kun asuntoja on 240, on suhde pienentynyt entisestään Suomen ja Ruotsin mitoitusvirtaamien välillä. Svensk Fjärrvärmen F:101 mitoitusvirtaama on 40 % Suomen D1:n minimivirtaamasta, kun asuntoja on 240 kappaletta. F:101 mitoitusvirtaama 240 asunnon kohdalla on enää vain 30 % D1:n maksimivirtaamasta. Kuvasta 8 voi havaita, että asuntojen lukumäärän kasvaessa erot kasvavat mitoitusvirtojen välillä.

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaamaalla ja toisiopuolen mitoituslämpötiloilla on suuri vaikutus lämmönsiirtimen tehoon, koska veden ominaislämpökapasiteetti ja tiheys pysyvät liki samana koko prosessin ajan. Myös kaukolämmön tulo- ja paluulämpötilat vaikuttavat lopulliseen lämmönsiirtimen tehoon.

Suomessa käytetään sisään tulevan kylmän käyttöveden mitoituslämpötilana 10°C ja lähtevän lämpimän käyttöveden mitoituslämpötilana 58°C. Ruotsissa käytetään sisään tulevan kylmän käyttöveden mitoituslämpötilana 10°C ja lähtevän lämpimän käyttöveden mitoituslämpötilana 55°C. Seuraavassa esimerkkilaskennassa verrataan 120 asunnon lämmönsiirintehoja Suomen ja Ruotsin välillä asuntojen lukumäärän funktiona:

120 asunnon lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen teho Suomessa (minimimitoituksella laskettuna):

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama: 2,41 dm<sup>3</sup>/s

Käyttövedenlämpötila: 58°C

Kylmän veden lämpötila: 10°C

$$\dot{Q} = 2,41 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot 1,0 \text{ kg/dm}^3 \cdot (58^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 484 \text{ kW}$$

120 asunnon lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen teho Ruotsissa:

Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama: 0,99 dm<sup>3</sup>/s

Käyttövedenlämpötila: 55°C

Kylmän veden lämpötila: 10°C

$$\dot{Q} = 0,99 \text{ dm}^3/\text{s} * 4,18 \text{ kJ/kgK}^\circ\text{C} * 1,0 \text{ kg/dm}^3 * (55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 187 \text{ kW}$$

Vertailussa ei ole huomioitu kaukolämmön tulo- ja paluu lämpötiloja.

Vertailussa ilmenee, että Ruotsin lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitus-teho jää huomattavasti Suomen mitoittavasta tehosta. 120 asunnon kohdalla Suomen lämmönsiirtimen mitoitus-tehossa on noin 60 % enemmän tehovarauskapasiteettia Ruotsin lämmönsiirtimeen verraten.

Lämmönsiirtimen tehokapasiteetti Ruotsiin nähden vain suurenee, kun asuntojen määrä kasvaa entisestään. Taulukosta 2 voi tarkastella mitoitusvirtaamien suhdetta lämmönsiirtimen tehoon kaukolämmitetyissä asuinrakennuksissa, kun asuntojen määrä vaihtelee 40-240 asuntoon.

Taulukko 2: Suomen ja Ruotsin mitoitusvirtaamien ja lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen tehojen suhde asuntojen lukumäärään.

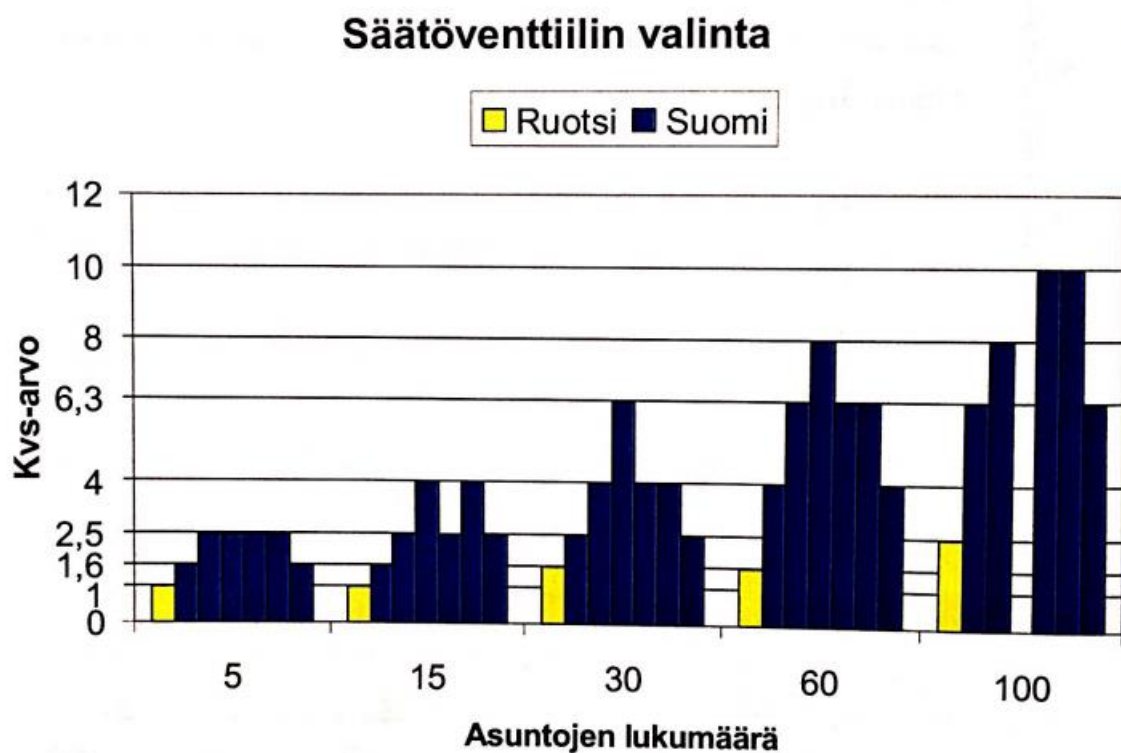
Asuntoja (kpl)	Mitoitusvirtaama (l/s)	Teho (kW)
	<b>F:101</b>	
40	0,55	103
80	0,78	148
120	0,99	187
160	1,19	224
200	1,38	260
240	1,56	293
Asuntoja (kpl)	Mitoitusvirtaama (l/s)	Teho (kW)
	<b>D1 : (0,5 l/s)</b>	
40	1,25	252
80	1,87	375
120	2,41	484
160	2,91	585
200	3,39	682
240	3,86	775
Asuntoja (kpl)	Mitoitusvirtaama (l/s)	Teho (kW)
	<b>D1 : (0,8 l/s)</b>	
40	1,73	326
80	2,61	492
120	3,40	640
160	4,13	779
200	4,84	912
240	5,53	1041

Ruotsissa ja Suomessa käytetään samaa laskentaperustaa säätöventtiilin kapasiteetin ( $k_v$ -arvo) ja auktoriteetin ( $\beta$ ) laskentaan.

Suomessa kuitenkin lopulliseen säätöventtiilin valintaan vaikuttaa suuresti paikalliset energiayhtiöt. Energiayhtiöt määrittelevät mitoitusarvojen mukaisilla kaukolämmön virtaamilla ja käytettävissä olevalla paine-erolla asuinrakennuksiin käytettävän säätöventtiilin. Ruotsissa energiayhtiöt eivät niinkään ota huomioon paikkakuntaisia eroavaisuuksia.

Kuvassa 9 on esitetty esimerkki Suomen eri energiayhtiöiden sallimista säätöventtiileistä, suhteutettuna Ruotsin käytettäviin säätöventtiileihin.

Kuvasta voi huomata, että Ruotsissa säätöventtiilin mitoitus on huomattavasti tiukempi asuntojen lukumäärän kasvaessa kuin Suomessa. Ruotsissa käytetään vielä 100 asunnon kohdalla  $k_v$  - arvoltaan samaa säätöventtiiliä kuin Suomessa viiden asunnon kohteissa. On hyvä muistaa, että Ruotsissa kaukolämmön matalammat mitoitettavat tulo- ja paluu- lämpötilat pienentävät käytettävän säätöventtiilin suhdetta Suomeen verrattuna.



Kuva 9: Esimerkki Suomessa ja Ruotsissa käytettävistä lämpimän käyttöveden säätöventtiileistä asuinrakennuksissa (Koivuniemi, Janne 2005)

Todellisuudessa lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimen ja säätöjärjestelmän mitoitusperiaate asuinrakennuksissa on yleisesti riittävä kaikissa toimintatilanteissa, niin Suomessa kuin Ruotsissakin. Suurin ongelma piilee sisään tulevan talousveden vesijohdon liian pienestä paineesta. Talousveden paine ei yksinkertaisesti riitä takaamaan suurissa ja korkeissa asuinrakennuksissa jokaiselle lämminvesikalusteelle suunniteltua lämpimän käyttöveden lämpötilaa [16].

Ruotsissa lämpimän käyttöveden lämpötilan huojuntaan vaikuttaa hyvin yleisesti LVI-suunnittelijan säätöventtiilin mitoituksessa tehdyt virhelaskennat. Energiayhtiöiden ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero kaukolämpöverkostossa oletetaan olevan suurempi kuin se todellisuudessa onkaan ja näin mitoitus on virheellinen. Säätöventtiiliksi valitaan useasti astetta liian suuri venttiili. Näissä tapauksissa säätöventtiilin vaihto  $k_v$  -arvoltaan pienempään venttiiliin ratkaisee ongelman [16]. Mutta yleensä tämä pyyntö tulee vasta taloyhtiöltä, kun virhe on havaittu.

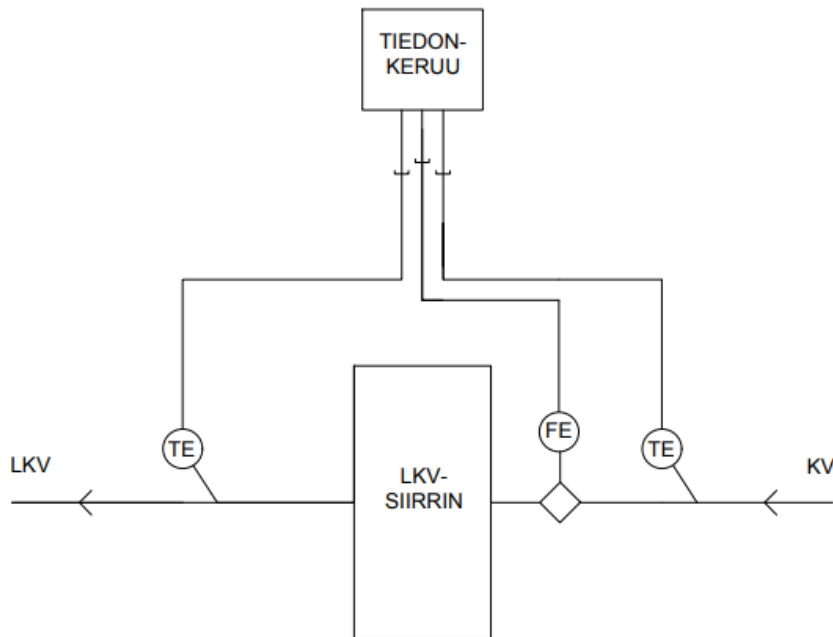
Ruotsissa kaukolämpöä myyvät energiayhtiöt neuvovatkin LVI-suunnittelijaa noudattamaan sekä F:101-julkaisua että heidän omia ohjeitaan mitoituksessa ja suunnittelussa. Yhteistyöllä löydetään yleensä se toimivin ratkaisu lämpimän käyttöveden kulutukseen. Tilanteissa joissa LVI-suunnittelija on kysynyt lämmönmyyjältä käytettävissä olevan paine-eron mitoitusvirtaamalla ja kaukolämmön lämpötilat, on mitoituksen epäonnistumisen virhemarginaali hyvin pieni [16].

## **11 LÄMPIMÄN KÄYTTÖVESIJÄRJESTELMÄN TODELLISTEN VIRTAAMIEN- JA LÄMPÖTILOJEN TIEDONKERUU**

Todellisuudessa lämpimän käyttöveden todellisten virtaamien tiedonkeruu ei ole mahdollista ilman käytännön mittauksia. Suomen ja Ruotsin mitoitusperiaatteet toimivat ainoastaan suunnan näyttäjinä todelliseen lämpimän käyttöveden kulutukseen ja toimivuuteen nähden. Käytännön mittausten kautta voidaan todellisia lämpimän käyttövesiverkoston maksimivirtaamia ja lämpötilojen vaihteluja seurata eri ajanjaksoilla. Näiden pitkäkestoisien lämpimän käyttöveden mittausten kautta saataisiin oikea kuva asuinrakennuksissa käytettävistä maksimivirtaamista ja lämpimän käyttöveden kulutuksista.

## 11.1 Mittauslaitteisto

Lämpimän käyttöveden maksimivirtaamien ja lämpötilojen mittauslaitteistona toimisi: ultraäänivirtausmittari (FE), kaksi pintalämpötila-anturia (TE) ja tiedonkeruulaitteisto. Seuraavassa kuvassa 10 on esitetty mittauslaitteiston periaatekuva mahdollisten tutkimuskohteiden lämmönjakohuoneissa.



Kuva 10: Periaatekuva asennetusta lämpimän käyttöveden mittauslaitteistosta

Ultraääni-mittaustekniikkaan perustuva virtausanturi asennettaisiin kylmän veden menoputkeen, aivan lämmönsiirtimen läheisyyteen. Pintalämpötila-anturit asennettaisiin molemmille puolille lämmönsiirrintä. Lämmönjakohuoneen seinälle asennettaisiin tiedonkeruulaitteisto, virtaus- ja pintalämpötila-anturien datalle.

Ultraäänivirtausmittarin toimintaperiaate perustuu kahden ultraäänianturin lähettämään äänisignaaliin. Yksi anturi lähettää äänisignaalin käyttövesivirtaaman suuntaisesti ja toinen virtaamaa vastaan. Signaalien vastaanottamisen välinen aikaero muutetaan laskennan kautta nopeudesta tilavuusvirraksi. Pintalämpötila-anturit asennetaan kylmän veden ja lämpimän käyttöveden putkiin pinta-asennuksina. Pintalämpötila-anturit mittaavat put-

ken ulkopinnan lämpötilan avulla putken sisällä virtaavan nesteen lämpötilaa. Putken sisällä virtaavan käyttöveden lämpötilan voi laskea ulkopinnan avulla, koska lämpötilaero nesteen ja pinnan välillä on hyvin olematon.

Pintalämpötila-anturit on eristettävä ennen mittauksia, jotta lämmönjakokeskuksen lämpösäteily ei häiritse mittaustulosta. Virtaama- ja lämpötilatiedot välittyvät ohjelmoitavan logiikkamoduulin kautta tietokoneen luentaohjelmaan, jossa niitä voidaan vertailla keskenään.

Jotta mahdollisten tutkimuskohteiden virtaama- ja lämpötilalaskelmat olisivat vertailukelpoisia keskenään, olisi erittäin tärkeää saada kattava otos erikokoista ja erilaisista asuinrakennusten lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimistä. Kaikkein tärkeintä olisi pitää samat mittausajanjakot jokaisessa vertailukohteessa. Myös katkeamatonta mittausdataa olisi tärkeitä saada koko ajanjakson ajalta. Mittausväleinä tulisi käyttää 30-60 sekuntia ja mittausajanjaksona vähintään kuukautta, riittävän mittausdatan saamisen kannalta. Toimintavirheetön tiedonkeruulaitteisto olisi myös edellytys tutkimuksen virheettömyyden läpi vientiin.

## **12 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET**

Suomessa ja Ruotsissa kaukolämpöä myyvät energiayhtiöt eivät nykypäivänä kerää tilastoja lämpimän käyttöveden kulutuksesta asuinkiinteistöissä, koska yleensä lämmönsiirtimen ja säätölaitteiston omistaa taloyhtiö. Kaukolämmönmyyjät tilastoivat ainoastaan kaukolämmön meno- ja paluuvien lämpötilaa ja virtaamaa tietämättään todellisesta lämpimän käyttöveden kulutuksesta mitään. Lämpimän käyttöveden energiakulutuksen näkökulmasta tämä ei ole kaikin puolin suotava tilanne. Käytännön mittauksia olisi aika tehdä ja mitoitusperiaatteita tarkennettava entisestään, jotta lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimien ylimitoituksista päästäisiin eroon.

Suomen ja Ruotsin kaukolämmitteisten asuinrakennusten lämpimän käyttövesijärjestelmän ja lämmönsiirtimen suunnittelussa ja mitoitusperiaatteissa on paljon yhtäläisyyksiä, mutta myös paljon eroavaisuuksia vaikka lämpimän käyttöveden kokonaiskulutuksen käytössä ei suuria eroja maiden välillä ole.

Yllättävää vertailussa oli se, että Ruotsin lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaaman laskentayhtälöstä saatava mitoitusvirtaama on niinkin pieni suhteutettuna Suomen D1:n minimimitoitusoletukseen. Opinnäytetyössäni selvisi, että nykyinen Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 mukainen mitoitusperiaate jakojohdon mitoitusvirtaamalle saattaa olla liian tiukka ja Ruotsin vastaava mitoitusperiaate liian väljä. Optimaalisin mitoitusperiaate olisikin yksinkertaisesti jokin Suomen ja Ruotsin käytäntöjen välimaastosta, joka perustuisi todellisten maksimivirtaamien ja lämpötilojen käytännön mittauksiin.

Mitoituksen- ja suunnittelun vertailusta voi päätellä, että LVI-suunnittelijan mitoittaessa lämpimän käyttöveden lämmönsiirrintä Suomen rakentamismääräyskokoelman D1 osan ja Energiategollisuus Ry:n K1-julkaisun mukaan, voi laskennassa tapahtua ylimitoitusta. Suomessa onkin syytä miettiä, onko Suomen D1:n jakojohdojen mitoitusvirtaaman mitoitusperiaate riittävän tarkka lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimeen mitoitusvirtaamaan kaukolämmityksessä asuinrakennuksissa, tai olisiko aika siirtyä Ruotsin malliin, jossa kaukolämmön tuottajilla olisi oma mitoitusperiaate lämmönsiirtimeen mitoitusvirtaaman mitoitusvirtaamaan.

Ruotsissa taas mitoitusperiaate on hyvin todennäköisesti lähempänä käytännön toteutusta, mutta selvittävää jää riittääkö lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimeen teho kaikissa käyttöolosuhteissa viranomaismääräysten tasolle.

Niin Ruotsissa kuin Suomessa olisi tarpeen tehdä jatkotutkimusta, niin lämpimän käyttöveden todellisista käyttölämpötiloista, raajan talousvesiputken kokonaispaineesta, kaukolämpöverkon todellisista paine-eroista kuin lämmönsiirtimeen käytettävistä huipputehoista. Edellä mainittujen tutkimusten kautta sitten analysoida, mikäli lämmönsiirtimeen mitoitus riittää takaamaan asuinrakennuksen lämpimän käyttöveden tarvittavan energiatarpeen kaikissa olosuhteissa. Varsinkin kesäaikaan tutkimuksesta saisi kaiken oleellisen irti, jolloin kaukolämmön menolämpötila on alhainen ja asuinrakennuksen lämmitykseen menevä kaukolämpö ei häiritse lämpimän käyttöveden kulutusta.

Käytännön tutkimuksen kautta vertailu olisi luotettavampaa ja tavoitteena voisi olla maiden mitoitusperiaatteiden täsmennys. Tutkimuksen kautta saataisiin myös tietää kumman maan mitoitus- ja suunnitteluperiaate vastaa käytännön toteutusta parhaiten.



Jotta käytännön tutkimuksesta tulisi riittävän kattava olisi tutkimukseen osallistuttava mahdollisimman moni viranomaistaho ja kaupallinen yritys, sekä muutamia taloyhtiöitä. Hyvällä tutkimuksella todennäköisesti saavutettaisiin optimaalinen mitoitus lämmönsiirtimeille ja lämmönsiirtimeiden säätö saataisiin tarkemmaksi. Oikeanlaisella mitoituksella ja suunnittelulla helpotetaan niin energiayhtiön kuin kulutuskäyttäjien arkea, kun lämmin käyttöjärjestelmä toimii tarkoituksen mukaisesti, jolloin se on myös energiatehokas [16].

## LÄHTEET

- [1] Olli Seppänen, *Rakennusten lämmitys*, 2-painos. Suomen LVI-liitto, 2001.
- [2] S. Frederiksen ja S. Werner, *Fjärrvärme-Teori, teknik och funktion*. Lund: Studentlitteratur, 1993.
- [3] V.M. Mäkelä ja J. Tuunanen, *Suomalainen kaukolämmitys*. MAMK-University of Applied Sciences, 2015.
- [4] O. Seppänen ja M. Seppänen, *Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka*, 5-painos. Sisäilmayhdistys Ry, 2010.
- [5] Energiateollisuus Ry, *Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet (K1)*, 2013.
- [6] Energiateollisuus Ry, *Kaukolämpötilasto 2016*, [www] Luettu 29.1.2018  
Saatavissa: [https://energia.fi/files/2085/Kaukolampotilasto\\_2016.pdf](https://energia.fi/files/2085/Kaukolampotilasto_2016.pdf)
- [7] Suomen rakentamismääräyskokoelma, *Kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistot määräykset ja ohjeet (D1)*. Ympäristöministeriö, 2007.
- [8] Energiateollisuus Ry, *Energiavuosi 2017* (Power Point-esitys), [www] Luettu 16.2.2018  
Saatavissa: [https://energia.fi/ajankohtaista\\_ja\\_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi\\_2017\\_-\\_kaukolampo.html#material-view](https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energiavuosi_2017_-_kaukolampo.html#material-view)
- [9] J. Koivuniemi, *Lämpimän käyttöveden mitoitusvirtaama ja lämpötilakriteerit veden mikrobiologisen laadun kannalta kaukolämmityissä asuinrakennuksissa*. Diplomityö, Espoo: Teknillinen Korkeakoulu, Konetekniikan osasto, 2005.
- [10] H. Vainikka, *Kaukolämmön käyttöveden lämmönsiirtimien mitoitus teoria ja toteutuminen*. Opinnäytetyö, Mikkeli: Mikkelin Ammattikorkeakoulu (MAMK), Talotekniikan koulutusohjelma, 2010.
- [12] Svensk Fjärrvärme Ab, *Fjärrvärmecentralen utförande och installation, Tekniska bestämmelser (F:101)*, 2014. [www] Luettu 1.4.2018

Saatavissa: <https://www.tekniskaverken.se/siteassets/tekniska-bestammelser-fjarrvarme-centralen-f101.pdf>

[13] Boverkets byggregler, *Föreskrifter och allmänna råd* (BBR). Boverket, 2017.  
[www] Luettu 1.4.2018.

Saatavissa: <http://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/>

[14] Energimyndigheterna, *Energistatistik i flerbostadshus 2017* (Excel-taulukko)

[www] (Luettu 7.4.2018)

Saatavissa: <http://www.energimyndigheten.se/statistik/bostader-och-lokaler/?current-Tab=1#mainheading>

[15] Energiföretagen Sverige Ab, *Fjärrvärme på djupet*, 2016.

[www] (Luettu 12.4.2018)

Saatavissa: <https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/det-erbjuder-vi/rapporter-och-dokument-fjarrvarme/fjarrvarme-pa-djupet.pdf>

[16] Lund, Hans. Tekninen johtaja, Stockholm Exergi Ab. Haastattelu 25.4.2018.