



Asiakas: Energiateollisuus ry

Projekti: Kaukolämpöasiakkaiden mitoituslämpötilan laskeminen

Projektinumero: 101013094

Raportti

Kaukolämpöasiakkaiden mitoituslämpötilan laskeminen 12/08/2020

Projekti ID
101013094
Mobile
+358 50 346 1524
E-mail
jesper.laitinen@AFRY.com

Asiakas
Energiateollisuus ry

Kaukolämpö ja kaukokylmä, AFRY Finland Oy

Tarkastaja
Jesper Laitinen
12.8.2020

Hyväksyjä
Jouni Laukkanen
16.6.2020

Sisällysluettelo

1	Johdanto	7
2	Kaukolämpö	8
2.1	Kaukolämpöjärjestelmä	8
2.2	Lämmönjakokeskus ja lämmönsiirtimet	9
2.3	Nykyiset mitoituslaitteet.....	10
2.3.1	Mitoituslämpötilat	10
2.3.2	Mitoituspainet ja virtausnopeudet	16
3	Vaikutus lämmönsiirtimiin	17
3.1	Lämmönsiirron teoria	17
3.2	Lämmönsiirtimen pinta-alan kasvu.....	19
3.3	Lämmönsiirtimen virtauksen kasvu	22
4	Mitoituksen vaikutus asiakkaalle	24
4.1	Laitehankintakustannusten kasvu	24
4.1.1	Pientalo	26
4.1.2	Kerrostalo	27
4.1.3	Toimistorakennus.....	28
4.1.4	Yhteenveto hankintakustannuksista.....	29
4.2	Mahdollisia etuja asiakkaalle siirtymävaiheessa	29
4.2.1	Tehomaksu	29
4.2.2	Liittymismaksu	31
4.3	Sopimusehdot	32
5	Vaikutus kaukolämmön tuotantoon ja verkkoon	34
5.1	Kaukolämpöverkon säätö ja lämpöhäviöt	34
5.1.1	Verkon lämpöhäviöt	36
5.1.2	Verkon pumppaus	36
5.2	Uudet lämmönlähteet ja lämpöpumput	38
5.3	Lämmöntalteenotto savukaasuista	38
5.4	Muita hyötyjä kaukolämpöjärjestelmälle	39
6	Yhteenveto.....	40

Lista taulukoista

Taulukko 1. Uudisrakennuksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Energiateollisuus 2014).....	11
Taulukko 2. Olemassa olevan rakennuksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Energiateollisuus 2014).....	12
Taulukko 3. Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Energiateollisuus 2014).....	13
Taulukko 4. Mitoittavat ulkolämpötilat eri ilmastoalueilla (Ympäristöministeriö 2017a).....	14
Taulukko 5. Tyyppirakennukset	24
Taulukko 6. Pientalokeskuksien hankintakustannukset	26
Taulukko 7. Kerrostalokeskuksien hankintakustannukset	27
Taulukko 8. Toimistorakennuskeskuksien hankintakustannukset.....	28
Taulukko 9. Virtauksen muutos siirtymävaiheessa uusituissa kohteissa ensiömenomitoituslämpötila 90 °C:lle	30
Taulukko 10. Vesivirtamaksun hinnoittelua	31
Taulukko 11. Liittymismaksun hinnoittelua.....	32

Lista kuvista

Kuva 1. Kaukolämmön tuotanto, jakelu ja kulutus	8
Kuva 2. Peruskytkennän mukainen lämmönjakokeskus (Energiateollisuus 2014).....	9
Kuva 3. Vastavirtalevyllämmönsiirrin (SWEP 2019).....	10
Kuva 4. Espoon kaukolämpöverkon toisiomenolämpötiloja (Hölsä 2020).....	13
Kuva 5. Suomen säävyöhykkeet (Ympäristöministeriö 2017a).....	14
Kuva 6. Kaukolämpöverkon ja ulkoilman lämpötilan korrelaatio (Ilmatieteen laitos 2020)	15
Kuva 7. Lämmityslämmönsiirtimen pinta-alan kasvu tulomitoituslämpötilan funktiona	19
Kuva 8. Käyttövesilämmönsiirtimen pinta-alan kasvu tulolämpötilan funktiona	20
Kuva 9. 200 kW:n lämmönsiirtimen pinta-alan kasvu eri laskentameteodeilla toisiolämpötiloille 80–60 °C	21
Kuva 10. 200 kW:n lämmönsiirtimen pinta-alan kasvu eri laskentameteodeilla toisiolämpötiloille 70–40 °C	21
Kuva 11. Virtauksen kasvu eri lämmityslämmönsiirtimille	22
Kuva 12. Virtauksen kasvu käyttövesilämmönsiirtimelle	23
Kuva 13. Kaukolämpöverkon säätökäyrän pudotus	35
Kuva 14. Pysyvyyskäyrä ja laskennalliset verkon säätökäyrät	35

Merkinnot ja lyhenteet

A	[m ²]	pinta-ala
alv		arvonlisävero
c _p	[J/kgK]	ominaislämpökapasiteetti
COP		hyötysuhdekerroin, Coefficient of Performance
COP _H		COP lämmittäessä
D _h	[m]	karakteristinen mitti
h	[W/m ² K]	lämmönsiirtokerroin
IV		ilmanvaihto
K	[W/K]	lämmönläpäisy-luku
k	[W/mK]	lämmönjohtavuus
KL		kaukolämpö
LLY		Lämpölaiteyhdistys ry
LTO		lämmöntalteenotto
m'	[kg/s]	massavirta
Nu		Nusseltin luku
P	[W]	sähköteho
p	[Pa]	paine
Pr		Prandtlin luku
Q'	[W]	lämpöteho
Q' _h	[W]	lämpöhäviö
Q' _{kv}	[W]	käyttöveden lämmönsiirtimen teho
Q' _i	[W]	lämmityksen lämmönsiirtimen teho
Q' _{p%}	[W]	pesurin tehon osuus kattilatehosta
Q' _s	[W]	sopimusteho
Re		Reynoldsin luku
s	[m]	paksuus
T	[°C tai K]	lämpötila
T _C	[K]	lämpöpumpun höyrystimen lämpötila
T _g	[°C tai K]	maaperän lämpötila
T _H	[K]	lämpöpumpun lauhduttimen lämpötila
T _m	[°C tai K]	kaukolämpöverkon menolämpötila
T _p	[°C tai K]	ensiöpaluulämpötila
T _t	[°C tai K]	tulolämpötila
T _{2.m}	[°C tai K]	toisiomenolämpötila
T _{2.p}	[°C tai K]	toisiöpaluulämpötila
U	[W/m ² K]	lämmönsiirtoluku
V'	[m ³ /s]	tilavuusvirta
ΔT	[°C tai K]	lämpötilaero
ΔT _{ln}	[°C tai K]	logaritminen lämpötilaero
η		hyötysuhde
μ		polttoaineen kosteus
N	[m/s]	virtausnopeus
v	[m ² /s]	kinemaattinen viskositeetti
ρ	[kg/m ³]	tiheys

Tiivistelmä

Kaukolämpöön liitettävien rakennusten lämmönjakokeskusten tulomitoituslämpötilana käytetään 1970-luvulla laadittua suositusta, joka on 115 °C. Lämmönjakokeskuksen muut mitoituslämpötilat ovat laskeneet tekniikan kehittyessä ja energiatehokkuuden parantuessa, jolloin myös tulomitoituslämpötilaa voitaisiin laskea.

Tämä selvitys arvioi erityisesti tulomitoituslämpötilan alentamisen vaikutuksia asiakkaalle. Tulolämpötilan lasku kasvattaa asiakkaan lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimien lämmönsiirtopinta-aloja, jolla on edelleen keskuksen hankintakustannusta korottava vaikutus. Arvion perusteella lämmönsiirtimien pinta-ala kasvaa toisiolämpötiloista riippuen keskimäärin noin 40 %, jos tulomitoituslämpötilaa laskettaisiin 25 °C:lla. Selvitykseen pyydettiin lämmönjakokeskus-toimittajilta kustannusarvioita mitoituslämpötilojen alentamisen vaikutuksista keskuksien hankintakustannuksiin. Niiden perusteella tulomitoituslämpötilan laskeminen 115 °C:sta 90 °C:een kasvattaisi lämmönjakokeskuksen laitehankintakustannuksia keskimäärin noin 5 %.

Kaukolämpöverkon lämpötilatason alentamista voi rajoittaa asiakaslaitteet tai asiakaslaitteet ja verkon siirtokapasiteetti. Nykyisten mitoituslämpötilojen käytön jatkaminen siirtää lämpötilatason pudottamisen mahdollisuuden pidemmälle tulevaisuuteen. Selvityksen perusteella mitoituslämpötilojen lasku ei aiheuta voimakasta kustannusten kasvua asiakkaille. Joissain tapauksissa asiakkaat saisivat säästöjä vesivirtaperusteisessa tehomaksussaan uudelleenmitoituksen ansiosta. Laajemmin tarkasteltuna laitehankintakustannus on pieni osa lämmityksen kokonaiskuluista, jolloin uudelleenmitoituksen vaikutus kokonaiskuluihin on vähäinen pitkän aikavälin yli tarkasteltuna.

Kaukolämpöjärjestelmä hyötyisi tulolämpötilan laskusta. Sillä olisi nykyisen lämmöntuotannon hyötysuhdetta parantava vaikutus ja matala tulolämpötila mahdollistaisi uudet lämmönlähteet verkossa. Esimerkiksi hukkalämpöä voisi hyödyntää entistä paremmin.

Uusiutuva ja vähemmän polttotekniikkaan nojautuva kaukolämpö on teknisesti mahdollinen ja ympäristöystävällinen ratkaisu. Tämän päivän toiminnassa on hyvä ottaa huomioon tulevaisuuden näkymiä, jotta uusi ja vanha tekniikka voidaan sovittaa yhteen jatkossa.

Abstract

Finnish district heating (DH) supply temperatures are based on 1970's recommendations on temperature levels in the DH network. The current incoming temperature used for dimensioning is 115°C, although other temperatures for dimensioning have dropped over the years with technical improvements.

This study surveys the effects of lowering the supply temperatures, especially for customers. Lowering the temperature levels increases the heat transferring surface area of the heat exchangers in DH substations at the customer end. Larger heat exchangers cause increasing substation acquisition costs. Heat transfer calculations estimate that the surface area increases ca. 40%, heavily depending on the secondary temperatures, if the supply temperature would drop 25°C. DH substation manufacturers were asked to estimate the price increase if dimensioning temperatures would be lowered. Excluding all other costs, the price of a basic substation would increase ca. 5% with a 25°C drop.

Low DH temperature levels can be restricted by either substations or substations and the transfer capacity of the DH network. Keeping the current temperatures for dimensioning prevents lowering the temperatures in the future. However, lower temperatures do not seem to cause unreasonable costs for customers. At some cases, customers would benefit from lower temperatures due to the lower connection water-flow-based heating fees. Substation acquisition costs are a small fraction of the overall heating costs. This leads to diminishing heating costs caused by lower temperatures.

The whole DH system would benefit from a lower temperature level. The efficiency of the existing heat production would improve, and above all, new heat sources would be more compatible with the network. For example, utilizing waste heat would become more available for DH.

Renewable and less combustion dependent heat production is technically viable and environmentally friendly. The DH sector could further assess future prospects, consequently enabling the old and new technology to work together.

1 Johdanto

Energiateollisuus ry:n toimeksiannosta AFRY Finland Oy selvitti kaukolämpö-asiakkaiden tulomitoituslämpötilan alentamisen vaikutuksia lämmönjakokeskusten hankintakustannuksiin ja yleisemmin kaukolämpöjärjestelmään.

Tällä hetkellä tulomitoituslämpötilana käytetään Lämpölaitosyhdistys ry:n suosituskäyrän (LLY-käyrä) mukaista tulolämpötilaa 115 °C. Jotta kaukolämpöverkkoja voisi operoida tulevaisuudessa matalammilla lämpötiloilla, tulee asiakslaitteiden mitoituksia tarkastella. Lähtöoletuksena selvitykselle on ollut, että matalampi lämpötila riittäisi kaukolämmön tarpeisiin niin asiakkaan kuin tuotannon näkökulmasta.

Työn tavoitteena on arvioida kuinka paljon tulomitoituslämpötilaa voi laskea, ennen kuin lasku alkaa aiheuttamaan kohtuutonta hankintakustannusten kasvua asiakkaille tai vaikuttamaan asiakkaiden asumismukavuuteen. Työssä keskitytään myös uuden mitoituksen hyötyihin ja haittoihin, sekä asiakkaille että kaukolämpöyhtiöille. Myös sopimusteknisiä asioita tarkastellaan.

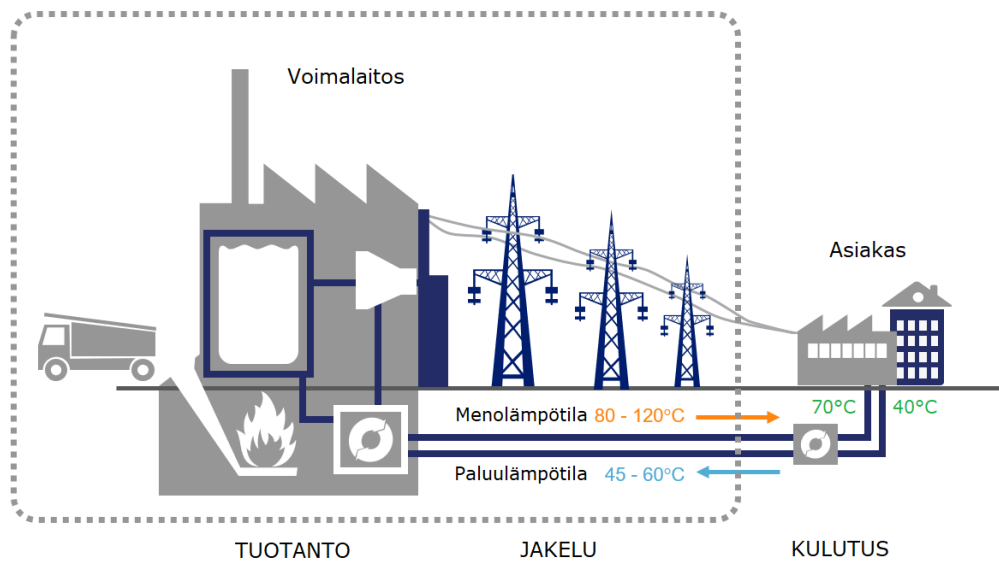
Työ on Jesper Laitisen diplomityö. Työn ohjaajana on toiminut AFRYn kaukolämpöosaston johtaja Jouni Laukkanen ja työn ohjausryhmässä on ollut mukana asiantuntijat Mirja Tiitinen ja Harri Hillamo Energiateollisuus ry:stä, tekninen palvelupäällikkö Antti Hölsä Fortumista ja tekninen asiakaspalvelupäällikkö Marko Alen Helenistä.

2 Kaukolämpö

Tässä luvussa tutustutaan kaukolämpötekniikan perusteisiin ja lämmönjakokeskusten mitoittamiseen.

2.1 Kaukolämpöjärjestelmä

Kaukolämpöjärjestelmien lämpö tuotetaan tyypillisesti polttotekniikalla joko voimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa. Voimalaitoksissa höyrykattilan tuottama höyry lauhtuu ja jäähtyy kaukolämmönsiirtimessä, jossa lämpö siirtyy kaukolämpöverkkoon. Lämpökeskuksien kuumavesikattiloissa taas kiertää yleensä sama vesi kuin kaukolämpöverkossa. Ne voivat olla myös lämmönsiirtimellä erotettuja. Niin voimalaitoksissa kuin lämpökeskuksissa kaukolämpöpumppu pumppaa kuumaa menoveden verkkoon ja edelleen asiakkaille. Lämmöntoimittaja vastaa tarpeeksi korkeasta menolämpötilasta ja paineesta, kun taas asiakkaiden lämmönkulutus määrää verkon virtauksen. Kuva 1 esittää kaukolämpöjärjestelmää.



Kuva 1. Kaukolämmön tuotanto, jakelu ja kulutus

Kaukolämpöverkoissa on häviöitä kaukolämpöjohtojen ja niitä ympäröivän maan lämpötilaeron takia. Mitä korkeampi kaukolämpöveden lämpötila on, sitä enemmän häviöitä syntyy. Kaukolämpöverkon menolämpötilaksi kutsutaan lämmöntuotantolaitokselta lähtevän veden lämpötilaa ja tulolämpötilaksi asiakkaalle saapuvan veden lämpötilaa. Lämpöhäviöt aiheuttavat niiden eron ja tässä raportissa tarkastellaan tarkemmin tulolämpötilaa.

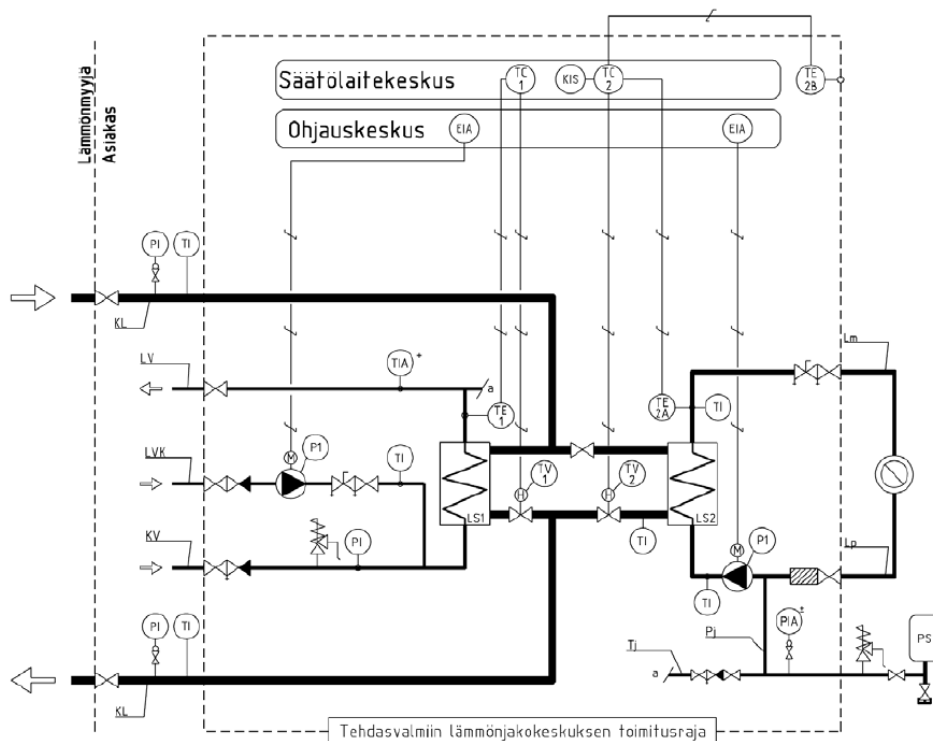
Loppuasiakkaan päässä kaukolämpöverkkoa on lämmönjakokeskus, jossa lämpö siirtyy verkosta rakennuksen lämmitysjärjestelmään.

2.2 Lämmönjakokeskus ja lämmönsiirtimet

Lämmönjakokeskus sijaitsee rakennuksen lämmönjakohuoneessa ja se muodostuu muun muassa lämmönvaihtimista, pumpuista, säätö- ja sulkuventtiileistä, paine- ja lämpötila-antureista ja säätökeskuksesta.

Suomessa kaukolämpöverkot eivät ole suoraan kytkettyjä rakennuksien lämmitysverkkoihin eli kaukolämpöverkon ja rakennuksen vesikierron ovat erillisiä. Lämmönjakokeskuksessa lämpö siirtyy lämmönsiirtimissä kaukolämpöverkon ensiöpuolelta rakennuksen toisiopuolelle. Ensiövirtauksella tarkoitetaan kaukolämpöveden virtausta ja toisiovirtauksella rakennuksessa kiertävän veden virtausta, esimerkiksi radiaattoriverkossa eli patteriverkossa.

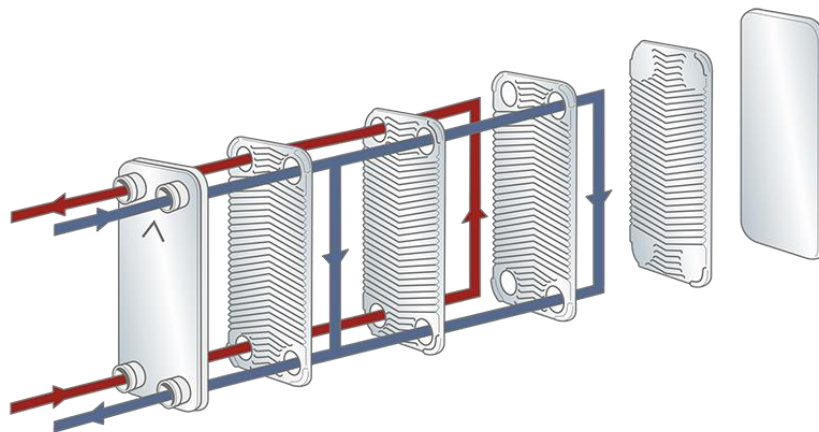
Lämmönjakokeskuksessa on yleensä vähintään kaksi lämmönsiirintä: yksi lämpimälle käyttövedelle ja yksi lämmitykselle. Lämmityssiirtimiä voi olla useampiakin, esimerkiksi ilmavaihdon tuloilman esilämmittämiseen. Lämmönsiirtimet kytketään lämmönjakokeskuksessa tyypillisesti rinnan, mutta erityisesti suurissa lämmönjakokeskuksissa lämmityssiirtimeltä palaavaa vettä hyödynnetään välisyöttökytkennällä käyttövesisiirtimessä. Kuva 2 esittää niin kutsuttua peruskytkentää, jossa lämmönsiirtimet ovat rinnan ilman edellä mainittua välisyöttöä.



Kuva 2. Peruskytkennän mukainen lämmönjakokeskus (Energiäteollisuus 2014)

Vuosien saatossa lämmönjakokeskuksissa on käytetty paljon erityyppisiä lämmönsiirtimiä, mutta nykyään käytännössä kaikkien tehdasvalmisteisten lämmönjakokeskusten lämmönsiirtimet ovat juotettuja vastavirtalevyllämmönsiirtimiä. Lämmönsiirtilevyt ovat niissä ruostumatonta tai haponkestävää terästä ja levypakka on juotettu yhteen kuparilla (Mäkelä ja Tuunanen 2015). Lämmönsiirtymän parantamiseksi siirtimissä käytetään vastavirtaa ensiö- ja toisiopuolien välillä, jolloin esimerkiksi lämmittäessä kuuma siirtimelle saapuva ensiövirtaus lämmittää jo siirtimessä lämmennyttä lähtevää toisiovirtausta.

Kuva 3 esittää vastavirtalevyllämmönsiirtimen toimintaperiaatetta (SWEP 2019).



Kuva 3. Vastavirtalevyllämmönsiirrin (SWEP 2019)

2.3 Nykyiset mitoitus- ja lämpötilat

Suomessa on merkittävä määrä erilaisia kaukolämpölämmitysjärjestelmiä ja -asiakkaita. Energiategollisuus ry:n Julkaisu K1/2013 *Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet* määrittää Suomessa kaukolämpöasiakkaiden mitoituksia lämmönjakokeskuksille (Energiategollisuus 2014).

2.3.1 Mitoituslämpötilat

K1/2013 määrittää muun muassa lämmönjakokeskusten mitoituslämpötilat. Tällä hetkellä mitoitukseen käytettävä ensiöpuolen tulolämpötila on 115 °C. Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila. Toisiopuolen lämpötilat vaihtelevat käyttökohteen mukaan. Taulukossa 1 on uudisrakennuksen lämmityksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat.

Taulukko 1. Uudisrakennuksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Energiäteollisuus 2014)

	Lämmönsiirtimen mitoituslämpötilat [°C]				
	Tulo	Ensiö		Toisio	
		Paluu	Paluu	Meno	
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys	115	33 (max)	30 (max)	45 (max)	
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys - poikkeustapaukset	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)	
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	35 (max)	
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	30 (max)	
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	115	33 (max)	30 (max)	60 (max)	
Huomautus	Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisipuolen paluulämpötila				

Olemassa olevien rakennusten lämmönsiirtimet mitoitetaan niiden olemassa olevien lämmitysjärjestelmien mukaisesti (taulukko 2). Uudisrakennusten toisiolämpötilat ovat matalampia kuin olemassa olevien rakennusten lämpötilat muun muassa edistyneen energiatehokkuuden ansiosta. Matalat toisiolämpötilat parantavat kaukolämpöveden jäähtymää ja mahdollistavat matalat tulolämpötilat.

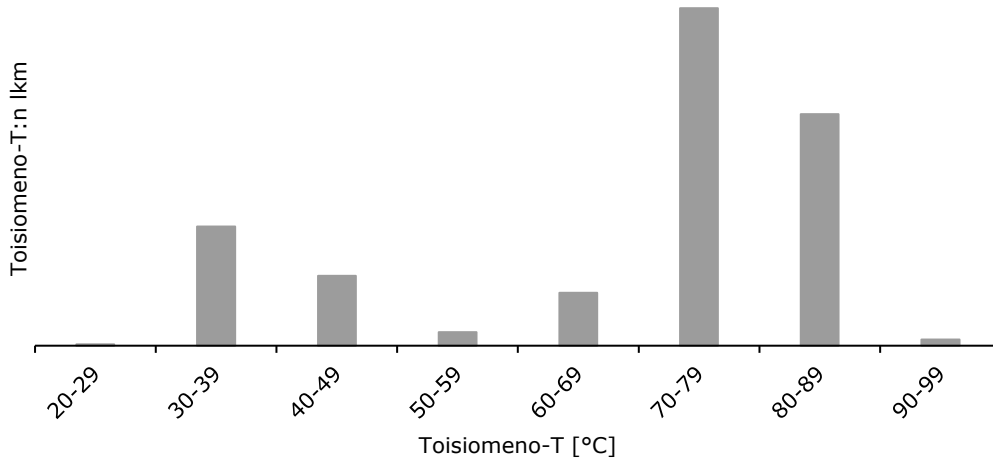
Taulukko 2. Olemassa olevan rakennuksen lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Energiateollisuus 2014)

	Lämmönsiirtimen mitoituslämpötilat [°C]				
	Tulo	Ensiö		Toisio	
		Paluu	Paluu	Meno	
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys	115	43 (max)	40 (max)	70 (max)	
Lämmityksen lämmönsiirtimet, radiaattorilämmitys – vanhat rakennukset	115	63 (max)	60 (max)	80 (max)	
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	115	33 (max)	30 (max)	40 (max)	
Kosteiden tilojen mukavuuslattialämmitys	70	28 (max)	25 (max)	35 (max)	
Ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	115	43	40	70	
Huomautus	Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila				

Kaukolämpöverkoissa radiaattorilämmitteiset rakennukset ovat selkeästi suurin ryhmä lukumäärältään. Rakennuskannan mukaan toisiomenolämpötila 80 °C tai 70 °C on yleisin – 80 °C on yleisempi vanhoissa radiaattoriverkoissa ja 70 °C uusissa. Olemassa olevan rakennuksen ilmanvaihdon siirrin mitoitetaan myös 70 °C menolämpötilalle.

Radiaattorilämmitteisten uudisrakennusten ohjeistus toisiomenolämpötilalle on 45 °C. Poikkeustapauksille ja ilmanvaihdolle se on 60 °C. Lattialämmityksen ja kosteiden tilojen mukavuuslattialämmityksen toisiomenolämpötilat ovat vielä matalampia. Ne vaihtelevat 30–40 °C välillä niin olemassa olevissa kuin uudisrakennuksissa.

Kuva 4 esittää toisiolämpötilojen lukumääriä Espoon kaukolämpöverkossa. Kuvan 80-89 °C -asiakkaat (lämpötila-alue) voi olettaa 80–60 °C -asiakkaiksi (meno–paluu), 70-79 taas 70–40 °C -asiakkaiksi ja niin edelleen. Lämpötila-alue johtuu muutamista K1:stä poikkeavista mitoituksista. (Hölsä 2020.)



Kuva 4. Espoon kaukolämpöverkon toisiomenolämpötiloja (Hölsä 2020)

Kuvasta 4 nähdään, että toisiomenolämpötilat 70 °C ja 80 °C ovat lukumäärältään suurimmat kyseisessä verkossa. Näin on oletettavasti kaikkialla Suomessa, koska ne olivat tulomitoituslämpötilat vuoteen 2013 saakka kaikille rakennuksille. Toisiomenomitoituslämpötila 70 °C on otettu käyttöön uudisrakennuksissa vuonna 1983 ja ennen sitä se on ollut 80 °C. Espoon rakennuskanta on kuitenkin erilainen kuin esimerkiksi Helsingin, missä yli puolet asiakkaiden toisiomenomitoituslämpötiloista on 80 °C (Alen 2020).

Lämpimän käyttöveden lämmönsiirtimet mitoitetaan taulukon 3 mukaisesti. Käyttöveden lämmönsiirtimessä virtaa sama kaukolämpövesi ensiöpuolella kuin lämmityksen lämmönsiirtimessä, jolloin lämmityskaudella siirtimelle saapuva lämpötila on korkeampi kuin 70 °C. Lämpimässä käyttövesiverkossa toisiopuolen menolämpötila on pidettävä jatkuvasti korkeana taudinaiheuttajien vuoksi. Legionella-bakteerin kasvun estämiseksi lämpimän käyttöveden menovesi on pidettävä vähintään 58 °C:ssa, jotta lämpimän käyttövesiverkon lämpötila pysyisi vähintään noin 55 °C:ssa sen kaikissa kohdissa. Tämän lämpötilatason takaamiseksi käyttövesilämmönsiirtimen tulomitoituslämpötila on tällä hetkellä 70 °C.

Taulukko 3. Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoitukslämpötilat (Energiateollisuus 2014)

	Lämmönsiirtimen mitoitukslämpötilat [°C]			
	Ensiö		Toisio	
	Tulo	Paluu	Paluu	Meno
Käyttöveden lämmönsiirtimet	70	20 (max)	10	58

Taulukoista 1–3 nähdään, että kaukolämpöverkon tulolämpötilan vaihteluväli on 70–115 °C. Tulolämpötilaa 70 °C voi pitää kesälämpötilana ja 115 °C talvilämpötilana. Tulolämpötila on 115 °C tuntumassa kun säävyöhykkeen ulkolämpötila on taulukon 4 mitoittava ulkoilman lämpötila. Säävyöhykkeet vaihtelevat Suomessa kuvan 5 mukaisesti. (Ympäristöministeriö 2017a.)

Taulukko 4. Mitoittavat ulkolämpötilat eri ilmastoalueilla (Ympäristöministeriö 2017a)

Ilmastoalue	Mitoittava ulkolämpötila [°C]	Vuoden keskilämpötila [°C]
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

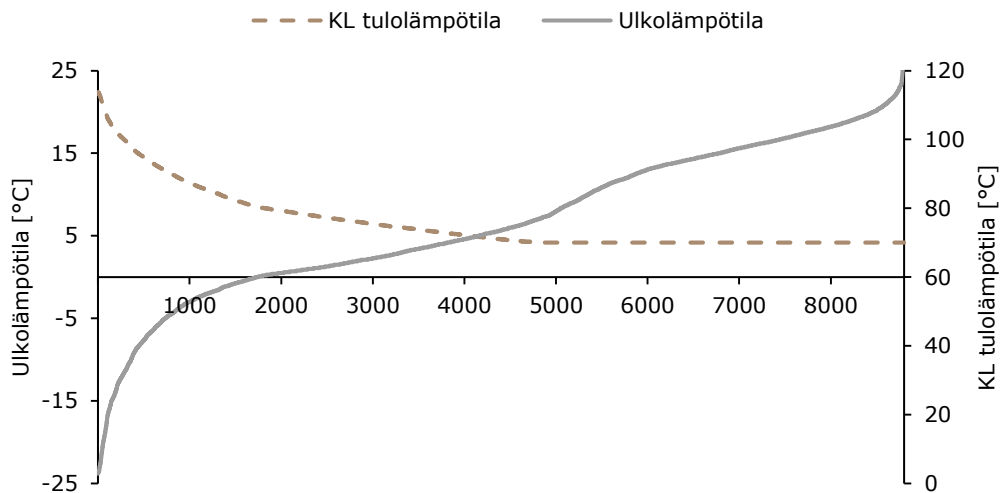


Kuva 5. Suomen säävyöhykkeet (Ympäristöministeriö 2017a)

Tämä selvitys arvioi erityisesti tulomitoituslämpötilan alentamisen vaikutuksia lämmönjakokeskuksen mitoitukseen. Sekä talvi- että kesälämpötilaa tarkastellaan. Selvityksessä toisiopuolen mitoitukset pidetään ennallaan. Ensiöpuolen mitoituslämpötilojen lasku voidaan toteuttaa siten, että rakennuksen muuhun lämmitysjärjestelmään sillä ei ole vaikutusta (toisiopuoli).

Kaukolämpöverkkojen tulolämpötila on harvoin lähellä 115 °C, koska mitoittava ulkolämpötila toteutuu harvoin. Esimerkiksi Kaisaniemessä, Helsingissä ulkolämpötila ei ole ollut kertaakaan -26 °C tai sen alle viimeisen kymmenen vuoden aikana. Kuvassa 6 on vuoden 2016 tuntitasoinen ulkolämpötilan pysyvyyssäikäyrä Kaisaniemessä ja sitä vastaava laskennallinen kaukolämpöverkon tulolämpötila (Ilmatieteen laitos 2020). Pysyvyyssäikäyrä kuvaa lämpötilan yleisyyttä. Siinä vuoden jokaisen tunnin ulkolämpötila on suuruusjärjestyksessä, jolloin käyrältä voidaan lukea kuinka monta tuntia ulkolämpötila on ollut esimerkiksi

alle 0 °C. Kaisaniemessä ulkolämpötila on siis vuonna 2016 ollut noin 1 700 tuntia alle 0 °C vuoden kaikkiaan 8 760 tunnista. Vuotta 2016 on käytetty referenssinä, koska kyseisenä vuotena on ollut hyvin kylmiä ja kuumia ajanjaksoja.



Kuva 6. Kaukolämpöverkon ja ulkoilman lämpötilan korrelaatio (Ilmatieteen laitos 2020)

Kuvasta 6 nähdään, että valtaosan vuodesta verkon lämpötila on laskennallisesti 80 °C tai sen alle. Tyypillisesti kaukolämpöverkkojen tulolämpötila on noin 80 °C kun ulkolämpötila on noin 0 °C.

Verkon kesälämpötilaa 70 °C olisi mahdollista laskea muutamalla asteella. Tu-lovedellä 65 °C pystyy tuottamaan 58 °C toisiomenovettä. Suomesta löytyy jonkin verran matalalämpötilaisia kaukolämpöverkkoja. Esimerkiksi Skanssin kaupunginosassa Turussa on aluelämpöverkko, missä verkon tulolämpötila on 65 °C vuoden ympäri (Lyytikäinen ja Kuivanen 2016).

Useimmissa tapauksissa verkon matalimman mahdollisen tulolämpötilan määrittää olemassa olevien radiaattorilämmitteisten rakennusten toisiomenolämpötila 80 °C. Erityisesti vanhemmissa kaupungeissa on vanhoja rakennuksia, joiden lämmitysjärjestelmät on mitoitettu tälle lämpötilalle. Kaikkien asiakkaiden ei voi olettaa uusivan radiaattoriverkostojaan matalammille lämpötiloille, vaikka myös vanhempien rakennusten toisiolämpötilojen kehitys onkin kohti matalampia lämpötiloja, koska energiaremontit vaikuttavat lämpötilasoihin. Tämän vuoksi alle 80 °C tulomitoituslämpötilojen tarkastelu ei ole vielä ajankoh-tainen. Käytännössä tulolämpötilan on muutenkin oltava korkeampi kuin toisiomenolämpötilan. Valtakunnallisesti tällä hetkellä teoreettisena tulolämpötilan miniminä voidaan pitää noin 83–85 °C. Uudet kauko- ja aluelämpöverkot voidaan suunnitella tätä alhaisemmille lämpötiloille.

Uudelleenmitoituksen kannalta haasteellisimpia lämpötiloja ovat korkeat radiattorilämmitteisten rakennusten toisiomenolämpötilat 80 °C ja 70 °C. Kaukolämpöverkon tulolämpötilan madaltaminen vaikuttaa niihin voimakkaimmin. Tämä johtuu pienestä lämpötilaerosta kaukolämpöverkon tulolämpötilan ja radiattoriverkoston menolämpötilan välillä. Aiheesta lisää luvussa 3.

2.3.2 Mitoituspainet ja virtausnopeudet

Lämmöntoimituksen hyvän säädettävyyden takaamiseksi painehäviö lämmönjakokeskuksen yli tulee olla K1:n mukaisesti vähintään 60 kPa (Energiateollisuus 2014). Käytännössä kaukolämpöverkkoja operoidaan verkon latvapisteen paine-erolla, jolloin pienimmän paine-eron omaavan asiakkaan paine-ero on vaadittu 60 kPa ja muilla tätä suurempi. Jos tulevaisuudessa lämmönjakokeskusten lämmönsiirtimien pinta-ala kasvaa niin pääsääntöisesti myös paine-ero niiden yli kasvaa.

Painehäviöitä syntyy keskuksen kaikissa komponenteissa, mutta merkittävä osa painehäviöistä muodostuu lämmönsiirtimissä ja erityisesti säätöventtiilissä. Oleellista on, että säätöventtiileiden yli on riittävästi paine-eroa hyvän säädettävyyden varmistamiseksi. K1:n suurin sallittu painehäviö käyttövesilämmönsiirtimen ensiöpuolelle on 20 kPa ja toisiopuolelle 50 kPa. Muille siirtimille se on 20 kPa ensiö- ja toisiopuolille. Putkistolle ja varusteille, lukuun ottamatta säätöventtiileitä, suurin sallittu painehäviö on 5 kPa. Täten säätöventtiileille pitäisi jäädä vähintään 35 kPa paine-ero ensiöpuolella. (Energiateollisuus 2014.)

Lämmönsiirtimen painehäviöihin vaikuttaa virtausnopeus ja lämmönsiirtimen geometria. Mitä suurempi virtaus siirtimessä on, ja mitä ahtaampi siirrin on, sitä enemmän painehäviöitä muodostuu. Nostamalla virtausta siirtimessä turbulenssi kasvaa, joka edelleen parantaa lämmön siirtymistä.

Yksinkertainen tapa lisätä levylämmönsiirtimen lämmönsiirtokapasiteettia on lisätä siihen siirrinlevyjä. Käytännössä kuitenkin lämmönsiirtimen muutkin geometriset parametrit muuttuvat lämmönjakokeskuksia uudelleenmitoittaessa. Tämä raportti ei tarkemmin tarkastele levylämmönsiirrinten kaikkia teknisiä ominaisuuksia vaan keskittyy kahteen tärkeään tekijään: lämmönsiirtopinta-alaan ja turbulenssiin. Useimmissa tapauksissa uusituissa lämmönjakokeskuksissa lämmönsiirtimet kasvavat "pituutta", eivät niinkään "paksuutta" lisääntyneiden levyjen seurauksena.

Vesilaitteiston virtausnopeuksille kiinteistöissä on myös asetettu määräyksiä, jotka vaikuttavat lämmönjakokeskusten mitoittamiseen. Ne löytyvät Ympäristöministeriön asettamasta rakentamismääräyskokoelmasta (Ympäristöministeriö 2017b).

3 Vaikutus lämmönsiirtimiin

Tässä luvussa tutustutaan työn teoriaan ja laskennallisiin tuloksiin.

3.1 Lämmönsiirron teoria

Jotta kaukolämpöverkon tulolämpötilaa voisi tulevaisuudessa laskea, tulee lämmönjakokeskusten lämmönsiirtimien pinta-alojen kasvaa. Lämmön siirtymisen tehokkuus heikkenee tulolämpötilan laskiessa. Tämän kompensoimiseksi pinta-alaa tarvitaan lisää. Kaava 1 kuvaa lämpötehon, pinta-alan ja logaritmisen lämpötilaeron suhdetta. Yleisesti lämpötilaerojen laskennassa voi käyttää lämpötilayksikkönä joko celsiusia tai kelvineitä.

$$Q' = UA\Delta T_{ln} \quad (1)$$

missä Q' on lämpöteho [W]

U on lämmönsiirtoluku [W/m^2K]

A on lämmönsiirtopinta-ala [m^2]

ΔT_{ln} on logaritminen lämpötilaero [$^{\circ}C$ tai K]

Lämmönsiirtoluku kuvaa lämmönsiirtymistä ja on ominainen lämmönsiirtymäilmiölle ja lämmönsiirtimelle (kaava 2).

$$U = \left(\frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{s}{k_l}} \right) \quad (2)$$

missä h on lämmönsiirtokerroin ensiö- ja toisiopuolille (konvektio) [W/m^2K]

s on lämmönsiirtimen levyn paksuus [m]

k_l on lämmönsiirtimen levyn lämmönjohtavuus (johtuminen) [W/mK]

Lämmön siirtyminen johtumalla siirrinlevyissä on huomattavasti voimakkaampaa kuin konvektiolla ensiöpuolella väliaineesta siirrinlevyyn ja toisiopuolella levystä väliaineeseen, jolloin johtumisen rajoittava vaikutus lämmönsiirtoon on hyvin pieni. Sen vaikutuksen kokonaislämmönsiirtoon voi käytännössä olettaa nolllaksi.

Koska lämpötilaero lämmönsiirtimen yli ei käyttydy lineaarisesti, niin laskeeta varten siirtimissä käytetään logaritmistä lämpötilaeroa. Vastavirtalämmönsiirtimissä käytettävä logaritminen lämpötilaero on kaavan 3 mukainen.

$$\Delta T_{ln} = \frac{(T_t - T_{2,m}) - (T_p - T_{2,p})}{\ln \frac{(T_t - T_{2,m})}{(T_p - T_{2,p})}} \quad (3)$$

missä T_t on ensiotulolämpötila [$^{\circ}\text{C}$ tai K]

T_p on ensiöpaluulämpötila [$^{\circ}\text{C}$ tai K]

$T_{2,m}$ on toisiomenolämpötila [$^{\circ}\text{C}$ tai K]

$T_{2,p}$ on tosiöpaluulämpötila [$^{\circ}\text{C}$ tai K]

Lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinta-alaa voi kasvattaa siirrinlevykoolla tai levyjen lukumäärällä. Useimmissa tapauksissa menolämpötilan lasku tekisi levyistä pitkän mallisia. Viileämpi ensiövirta vaatii enemmän pinta-alaa, jonka yli "pyyhkiä" kuin kuumempi virta saman tehon takaamiseksi. Levyjen lisääminen siirtimeen on hyvä tapa lisätä pinta-alaa, mutta se tekee siirtimen yhteenlasketusta virtauskanavasta tilavamman, joka edelleen laskee turbulenssia. Lämmönsiirtimiä mitoittaessa on kuitenkin pysyttävä ohjeistusten rajoissa painehäviöissä. Liian ahdas siirrin kasvattaa nopeasti painehäviöitä.

Lämmönsiirtokertoimen voi laskea kaavasta 4.

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \rightarrow h = \frac{Nu k}{D_h} \quad (4)$$

missä Nu on Nusseltin luku

D_h on karakterinen mitta [m]

k on veden lämmönjohtavuus [W/mK]

Karakterinen mitta on lämmönsiirtimelle ominainen mitta, joka vaikuttaa lämmönsiirron tehokkuuteen. Lämmönsiirtimien pituutta kasvattaessa se pysyy lähes vakiona, koska virtauskanavien lukumäärä ja geometria pysyy samana. Nusseltin luvun laskentaa varten on tässä raportissa käytetty tasaisen levyn yli pakotetun turbulenttisen konvektion kaavaa 5, joka perustuu empiirisesti todettuun korrelaatioon (Cengel 2002).

$$Nu = 0,037 Re^{0,8} Pr^{1/3} \quad (5)$$

missä Re on Reynoldsin luku

Pr on Prandtlin luku

Prandtlin luku on väliaineelle, tässä tapauksessa vedelle, ominainen taulukoitu arvo. Reynoldsin luku saadaan kaavasta 6. Se kuvaa virtauksen turbulentsuutta.

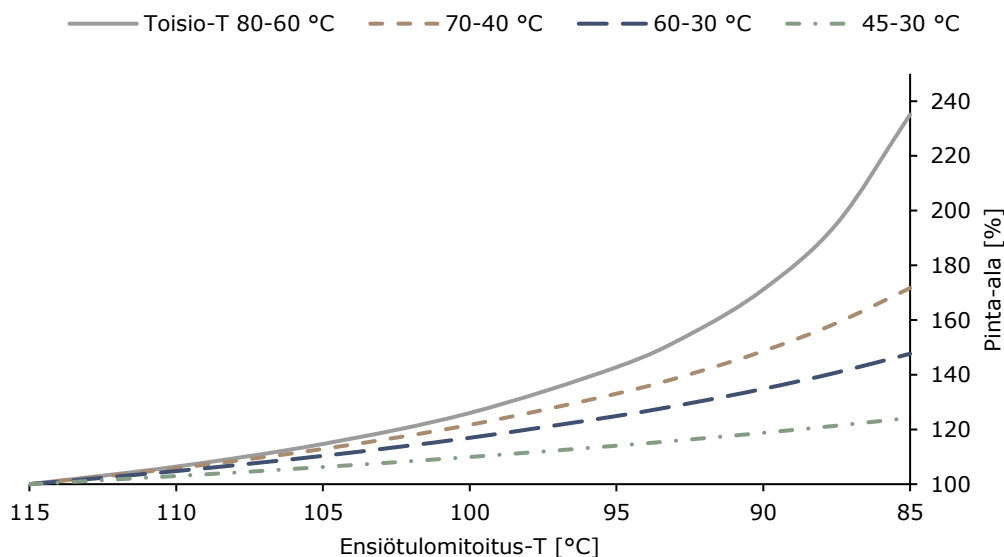
$$Re = \frac{ND_h}{\nu} \quad (6)$$

missä N on virtausnopeus [m/s]

ν on veden kinemaattinen viskositeetti [m²/s]

3.2 Lämmönsiirtimen pinta-alan kasvu

Esimerkiksi Helsingissä on joitakin toisiomenolämpötilalla 90 °C toimivia radiattorilämmitteisiä kiinteistöjä. Näissä tapauksissa vain yli 90 °C tulolämpötila riittäisi lämmittämään toisiomenolämpötilan tarpeeksi korkeaksi. Verkoissa voi olla myös esimerkiksi teollisuusasiakkaita, joilla on korkeampi tulolämpötila. Näitä asiakkaita on kuitenkin niin vähän, että lämmöntoimittajan kannattaa tarkastella näitä tapauksia yksilöllisesti. Selkeä valtaosa kiinteistöistä toimii toisiomenolämpötiloilla 80 °C tai sen alle, jolloin hieman yli 80 °C riittäisi lämmityksen tarpeisiin. Seuraava kuva 7 esittää lämmönsiirtimen pinta-alan kasvua tulomitoituslämpötilan funktiona laskettuna kaavojen 1–6 avulla.

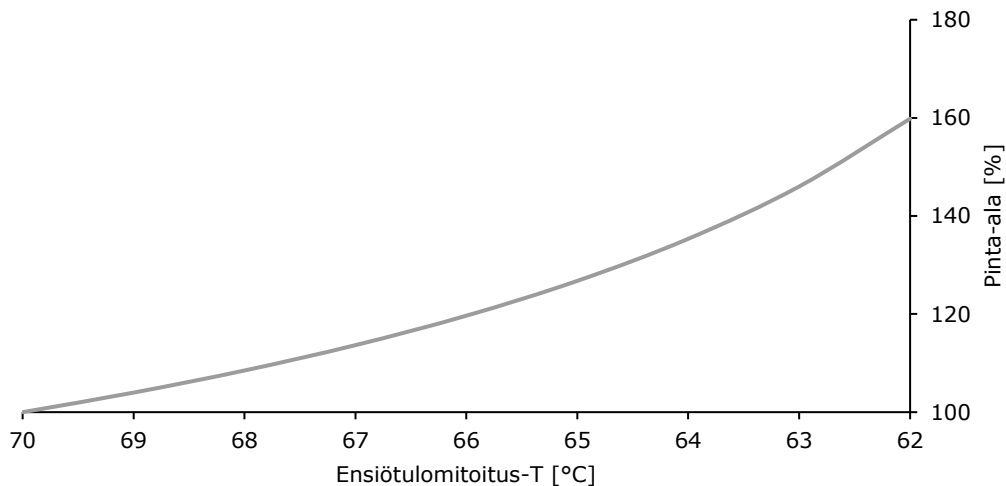


Kuva 7. Lämmityslämmönsiirtimen pinta-alan kasvu tulomitoituslämpötilan funktiona

Jos tulomitoituslämpötila laskettaisiin nykyisestä 115 °C:sta 90 °C:een, niin lämmönsiirtimen pinta-ala kasvaisi laskennallisesti 71 % toisiolämpötiloille 80–60 °C. Ottamatta huomioon vanhimpia toisiolämpötiloja 90–70 °C,

tulolämpötilan laskun vaikutus on suurin 80–60 °C lämmönsiirtimien pinta-alaan. Jo toisiolämpötilalla 70–40 °C pinta-alan kasvu on kohtuullisempi: 49 % tulomitoituslämpötilalla 90 °C. Uudisrakennusten suositustoisiolämpötiloille 45–30 °C kasvua siirtimille on vain 19 % tulomitoituslämpötilalla 90 °C. Nyrkisääntönä matala toisiomenolämpötila ja suuri toisiopuolen lämpötilaero hillitsevät pinta-alan kasvua uudelleemitoituksessa.

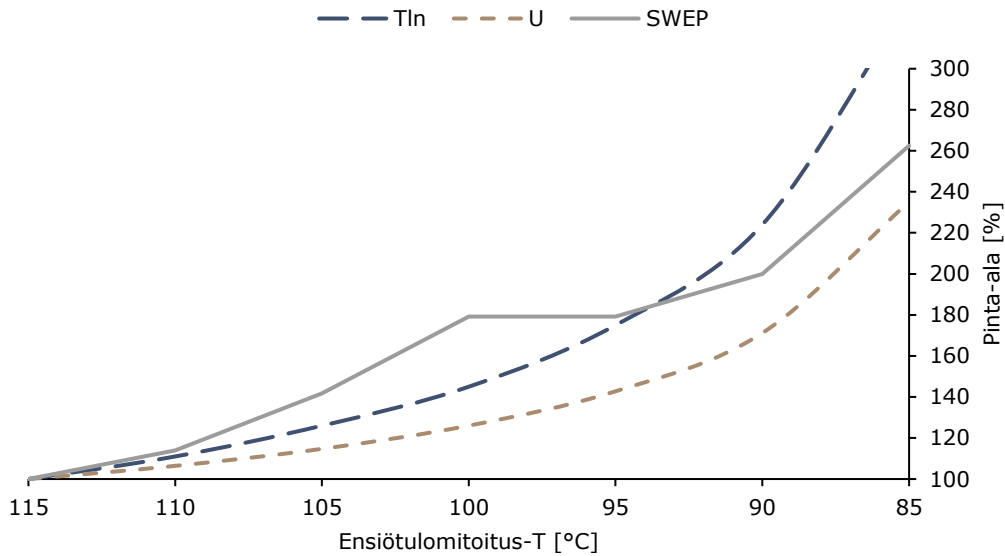
Käyttövesilämmönsiirtimen laskentaan voidaan käyttää samaa periaatetta kuin lämmityslämmönsiirtimien laskentaan. Käyttövesisiirtimen toisiolämpötilaohjeena on 58–10 °C. Kuvasta 8 nähdään, miten käyttöveden mitoituslämpötilan laskeminen 70 °C:sta 62 °C:een kasvattaa lämmönsiirtimen pinta-alaa.



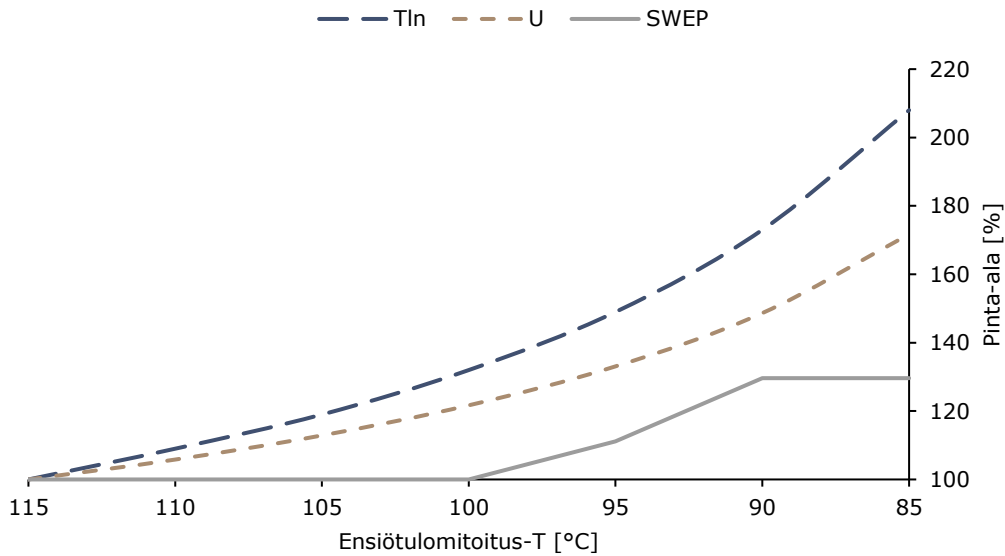
Kuva 8. Käyttövesilämmönsiirtimen pinta-alan kasvu tulolämpötilan funktiona

Kuva 8 osoittaa, että lämmönsiirtimen pinta-ala kasvaisi 34 % jos tulomitoituslämpötila laskisi 70 °C:sta 65 °C:een.

Teoreettisen laskennan lisäksi pinta-alan kasvua tarkasteltiin lämmönsiirrinvalmistaja SWEP:n mitoitusyökalulla. Vertailukohteena seuraavissa kuvissa on 200 kW:n lämmönsiirrin toisiolämpötiloilla 80–60 °C (kuva 9) ja 70–40 °C (kuva 10). Kuvaajissa on mukana pelkän logaritmisien lämpötilaero aiheuttama pinta-alan kasvu (T_{in}) ja kasvaneen turbulenssin ansiosta parantunut lämmönsiirto (U , edellä käytetty laskentatapa).



Kuva 9. 200 kW:n lämmönsiirtimen pinta-alan kasvu eri laskentametoodeilla toisiolämpötiloille 80–60 °C



Kuva 10. 200 kW:n lämmönsiirtimen pinta-alan kasvu eri laskentametoodeilla toisiolämpötiloille 70–40 °C

Kuvissa 9 ja 10 on käytetty lämmönsiirrinvalmistajan suosittelemaa siirrintä kullekin lämpötilaohjelmalle. Esimerkiksi taite 100 °C:n kohdalla kuvassa 9 johtuu lämmönsiirrinmallin vaihtumisesta. 80–60 °C -tapauksessa mitoitusohjelma valitsee suuremman siirtimen kuin laskenta, mutta 70–40 °C -tapauksessa mitoitusohjelma valitsee jo pinta-alaltaan pienempiä siirtimiä kuin mitä laskenta. Mentäessä tätäkin matalammille toisiolämpötiloille, siirtimet pysyvät

lähies samana tulolämpötilan laskusta huolimatta. Kuvista voi nähdä, että sel-
 vityksen laskennalliset tulokset ovat lähellä todellisuutta.

3.3 Lämmönsiirtimen virtauksen kasvu

Pelkästään lämmönsiirtopinta-alan kasvu ei kuitenkaan riitä kompensoimaan
 matalampia tulolämpötiloja. Rakennuksen tehon tarve pysyy vakiona, jolloin
 saman tehon takaamiseksi virtauksen on kasvettava kaavan 7 mukaisesti tu-
 lolämpötilan laskiessa.

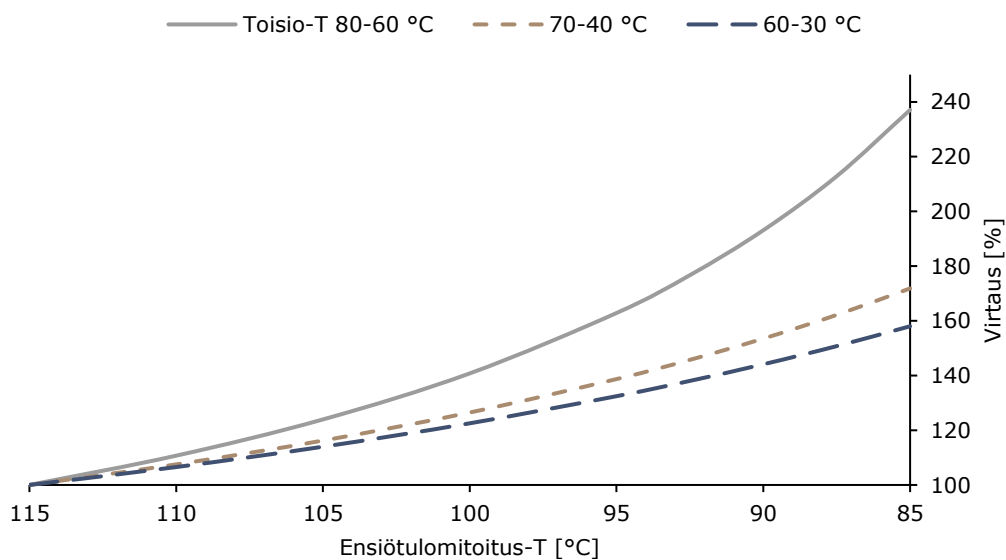
$$Q' = c_p m' \Delta T \quad (7)$$

missä c_p on veden ominaislämpökapasiteetti [J/kgK]

m' on veden massavirta [kg/s]

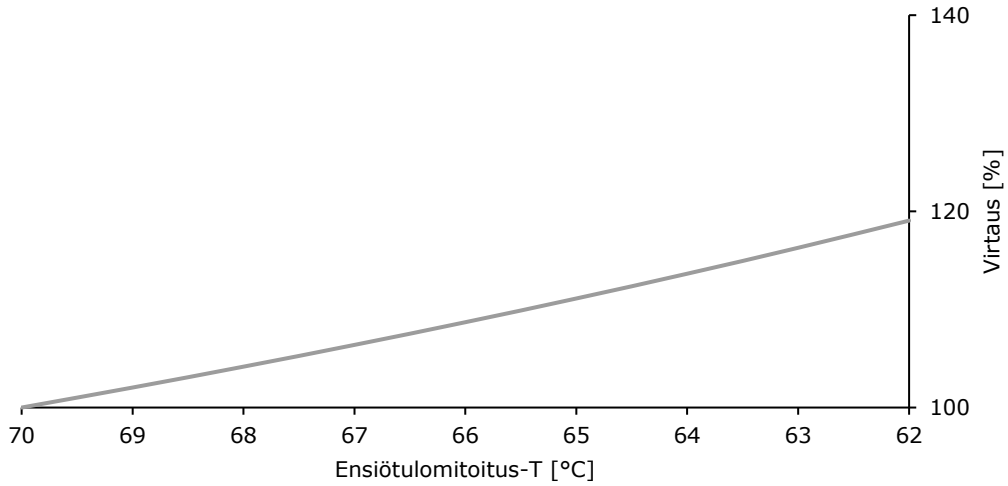
ΔT on lämpötilaero ensiöpuolen tulo- ja paluulämpötilan välillä [°C tai
 K]

Kuvasta 11 nähdään, että ensiöpuolen virtaus kasvaa samansuuruisessa suh-
 teessa lämmityslämmönsiirtimissä kuin pinta-ala menomitoituslämpötilan las-
 kiessa. Tämä johtaa pumppauksen kasvuun kaukolämpöverkossa. Ensiöpuolen
 virtaus määräytyy tulolämpötilan ja toisiopuolen aiheuttaman jäähtymän mu-
 kaisesti. Tämän vuoksi kuvassa ei ole käyrää toisiolämpötilalle 45–30 °C, koska
 virtauksen muutos on sama kuin 60–30 °C:lle.



Kuva 11. Virtauksen kasvu eri lämmityslämmönsiirtimille

Käyttövesilämmönsiirtimelle virtauksen kasvu tulolämpötilan funktiona on kuvan 12 mukainen.



Kuva 12. Virtauksen kasvu käyttövesilämmönsiirtimelle

4 Mitoituksen vaikutus asiakkaalle

Luvussa arvioidaan lämpötilatason madaltamisen taloudellisia vaikutuksia asiakkaalle.

4.1 Laitehankintakustannusten kasvu

Tässä alaluvussa perehdytään lämmönjakokeskusten hankintakustannusten kasvuun mitoituslämpötilojen laskiessa. Arvio pohjautuu kolmen suuren lämmönjakokeskustoimittajan kustannusarvioihin uusilla lämpötiloilla. Toimittajat ovat HögforsGST, Danfoss ja Gebwell.

Kaukolämpöverkoissa on tehontarpeeltaan hyvin vaihtelevia asiakkaita. Asiakkaiden liitäntäteho voi vaihdella pientalojen 10 kW:n ja suurten rakennusten 10 MW:n välillä. Lämmönjakokeskukset ovat erilaisia eri kokoluokan kiinteistöille.

Tyyppirakennuksia on tässä raportissa kolme: pientalo, kerrostalo ja toimistorakennus. Niiden on tarkoitus kuvata pieniä, keskikokoisia ja suuria asiakkaita. Rivi- ja pienkerrostalojen lämmönjakokeskusten oletetaan skaalautuvan hyvin pien- ja kerrostalon väliin. Taulukkoon 5 on koottu tyyppirakennusten ominaisuuksia.

Taulukko 5. Tyyppirakennukset

	Pientalo	Kerrostalo	Toimistorakennus
Teho, käyttövesi+lämmitys(+IV) [kW]	60+15	200+150	400+1000 / 400+300+700
Ensiölämpötilat, lämmitys/käyttövesi [°C]		115/70, 90/70, 90/65	
Lämmityksen toisiolämpötilat [°C]		80-60, 70-40, 60-30, 45-30	
Siirtimien lukumäärä	2	2	2-3
Kytkenä	Pientalo	Perus	Välisyöttö
Asennus	Seinä	Lattia	Lattia

Tyypillisesti pientaloon asennetaan seinälle kiinnitettävä lämmönjakokeskus, jonka käyttövesisiirtimen teho on noin 60 kW ja lämmityssiirtimen noin 15 kW. Kerrostalossa lämmönjakokeskus on lattia-asenteinen ja suurempi. Kerrostalojen lämmönsiirtimien tehot ovat luokkaa 200 kW. Tehot vaihtelevat kiinteistökohtaisesti, mutta noin 200 kW:n liitäntäteho on Suomessa tyypillinen. Tässä raportissa käytetään 200 kW:n tehoa käyttövedelle ja 150 kW:n lämmitykselle kerrostalossa.

Suurissa rakennuksissa, kuten toimistorakennuksissa, lämmönjakokeskus on ulkoisesti samankaltainen kuin kerrostaloissa, mutta teholuokan nousu vaikuttaa erityisesti lämmityksen lämmönsiirtimien kokoon. Jos tulomitoituslämpötilaa laskettaisiin tulevaisuudessa, lämmönsiirtimien osuus koko lämmönjakokeskuksen hinnasta kasvaisi suhteessa muita tyyppirakennuksia voimakkaammin toimistorakennuksessa. Selvityksessä toimistorakennuksen käyttövesitehona on käytetty 400 kW ja lämmitystehona 1 MW.

Lämmönjakokeskuksissa on tyypillisesti kaksi tai kolme lämmönsiirrintä. Niitä voi olla myös useampia. Pienissä lämmönjakokeskuksissa on usein vain kaksi siirrintä: yksi lämpimälle käyttövedelle ja toinen lämmitykselle. Pääsääntöisesti mitä suurempi kokoluokka, sitä useampia siirtimiä lämmönjakokeskuksessa on. Siksi toimistorakennuksissa on huomioitu kolmen siirtimen lämmönjakokeskukset, joissa kolmas siirrin on ilmanvaihdon (IV).

Lämmönjakokeskuskytkentöjä on lukuisia erilaisia, mutta selkeyden vuoksi vain kolme K1:n peruskytkentää on huomioitu. Erilaisilla kytkennöillä voi parantaa esimerkiksi lämmönjakokeskuksen jäähtymää.

Toisiolämpötilaohjelmista valikoituivat mukaan 80–60 °C, 70–40 °C, 60–30 °C ja 45–30 °C (meno–paluu). Lämmönsiirtimet, jotka toimivat tätä matalammilla lämpötiloilla, eivät kasva kokoa niin paljoa tulolämpötilan laskiessa, että niillä olisi suurta vaikutusta lämmönjakokeskukseen. Mitä lähempänä tulolämpötila on toisiomenolämpötilaa, sitä voimakkaampaa on lämmönsiirtimen kasvu tulolämpötilan laskiessa, kuten kuvasta 7 voi nähdä.

Mahdollisia tulolämpötiloja kartoitettiin aluksi 80–95 °C välillä. Tulolämpötilaa 80 °C voi pitää liian matalana, jotta 80–60 °C -kiinteistöissä saavutetaan toisiopuolella 80 °C. Noin 85 °C voi pitää miniminä, mutta lämmönsiirtimien pinta-ala yli kaksinkertaistuisi 80–60 °C -asiakkailta tällä tulolämpötilalla. 90 °C tai 95 °C ovat molemmat hyviä vaihtoehtoja tulevaisuutta ajatellen, mutta ne ovat niin lähellä toisiaan, ettei kummankin erillinen tarkastelu tuota lisäarvoa selvitykselle.

Käyttöveden lämmönsiirtimen mitoitustulolämpötilan alentaminen huomioitiin myös. Lukuun ottamatta kylmimpiä talvikuukausia, kaukolämpöverkkoa on mahdollista operoida 70 °C tuntumassa. Mitoituslämpötila 65 °C valikoitui mukaan nykyisen 70 °C ja legionella-bakteerin kasvun estämisen asettaman minimin väliltä (noin 60 °C).

Kustannusarviot pyydettiin lämmönjakokeskustoimittajilta mahdollisimman matalalla varustelutasolla, jotta erityisesti lämmönsiirtimien osuus hinnasta korostuu. Investoimalla keskuksen varustelutasoon voi saavuttaa etuja, mutta mitoitustulolämpötilan lasku vaikuttaa pääsääntöisesti virtausteknisiin

komponentteihin: lämmönsiirtimiin ja niiden liitännöihin sekä keskuksen venttiileihin ja putkistoon. Hinnossa on huomioitu kaikki lämmönjakokeskuksen komponentit.

Lämmönjakokeskuksia ei voi vertailla valmistajien kesken, vaan vertailun on tarkoitus tuoda esiin mitoittamisen vaikutuksia eri kokoisille asiakkaille. Kustannusarvioiden laskentatavat vaihtelevat valmistajien kesken. Osa toimittajista on käyttänyt arvioinneissaan mitoitusohjelmia, jotka huomioivat hinnassa esimerkiksi osien saatavuuden, kun taas toiset toimittajat ovat arvioineet kustannuksia vertailemalla vanhojen ja uusien mitoituksien mukaisien komponenttien hintoja. Jos siirtimet matalammille lämpötiloille yleistyisivät, niiden valmistuskustannukset todennäköisesti alenisivat tuotantovolyymien kasvun ansiosta. Seuraavat hinnat ovat ilman arvonlisäveroa ja asennuskustannuksia. (Hartman 2020, Terho 2020 ja Matikainen 2020.)

4.1.1 Pientalo

Kahden lämmönjakokeskustoimittajan keskiarvohinta nykyisillä mitoituslämpötiloilla oli pientalokeskukselle 3 200 €. Yksi toimittajista ei arvioinut kustannusten kasvua pientalokeskukselleen, koska heidän mallinsa saattaisi vaatia uudelleensuunnittelua uusille lämpötiloille. Suunnittelu- ja kehityskustannuksia on haastavaa arvioida tarkasti etukäteen.

Lämmityslämmönsiirtimen mitoituslämpötilan laskeminen 115 °C:sta 90 °C:een nosti keskuksen hintaa keskimäärin 30 € ja molempien siirtimien 65 € pientalokeskuksissa. Taulukko 6 erittelee tarkemmin hinnan muutoksia.

Taulukko 6. Pientalokeskuksien hankintakustannukset

		Ensiötulomitoituslämpötilat, lämmitys/käyttövesi [°C]			
		alv 0	115/70	90/70	90/65
Toisioimitus- lämpötila [°C]	Minimi [€]		2 100	2 160	2 160
	80-60 (kaikki)	Maksimi [€]	4 300	4 300	4 370
	Keskiarvo [€]		3 200	3 230	3 265

Lämmönjakokeskustoimittajilla on pientaloihin tyypillisesti yksi pakettiratkaisu kaikille toisiolämpötiloille. Järjestelmä mitoitetaan 80–60 °C -toisiolämpötiloilla, koska se on toisiolämpötiloista korkein ja siksi vaativin. Hinta on siis kaikille pientaloille sama ja 2 %:n nousua matalammilla mitoituslämpötiloilla voi pitää kohtuullisena. Hinnan kasvu voi olla tätä voimakkaampaa, jos laitetoimittajat joutuvat esimerkiksi suunnittelemaan pientalokeskusmallistonsa kokonaan uudestaan. Toisaalta lämmönsiirtimien osuus pientalokeskuksen

valmistuskustannuksista on niin pieni, ettei keskuksen lopullinen hinta välttämättä edes muuttuisi, vaikka mitoituslämpötiloja laskettaisiin, koska hinta muodostuu monesta tekijästä.

4.1.2 Kerrostalo

Lämmönjakokeskustoimittajien keskiarvohintojen keskiarvo nykyisillä mitoituslämpötiloilla oli kerrostalokeskukselle 4 560 €. Lämmityslämmönsiirtimen mitoituslämpötilan laskeminen 115 °C:sta 90 °C:een nosti hintaa keskimäärin 180 € ja molempien siirtimien uudelleenmitoittaminen 306 €. Taulukossa 7 on eritelty tarkemmin hinnan muutoksia eri asiakkaille heidän toisiolämpötilojen mukaisesti.

Taulukko 7. Kerrostalokeskusten hankintakustannukset

		Ensiötulomitoituslämpötilat, lämmitys/käyttövesi [°C]			
		alv 0	115/70	90/70	90/65
Toisiomitoituslämpötilat [°C]	80-60	Minimi [€]	4 100	4 180	4 290
		Maksimi [€]	5 310	6 200	6 440
		Keskiarvo [€]	4 531	4 914	5 041
	70-40	Minimi [€]	4 050	4 110	4 180
		Maksimi [€]	4 980	5 220	5 460
		Keskiarvo [€]	4 388	4 520	4 678
	60-30	Minimi [€]	4 000	4 050	4 110
		Maksimi [€]	4 980	5 220	5 460
		Keskiarvo [€]	4 371	4 484	4 595
	45-30	Minimi [€]	4 200	4 200	4 250
		Maksimi [€]	5 740	5 740	5 980
		Keskiarvo [€]	4 949	5 040	5 147

80–60 °C -asiakkaille hinnan kasvu on voimakkainta ensisijaisesti lämmönsiirtimien koon kasvun takia. Hinnoissa voi olla lisää sen vuoksi, ettei tämän kokoluokan ja tyyppin siirtimillä ole tällä hetkellä kysyntää. Kysynnän kasvaessa erityisesti näiden siirtimien hintojen voi ennustaa laskevan.

Uudisrakennuksissa matalat toisiolämpötilat hillitsevät kustannusten kasvua. Joissain tapauksissa uudisrakennuksen lämmönjakokeskus pysyisi samana, vaikka mitoituslämpötilat muutettaisiin, koska keskuksissa voi olla ylimitoitusta ja uudisrakennuksiin ensiöpuolen lämpötila vaikuttaa vähemmän. Voikin sanoa, että jo valmiiksi matalat toisiolämpötilat uudisrakennuksissa mahdollistava verkon siirtymisen matalampiin lämpötiloihin vain pienellä vaikutuksella kustannuksiin.

Tulevassa aluvussa 4.2 käsitellään mahdollisia etuja kaukolämpölaitteensa uusineille asiakkaille. Suurempien siirtimien aiheuttamien kustannusten takaisinmaksuajat voivat olla lyhyitä vesivirtaperusteisen tehomaksun alentuessa uusilla laitteilla. Lisäksi hinnat kehittyvät eri valmistajilla eri tavoin.

4.1.3 Toimistorakennus

Lämmönjakokeskuksien keskiarvohintojen keskiarvo 1 MW:n luokassa nykyisillä mitoituslämpötiloilla oli 12 149 € kolmelta eri toimittajalta. Lämmityslämmönsiirtimien mitoituslämpötilan laskeminen 115 °C:sta 90 °C:een nosti hintaa keskimäärin 1 409 € ja edelleen myös käyttövesisiirtimen uudelleenmitoittaminen 1 671 €. Taulukko 7 erittelee tarkemmin hintoja eri asiakkaille heidän toisiolämpötilojen mukaisesti.

Taulukko 8. Toimistorakennuskeskuksien hankintakustannukset

		Ensiötulomitoituslämpötilat, lämmitys/käyttövesi [°C]			
		alv 0	115/70	90/70	90/65
Toisiomitoituslämpötilat [°C]	80-60	Minimi [€]	10 700	12 300	12 500
		Maksimi [€]	14 840	18 210	18 560
		Keskiarvo [€]	12 737	15 248	15 444
	70-40	Minimi [€]	9 300	9 800	10 200
		Maksimi [€]	13 240	16 670	17 020
		Keskiarvo [€]	11 177	12 720	13 082
	60-30	Minimi [€]	9 000	9 300	9 700
		Maksimi [€]	12 500	15 680	16 030
		Keskiarvo [€]	10 830	12 051	12 314
	45-30	Minimi [€]	11 700	11 800	12 100
		Maksimi [€]	16 040	17 020	17 370
		Keskiarvo [€]	13 853	14 213	14 443

80–60 °C ja 45–30 °C -arviot pyydettiin kahdella siirtimellä (radiaattorilämmitys), ja 70–40 °C ja 60–30 °C -arviot kolmella siirtimellä (IV). Yksi valmistajista ilmoitti kaikki arviot kolmella siirtimellä, koska heillä on niille enemmän kysyntää tässä kokoluokassa. Hintaan sillä ei tulosten perusteella ole suurta vaikutusta, kasvaako yksi vai kaksi lämmityksen siirrintä kokoa.

Isoissa lämmönjakokeskuksissa lämmönsiirtimien osuus keskuksen hinnasta on suuri. Tämän takia toimistorakennuksen keskuksen hinta nousee aiempia tyyppirakennuksia voimakkaammin.

Käyttövesisiirtimen mitoittaminen 65 °C:lle nostaa suurissa rakennuksissa lämmönjakokeskuksen hintaa suhteessa vähän.

Erityisesti suurissa kohteissa voi olla kannattavaa investoida teknisesti edistyneisiin lämmönjakokeskuksiin. Esimerkiksi tekoölyn avulla voi tehdä säästöjä teho- ja liittymismaksussa, jos liitäntäteho voi sen avulla olla matalampi. Rakennuksiin voi olla mahdollista ladata lämpöä ennen päivittäisiä kulutuspiikkejä, jolloin liitäntäteho voi olla pienempi. Tällöin myös pienemmät lämmönsiirtimet voivat riittää vastaamaan lämmitystarpeisiin.

4.1.4 Yhteenveto hankintakustannuksista

Pelkän lämmityslämmönsiirtimen mitoittaminen 90 °C:lle nostaisi hintaa keskimäärin 5,4 % nykyisestä. Lämmityslämmönsiirtimen ja käyttövesisiirtimen mitoittaminen keskimäärin 7,3 %.

Laiteusinnoissa hankintakustannuksissa on mukana todellisuudessa myös vanhan laitteiston poisto ja uuden asennus sekä käyttöönotto, jolloin varsinaisen laitteiston osuus kokonaishankintakustannuksista edelleen laskee. Lisäksi selvityksen hinnat on pyydetty matalalla varustelutasolla. Erityisesti suurissa kohteissa investoidaan korkeampaan varustelutasoon.

Kaukolämpöyhtiöt ja urakoitsijat tarjoavat asiakkailleen hyväksi toteamiaan lämmönjakokeskuspaketteja. Heidän etunaan on asiantuntemus, valmiit suhteet laitetoimittajiin ja suurien tilausvolyyymien tuomat edut. Aiheeseen perehtynyt asiakas voi kilpailuttaa laitevalmistajat myös itse. Toisilla valmistajilla uudelleenmitoitus voi vaikuttaa asiakkaan yksilöllisiin mitoituslämpötiloihin ja tehoihin enemmän kuin toisilla.

4.2 Mahdollisia etuja asiakkaalle siirtymävaiheessa

Jotta kaukolämpöyhtiöt voisivat laskea tulevaisuudessa kaukolämpöverkon menolämpötilaa, tulee kaikkien verkkoon kytkettyjen lämmönjakokeskusten olla mitoitettu matalammille lämpötiloille tai vähintään nykymitoitus tarkistettu riittävän lämmön varmistamiseksi. Ennen sitä, siirtymävaiheessa, uudet mitoitukset vaikuttaisivat jo verkkoon. Siirtymävaiheella tarkoitetaan ajanjaksoa matalampien mitoituslämpötilojen käytön aloittamisesta siihen saakka, kunnes kaikki verkkoon kytketyt keskuskeskukset olisi uusittu matalammille lämpötiloille. Vaihe vie useita vuosia.

Siirtymävaiheessa lämmönjakokeskuksensa uusineilla asiakkailla kaukolämpöveden jäähtymä paranisi ja sen ansiosta kaukolämpöveden virtaus heille laskisi. He voisivatkin siksi saada taloudellista etua tehomaksun hinnoittelussa sekä liittymismaksussa.

4.2.1 Tehomaksu

Kaukolämmön hinta muodostuu tehomaksusta ja energiamaksusta. Tehomaksu voi pohjautua sopimustehoon tai -vesivirtaan. Sopimustehoon pohjautuva tehomaksu perustuu liitäntätehoon eli kaukolämpöverkosta saatavaan

maksimitehoon. Vesivirtaperusteisen tehomaksun periaate on sama, mutta se pohjautuu maksimitehon (kW) sijaan maksimivesivirtaan (m³/h). Kaukolämpölaitteensa uusineilla asiakkaila vesivirta laskisi siirtymävaiheessa, koska matalammille lämpötiloille uusitun lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimet pystyvät samaan tehoon pienemmällä vesivirralla.

Jos uusi mitoituslämpötila tulovedelle olisi 90 °C nykyisen 115 °C sijaan, maksimivirtaus laskisi laskennallisesti siirtymävaiheessa mitoitusolosuhteissa eri toisiomitoituslämpötiloille seuraavan taulukon 9 mukaisesti.

Taulukko 9. Virtauksen muutos siirtymävaiheessa uusituissa kohteissa ensiömenomitoituslämpötila 90 °C:lle

Toisio [°C]	Ensiöpaluu [°C]	Laskennallinen ensiöpaluu siirtymävaiheessa [°C]	Siirtimen pinta-ala vs. nykyinen mitoitus [%]	Virtauksen osuus nykyisestä [%]
80-60	63	60,4	171	95,3
70-40	43	40,7	149	96,9
60-30	33	31,0	135	97,6
45-30	33	31,6	119	98,4

Taulukosta nähdään, että suurin etu virtauksen laskun seurauksena saavutetaan luonnollisesti niissä kohteissa, joissa lämmönsiirtimet kasvavat eniten kokoa uuden mitoituksen vuoksi. Suurempien lämmönsiirtimien aiheuttaman hankintakustannusten nousun ja vesivirtamaksun alenemisen vaikutuksia kokonaiskustannuksiin voi arvioida seuraavasti raportin kerrostalotapaukselle (lämmitys 150 kW + käyttövesi 200 kW).

Sopimustehon voi laskea kaavalla 8 (Energiateollisuus 2014). Kerrostalotapaukselle se on 190 kW.

$$Q'_s = Q'_l + 20 \% Q'_{kv} \quad (8)$$

missä Q'_s on sopimusteho [W]

Q'_l on lämmityksen lämmönsiirtimen teho [W]

Q'_{kv} on käyttöveden lämmönsiirtimen teho [W]

Nykyisten ja alennettujen mitoituslämpötilojen mukaisten lämmönsiirtimen vesivirrat voi laskea kaavalla 9. Ne ovat tässä esimerkissä nykyisillä mitoituksilla 3,24 m³/h ja alennetuilla 3,09 m³/h.

$$V' = \frac{Q'_s}{c_p \rho (T_t - T_p)} \quad (9)$$

missä V' on vesivirta [m^3/s]

ρ on veden tiheys [kg/m^3]

Taulukossa 10 on neljän suomalaisen kaukolämpöyhtiön vesivirtamaksun keskiarvo, uusi keskiarvo, sekä niiden erotus laskettuna edellisillä vesivirroilla (Helen 2020, Oulun Energia 2020, Lahti Energia 2020 ja Keravan Energia 2020). Kaukolämpöyhtiöiden vesivirran laskentaperuste kuitenkin vaihtelee, joten luvut ovat suuntaa antavia.

Taulukko 10. Vesivirtamaksun hinnoittelua

Vesivirta [m^3/h]	3,24	3,09	
	Tehomaksu [€/a] (alv 0)	Uusi teho- maksu [€/a] (alv 0)	Erotus [€/a]
Keskiarvo	7 130	6 820	310

Jotkin kaukolämpöyhtiöt käyttävät hinnoittelussaan taulukoita, joissa hinnat muuttuvat sykäyksissä. Näissä tapauksissa vesivirtamaksu ei välttämättä alene, vaikka vesivirta vähenisi. Kaukolämpöyhtiöiden käyttäessä laskentakaavaa tehomaksulle, jossa vesivirta on yksi laskentakaavan komponenteista, hinnan lasku on portaaton.

Kaukolämpöyhtiöt hyötyisivät uudelleenmitoitettujen lämmönjakokeskusten parantuneesta jäähtymästä. Olisi siis tasapuolista, että hyötyä jaettaisiin myös asiakkaille, jotka investoivat uusiin laitteisiin. Kaukolämpöyhtiöt, jotka eivät käytä tehomaksun perusteena vesivirtaa vaan tehoa, voisivat myös pohtia mahdollisuutta ohjata muutosta haluamaansa suuntaan hinnoittelurakenteilla.

Vesivirtaperusteisen tehomaksun alenema on tällä hetkellä verrannollinen vesivirran alenemaan (taulukot 9 ja 10). Kun vesivirta vähenee 4,7 % 80–60 °C -asiakkailta, keskiarvon hinta laskee 4,3 %. Uudelleenmitoituksen osuuden takaisinmaksuaika voi olla lyhyt tehomaksun laskiessa: kerrostaloesimerkille 80–60 °C se olisi 1–2 vuotta.

4.2.2 Liittymismaksu

Vesivirtaa hinnoittelussaan käyttävissä kaukolämpöyhtiöissä myös kaukolämmön liittymismaksu perustuu yleensä vesivirtaan. Jos yhtiöiden liittymismaksun hinnoitteluperusteet pysyisivät samana, niin uusien asiakkaiden liittymismaksu alenisi. Taulukossa 11 on liittymismaksun keskiarvo kolmessa suomalaisessa

kaukolämpöverkossa, uusi keskiarvo vähemmällä vesivirralla sekä niiden erotus (Helen 2020, Oulun Energia 2020 ja Keravan Energia 2020). Hinnoissa ei ole huomioitu liityntäjohtoon kustannusta.

Taulukko 11. Liittymismaksun hinnoittelua

Vesivirta [m ³ /h]	3,24	3,09	
	Liittymismaksu [€] (alv 0)	Uusi liittymismaksu [€] (alv 0)	Erotus [€]
Keskiarvo	20 948	20 283	665

Liittymismaksun hinnan alennus siirtymävaiheessa on kuitenkin kaksijakoinen asia. Kaukolämpöyhtiö ei voi mitoittaa liittymää vain siirtymävaihetta ajatellen vaan suunnittelussa on otettava huomioon siirtokapasiteetin muutos siirtymävaiheen jälkeen. Toisaalta matalampi tulolämpötila on lämpöopillisesti vähemmän arvokasta kuin korkeampi. Ylipäättänsä kaukolämmön hinnoittelun ennustaminen pitkän ajan päähän on haasteellista.

4.3 Sopimusehdot

Energiateollisuus ry:n Suositus T1 - *Kaukolämmön yleiset sopimusehdot* antaa suosituksia sopimusehtoihin kaukolämpöyhtiön ja asiakkaan välille (Energiateollisuus 2017). Sitä käytetään yleisesti sopimus pohjana kaukolämpöliiketoiminnalla. Jotkin sopimusehdoista tulisivat muuttamaan mitoituslämpötilojen muuttuessa. Jo siirtymävaiheessa tulisi ottaa huomioon tiettyjä ehtojen muutoksia, ja ehdot muuttuisivat edelleen siirtymävaiheen jälkeen.

Ensinnäkin lämmönmyyjällä on oikeus hinnoittelumuutoksiin esimerkiksi olosuhteiden olennaisen muuttumisen seurauksena. Noudattaen kuitenkin kilpailulainsäädännön kohtuullisen hinnoittelun vaatimusta.

Sopimusvesivirran tai -tehon muutoksesta mainitaan T1:ssä, että siitä tehdään aina erillinen sopimus. Sopimusvesivirtaa olisi siis mahdollista laskea siirtymävaiheen ajaksi. Sopimustehoon uudelleenmitoitus ei teknisesti vaikuta, mutta kuten edellä mainittua, kaukolämpöyhtiöiden kannattaa harkita kannustimia lämmönjakokeskusten uusintaan. Silloin laitteensa uusineille asiakkaille voisi olla esimerkiksi erillinen hinnasto suhteessa laskeneeseen vesivirtaan. Jotkin kaukolämpöyhtiöt laskevat sopimusvesivirran suuruuden edellisten vuosien toteutuman perusteella. Tällöin vesivirtaan pohjautuvat maksut päivittyisivät automaattisesti viiveellä uusinnan vaikutusten myötä. Tämä ei kuitenkaan kuulu yleisiin sopimusehtoihin, koska ne eivät käsittele käytön aikaista hinnoittelua eivätkä sen perusteita.

T1:ssä mainitaan myös asiakkaalle saapuvan kaukolämpöveden lämpötilan raja-arvot. Ne ovat vähintään 65 °C ja enintään 120 °C. Siirtymävaiheessa näitä arvoja ei tarvitse muuttaa, mutta myöhemmin ne tulisi korjata vastaamaan uusia lämpötiloja. Jos kesälämpötilaa laskettaisiin 5 °C, tulisi minimitulolämpötilaa laskea myös 5 °C, jotta lämmötoimittajan toimintaikkuna ei olisi liian rajallinen. EU on ohjeistanut käyttöveden lämpötilan pidettäväksi yli 50 °C:ssa ja mielellään vähintään 55 °C:ssa legionella-bakteerin kasvun estämiseksi (Lee ym. 2017). Rakentamismääräyskokoelman mukaan lämminvesilaitteistossa olevan veden lämpötilan on oltava vähintään 55 °C (Ympäristöministeriö 2017b).

Maksimitulolämpötilaa voisi hyvin myös laskea tulevaisuudessa. Noin 20 °C:n lasku voisi olla mahdollinen. Sopimusehdoissa on hyvä säilyttää joustavuutta, jotta kaukolämpöverkkoon voi hetkellisesti ajaa kuumaa vettä. Turhan korkeita lämpötiloja ei kuitenkaan kannata varmuuden vuoksi pitää mukana. Lämpötilatasot vaikuttavat painelaitteiden vaatimuksiin, jolloin liian korkeat lämpötilat voivat johtaa tarpeettomaan ylimitoitukseen.

Mitoituslämpötilojen muutos vaikuttaisi sopimusehtoihin vähän. Varsinaiset mitoituslämpötilat päivitetäisiin K1:een, koska se ohjaa lämmönjakokeskusten mitoitusta.

5 Vaikutus kaukolämmön tuotantoon ja verkkoon

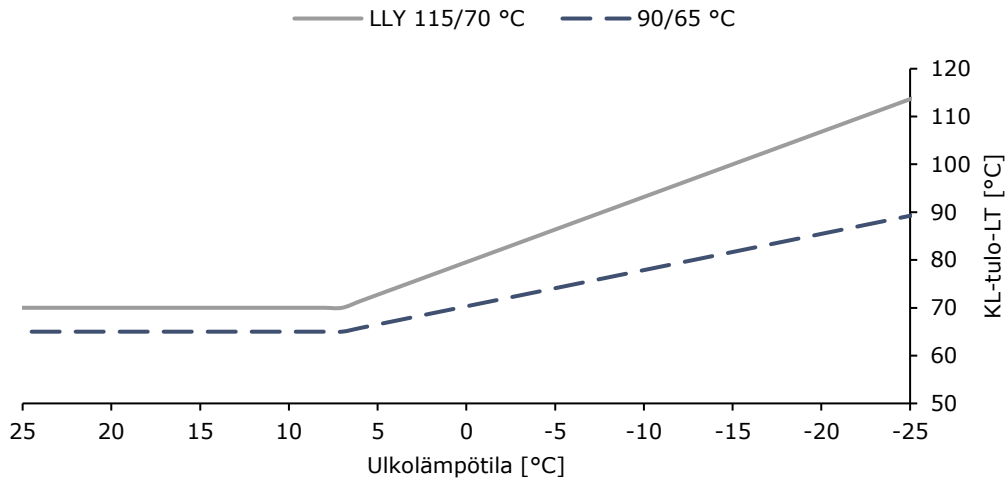
Mitoituslämpötilojen laskulla on kaukolämpöverkolle ja -tuotannolle niin lyhyellä kuin pitkälläkin aikavälillä positiivisia vaikutuksia. Tässä luvussa perehdytään niihin tarkemmin.

Pitkän ajan tähtäimellä kaukolämpöyhtiöt voisivat laskea lämpötilatasoa koko verkossa, kun lämmönjakokeskukset olisi uusittu matalammilla mitoituslämpötiloilla. Siirtymävaihe nykyhetkestä siihen saakka, kunnes kaikki verkkoon kytketyt lämmönjakokeskukset olisi uusittu, voi kuitenkin viedä kymmenestä jopa kymmeneen vuosiin.

Siirtymävaiheessa verkon virtaus hieman laskee kumulatiivisesti laitekannan uusiutuessa. Pudotus ei olisi kuitenkaan suuri uudelleenmitoituksen ansiosta. Virtaus laskisi enimmillään noin 5 % 80–60 °C -asiakkailla kulutushuippujen aikana (taulukko 9). Samalla jäähtymä hieman paranisi, mutta jo tällä hetkellä kaukolämmön paluumitoituslämpötila on lähellä toisiopuolen paluulämpötilaa (3 °C ero). Siirtymävaiheen loppupuolella jäähtymän voidaan arvioida laskennallisesti olevan 1–2 °C parempi uudelleenmitoituksen ansiosta. Kaukolämpöverkot ovat yksilöllisiä, joten yleisesti pätevän arvion antaminen on haastavaa. Vanhemmissa kaukolämpöverkoissa on paljon 80–60 °C -asiakkaita, jolloin asiakkaiden lämmönsiirtimien yhteenlaskettu pinta-ala kasvaisi voimakkaasti uusilla mitoituksilla, joka edelleen hyödyttäisi koko kaukolämpöjärjestelmää jo siirtymävaiheessa. Siirtymävaiheen jälkeen kaukolämpöverkko alkaisi toimia mitoituslämpötilojen mukaisesti.

5.1 Kaukolämpöverkon säätö ja lämpöhäviöt

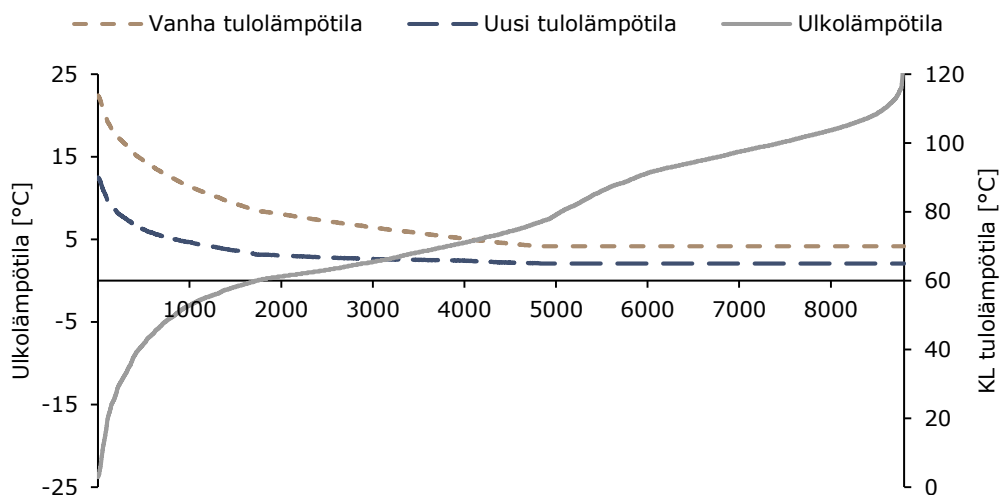
Tällä hetkellä kaukolämpöverkojen operoinnin lähtökohtana on Lämpölaitosyhdistyksen suositussäätökäyrä vuodelta 1978. Kuva 13 esittää säätökäyrää säävyöhykkeessä I (mitoitettava ulkoilman lämpötila –26 °C) verkkolle, jossa kesälämpötila on pudotettu nykyisestä 70 °C:sta 65 °C:een ja talvilämpötila nykyisestä 115 °C:sta 90 °C:een. Se missä kohtaa verkkoon ajetaan yli 65 °C vettä, on verkkokohtaista.



Kuva 13. Kaukolämpöverkon säätökäyrän pudotus

Säävyöhykkeessä I vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila on noin 5 °C. Jos verkon tulolämpötila olisi valtaosan vuodesta nykyistä 70 °C:sta matalampi, niin käyttöveden lämmönsiirtimen uudelleenmitoituksella saavutettaisiin etuja. Lämmityskaudella syksystä keväeseen ulkolämpötila on 0 °C tuntumassa samassa säävyöhykkeessä. Tällöin edut saataisiin niin käyttöveden kuin lämmityksen lämmönsiirtimien uudelleenmitoittamisesta.

Lisäämällä uusi säätökäyrä pysyvyyskäyrä-kuvaan 6 voidaan havainnollistaa verkon tietyn tulolämpötilan yleisyyttä (kuva 14). Uusi käyrä on suuntaa antava.



Kuva 14. Pysyvyyskäyrä ja laskennalliset verkon säätökäyrät

Jos kuvaa 13 käyttää esimerkkinä säätökäyrän tiputuksesta, niin nykyinen tulolämpötila on 79,5 °C ulkolämpötilan ollessa 0 °C. Jos käyrää laskettaisiin 90/65 °C -mitoituksille, niin uusi tulolämpötila olisi 70,3 °C samalle ulkolämpötilalle. Lähes 10 °C pudotus verkossa olisi varsin merkittävä kaukolämpöverkon lämpöhäviöiden ja uusien lämmönlähteiden yhteensopivuuden kannalta.

5.1.1 Verkon lämpöhäviöt

Lämpöhäviöiden muutoksen arvioimiseksi voidaan käyttää kaavan 10 yhtälöä (Koskelainen ym. 2006).

$$Q'_h = 2(K_1 - K_2) \left[\frac{T_m + T_p}{2} - T_g \right] \quad (10)$$

missä Q'_h on lämpöhäviö [W]

K on lämmönläpäisyyluvut kaukolämpöputkille [W/K]

T_g on maaperän lämpötila [°C tai K]

Koska vain verkon meno- ja paluulämpötilat muuttuvat ja putkien lämmönläpäisyyluvut pysyvät samana, saadaan uusien ja vanhojen lämpötilaerojen aiheuttamien lämpöhäviöiden suhteeksi kaava 11.

$$\frac{Q'_{h,u}}{Q'_{h,v}} = \frac{T_{m,u} + T_{p,u} - 2T_{g,u}}{T_{m,v} + T_{p,v} - 2T_{g,v}} \quad (11)$$

missä $Q'_{h,u}$ on uusien lämpöhäviöiden suhteellinen osuus

$Q'_{h,v}$ on vanhojen lämpöhäviöiden suhteellinen osuus jne.

Jos verkon tulolämpötila putoaisi kuvan 13 mukaisesti 9,2 °C, ja paluu- ja maaperälämpötilat pysyisivät vakioina 46 °C ja 6 °C:ssa, niin laskennalliset lämpöhäviöt pienenisivät 8,1 %. Karkeasti voi arvioida, että yhden asteen pudotus tulolämpötilassa pienentää verkon lämpöhäviöitä yhdellä prosentilla.

Tyypillisesti kaukolämpöverkkojen häviöt ovat luokkaa 10 % tuotetusta lämmöstä. Jos verkon lämpöhäviöt pienenisivät 8 %, niin samaa lämmönkysyntää varten tulisi tuottaa 99,2 % lämmöstä verrattuna aikaisempaan eli polttoaineenkulutus laskisi 0,8 %. Saman lämpötehon toimittamiseksi kaukolämpöveden pumppausta tulee kuitenkin kasvattaa.

5.1.2 Verkon pumppaus

Toisin kuin lämpötilan lasku, virtauksen kasvu kaukolämpöverkossa voi aiheuttaa haasteita kasvavien painehäviöiden vuoksi. Verkon virtauksellinen siirtokyky voi myös muodostua rajoittavaksi tekijäksi joissain tapauksissa.

Pumppauksen tilavuusvirta, massavirta, pyörimisnopeus, nostokorkeus, paineero ja teho riippuvat affiniteettisäännöistä. Tehon tarve muun muassa kasvaa massavirran suhteen kuutioon kaavan 12 mukaisesti.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{m'_1}{m'_2}\right)^3 \quad (12)$$

missä P on sähköteho [W]

Tällöin esimerkiksi virtauksen kaksinkertaistuessa tehon tarve kahdeksankertaistuu. Virtauksen kasvu ei tulisi olemaan näin voimakasta kaukolämpöverkoissa normaalitilanteessa lämmityskaudella. Jos esimerkkinä käyttää kuvan 13 käyrää niin kaukolämpöveden massavirta kasvaisi 38 % ulkolämpötilan ollessa 0 °C, joka edelleen kasvattaisi pumppauksen sähkötehon tarvetta 90 %.

Pumppausenergian osuus lämmön hankinnasta oli 0,70 % vuonna 2017 (Energieellisuus 2018). Sähkön hinta on ailahtellut ja ollut alhaalla vuoden 2020 alusta saakka. Pääsääntöisesti sähkö on kuitenkin lämpöä arvokkaampaa, jolloin säästöt polttoainekuluissa verkon lämpöhäviöiden laskiessa ovat pyöreästi samaa luokkaa kasvaneiden pumppauskustannuksien kanssa. On huomionarvoista, että pumppujen kuluttama sähkö muuttuu lämmöksi, eikä se siis mene hukkaan. Kaukolämpöyhtiö ei tosin saisi suuria säästöjä verkon lämpöhäviöiden minimoimisella. Väljästi mitoitettussa verkossa säästö voi olla kuitenkin merkittävä. Asiaa on myös tarkemmin selvitetty diplomityössä *Kaukolämmön menoveden lämpötilan taloudellinen optimointi* (Laaksonen 2018).

Kaukolämpöyhtiöt määrittävät itse säätökäyränsä. Verkoissa, joissa kaukolämpöputkien kapasiteetti rajoittaa siirtokapasiteettia, ei voida välttämättä kasvat-
taa virtausta voimakkaasti. Säätökäyrän ei ole oltava kuvan 13 mukainen. Se voi esimerkiksi jyrkentyä loppua kohden, jolloin huipputeho toimitetaan korkealla lämpötilalla virtauksen sijaan. Uusi tulomitoituslämpötila ei tarkoittaisi maksimilämpötilaa verkolle. Verkkoihin voi ajaa tulevaisuudessakin kuumaa vettä tilanteen sitä vaatiessa. Kaukolämpöjärjestelmät kestäisivät tulevaisuudessa korkeita lämpötiloja, siinä missä nykyisetkin.

Säätö- ja mittaustarkkuuden kannalta virtauksen kasvulla on hyviä ja huonoja vaikutuksia niin kaukolämpöverkkoon kuin asiakaslaitteisiin. Suurta virtausta on helpompi säätää säätöventtiileillä tarkasti. Lisäksi venttiilit toimisivat harvemmin sulkeutumisrajan tuntumassa virtauksen kasvaessa. Heikolla virtauksella venttiilit käyvät katkonaisesti, koska säädettävyyys sulkeutumisrajan tuntumassa on huono. Toisaalta taas virtauksen kasvu hankaloittaa venttiilin toimintaa ja sulkeutumista jossain määrin. Myös vaikutus meluun tulee huomioida säätöventtiilin valinnassa.

5.2 Uudet lämmönlähteet ja lämpöpumput

Matalat kaukolämpöverkon lämpötilat mahdollistavat uusien ja uusiutuvien lämmönlähteiden hyödyntämisen entistä paremmin kaukolämmöntuotannossa. Uusia lämmönlähteitä voivat olla esimerkiksi teollisuuden hukkalämpö, datakeskukset, maalämpö, aurinkokeräimet, ilma tai merivesi lämpöpumppujen avulla.

Monien lämmönlähteiden lämpötilatasoa täytyy nostaa lämpöpumpulla kaukolämpöverkkoon sopivaksi. Lämpöpumpun kuluttaman sähkön kannalta lämpötilatason noston suuruudella on merkitystä. Lämpöpumpun COP-luku (Coefficient of Performance) kuvaa tuotetun lämmön ja kulutetun sähkön suhdetta (kaava 13).

$$COP = \frac{Q'}{P} \quad (13)$$

COP-kertoimen muutosta tulolämpötilan funktiona voi arvioida lämpöpumpun höyrystimen ja lauhduttimen lämpötiloilla kaavalla 14. Jos lämpöpumppu tuottaa verkon menolämpötilan, niin lauhduttimen lämpötila on hieman korkeampi kuin menolämpötila.

$$COP_H = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (14)$$

missä T_H on lämpöpumpun lauhduttimen lämpötila [K]

T_C on lämpöpumpun höyrystimen lämpötila [K]

Jos lämpöpumpun lauhduttimen ja höyrystimen lämpötilaeroa laskisi noin 10 °C:lla verkon tulolämpötila laskun seurauksena, niin COP paranisi noin yhdellä. Kaavasta 14 voi nähdä, että mitä vähemmän lämpöpumpun tarvitsee nostaa lämpötilaa, sitä vähemmän se tarvitsee sähkötehoa, mikä edelleen parantaa COP-kerrointa. Lämpöpumppujen hyötysuhde vaihtelee voimakkaasti lämpötilatasojen ja käytetyn tekniikan mukaan.

5.3 Lämmöntalteenotto savukaasuista

Paluuveden lämpötila tulee laskemaan kiinteistöjen rakennuskannan uusiutuessa ja energiatehokkuuden parantuessa. Paluuveden lämpötilan laskiessa ei nykyisillä mitoituslämpötiloilla voida laskea menolämpötilaa. Uusilla mitoituksilla menolämpötilaa voisi laskea kasvattamalla virtausta. Matalat mitoituslämpötilat vaikuttavat myös paluulämpötilaan laskevasti, jolloin lämmöntuotanto pystyy tehostamaan myös nykyistä tuotantoa. Esimerkiksi lämmöntalteenotto

(LTO) savukaasuista savukaasupesureissa kasvaa paluulämpötilan laskiessa. Verkon paluulämpötila käytännössä määrää sen, kuinka viileäksi savukaasut voidaan saada jäähtymään eli kuinka vähän lämpöä menee hukkaan. Pesurin lämmöntalteenottoa voi parantaa myös laskemalla paluulämpötilaa lämpöpumpulla. Pesurin LTO:n tehon osuutta kattilatehosta paluulämpötilan funktiona voi arvioida seuraavan korrelaatiokaavan 15 avulla.

$$Q'_{p\%} = 0,848 \mu - 0,0106 T_p + 0,297 \quad (15)$$

missä $Q'_{p\%}$ on pesurin tehon osuus kattilatehosta
 μ on kosteuden osuus polttoaineen massasta

Yhden asteen pudotus paluulämpötilassa lisää LTO:n osuutta kattilatehosta noin yhdellä prosentilla polttoaineen kosteuden ollessa 50 %.

5.4 Muita hyötyjä kaukolämpöjärjestelmälle

Lämpötilamuutokset kaukolämpöputkissa aiheuttavat putkien lämpölaajenemista, joka aiheuttaa mekaanista rasitusta. Lämpöjännitykset voivat johtaa väsymisvaurioihin verkossa. Laskemalla verkon menolämpötilatasoa myös lämpötilamuutokset vähenevät. Tällä voi olla esimerkiksi verkon käyttöikää pidentäviä vaikutuksia. Lisäksi, putkien eristeiden ominaisuudet ovat paremmat matalammilla lämpötiloilla ja niiden voi olettaa myös pysyvän parempina pidempään. (Koskelainen ym. 2006.)

Vastapainesähköntuotannon osuuteen yhteistuotannosta vaikuttaa turbiinilta lähtevän höyryn lämpötila. Laskemalla verkon menolämpötilaa tuotetun sähkön osuutta voidaan siis halutessa kasvattaa, jos höyryn lämpötilaa voi laskea.

Polttotekniikka tulee pysymään vielä pitkään mukana kaukolämmöntuotannossa, mutta sen osuus tulee vähenemään ja sen rooli muuttumaan. Kaukolämmöntuotannossa on mahdollista käyttää eri lämmönlähteitä sarjaan kytkettynä siten, että kylmimpinä kausina uusiutuvaa matalalämpötilaista energiaa käytetään kaukolämpöveden esilämmittämiseen ja lämmityskauden ulkopuolella ei-polttavalla uusiutuvalla lämmöllä tuotetaan valtaosa tai kaikki lämmöstä. Menolämpötila vaikuttaa esimerkiksi aurinkokaukolämmön kannattavuuteen. Pöyry on arvioinut vuonna 2013 selvityksessään tasokeräimien olevan aurinkokeräintyypeistä kannattavimpia Suomessa. Juuri tasokeräimille matalasta verkon menolämpötilasta olisi hyötyä (Pöyry 2013).

6 Yhteenveto

Selvityksen perusteella lämmönjakokeskuksien hankintakustannusten kasvun ei pitäisi muodostua esteeksi tulomitoituslämpötilan laskemiselle. Osa asiakkaista voi saada etuja siirtymävaiheessa hinnoitteluperiaatteiden pysyessä ennallaan. Kaukolämpöyhtiöiden kannattaa harkita myös muita kannustimia asiakkailleen, jotka ovat uusineet laitteistonsa uusilla mitoituksilla.

Kaukolämmöntuotannolle matalista lämpötiloista olisi hyötyä varsinkin uusien lämmönlähteiden ajatellen. Matalat verkon lämpötilat voivat parantaa myös olemassa olevan tuotannon hyötysuhdetta ja siten ne laskisivat myös polttoainekuluja.

Kaukolämpöyhtiöiden tulisi kommunikoida lämpötilojen muutos selkeästi ja avoimesti asiakkaiden kanssa. Taloudellisten kannustimien kehittäminen on varmasti yksi tehokas keino kanssakäymiseen. Lämpötilojen lasku verkossa on ekologinen ratkaisu, joka osaltaan mahdollistaa siirtymisen pois fossiilisista polttoaineista. Matalampien mitoituksilämpötilojen lämmönjakokeskuksia voisi hyvin markkinoida yhteensopivina uusiutuvan lämmön kanssa.

Tulomitoituslämpötilan laskeminen 90 °C:een olisi merkittävä pudotus nykyisestä 115 °C:sta. Verkon minimimitoituksilämpötilan laskemista 70 °C:sta esimerkiksi 65 °C:een olisi syytä arvioida myös. Tällöin verkkoa voisi operoida viileämpänä keväästä syksyyn. Joissain tapauksissa jopa ilman polttotekniikkaa tai sen tuella.

Ilmastonmuutos tulee ohjaamaan lämmöntuotantoa entistä voimakkaammin pois kasvihuonekaasuja muodostavasta tuotannosta. Tämä johtanee polttotekniikan vähenemiseen. Fossiiliset polttoaineet eivät ole enää kilpailukykyisiä ja polttotekniikka kohtaa kritiikkiä enenevässä määrin. Nykyistä tulomitoituslämpötilaa voi pitää korkeana. Vuoden 1983 jälkeen rakennettujen kiinteistöjen toisiomenomitoituslämpötila on ollut 70 °C. Tätä vanhempien rakennusten energiatehokkuus on parantunut 40 vuodessa, jolloin yli 100 °C tulolämpötila on korkea kireimmilläänkin pakkasilla. Mitoituslämpötiloja olisi hyvä laskea mahdollisimman nopeasti, koska nykyisten mitoituksien käytön jatkaminen siirtää mahdollisuutta laskea lämpötilatasoja tulevaisuudessa.

Kaukolämpö mahdollistaa lämmöntuotannon etäisyyden päässä kulutuksesta. Erityisesti tiheästi asutuilla seuduilla siitä on kilpailuetua. Kaukolämmöllä on tärkeä rooli suomalaisten lämpimänä pitämisessä ja lämmön jakamisessa. Sen valoisa tulevaisuus kannattaa varmistaa ennakoimisella ja aktiivisella toiminnalla.

Lähdeluettelo

1010/2017 – Suomen säädöskokoelma. 2017a. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatehokkuudesta. Helsinki: Ympäristöministeriö. 19 s. Saatavissa: <https://www.ymp.fi/download/noname/%7BFD99E48D-F28B-452E-8175-29EA77ABD4CA%7D/133872>.

1047/2017 – Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2017b. Ympäristöministeriön asetus rakennusten vesi- ja viemärilaitteistoista. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171047>.

Alen, M. 2020. Tekninen asiakaspalvelu päällikkö. Helen Oy. Helsinki. Sähköpostikeskustelu 16.3.2020.

Aurinkokaukolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa. 2013. Vantaa: Pöyry Management Consulting Oy. Saatavissa: <https://tem.fi/documents/1410877/2872337/Aurinkol%C3%A4mm%C3%B6n+liiketoimintamahdollisuudet+kaukol%C3%A4mm%C3%B6n+yhteydess%C3%A4+Suomessa+05072013.pdf>.

BPHE evaporators. 2019. [Verkkoaineisto]. Landskrona: SWEP AB. [Viitattu 20.4.2020]. Saatavissa: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/6.-evaporators/asas3/>.

Cengel, Y. A. 2002. Heat Transfer – A Practical Approach. 2nd ed. New York: McGraw Hill. 907 s. ISBN 0-07-123042-4.

Hartman, A. 2020. Toimitusjohtaja. HögforsGST. Leppävirta. Sähköpostikeskustelu 1.4.2020.

Havaintojen lataus. 2020. [Verkkoaineisto]. Helsinki: Ilmatieteen laitos. [Viitattu 22.4.2020]. Saatavissa: <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>.

Hölsä, A. 2020. Tekninen palvelupäällikkö. Fortum Oyj. Sähköpostikeskustelu 16.3.2020.

K1/2013. 2014. Rakennusten kaukolämmitys – Määräykset ja ohjeet. Helsinki: Energiateollisuus ry. 92 s. ISBN 978-952-5615-42-5.

K15/2014. 2014. Teho ja vesivirta kaukolämmön maksuperusteina. Helsinki: Energiateollisuus ry. 25 s.

Kaukolämmön energia- ja vesivirtamaksut 1.5.2020 alkaen. 2020. [Verkkoaineisto]. Helsinki: Helen Oy. [Viitattu 2.4.2020]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/lampo-ja-jaahdytys/kotitaloudet/kaukolammon-energia-ja-vesivirtamaksut-01052020.pdf>.

Kaukolämmön käyttötaloudelliset tunnusluvut 2017. 2018. Helsinki: Energiateollisuus ry. 26 s.

Kaukolämmön liittymishinnasto. 2019. [Verkkoaineisto]. Helsinki: Helen Oy. [Viitattu 23.4.2020]. Saatavissa: <https://www.helen.fi/globalassets/hinnastot-ja-sopimusehdot/lampo-ja-jaahdytys/kotitaloudet/kaukol%C3%A4mm%C3%B6n-liittymishinnasto.pdf>.

Kaukolämmön liittymismaksuhinnasto. 2013. [Verkkoaineisto]. Kerava: Keravan Energia Oy. [Viitattu 23.4.2020]. Saatavissa: https://www.keravanenergia.fi/application/files/9414/5595/2271/kaukolampo_liittymahinnasto.pdf.

Kaukolämpöhinnasto. 2020. [Verkkoaineisto]. Kerava: Keravan Energia Oy. [Viitattu 2.4.2020]. Saatavissa: https://www.keravanenergia.fi/application/files/5815/4359/5313/kaukolampo_hinnasto_kerava_LVV_010119_alv24.pdf.

Kaukolämpöliittymän hinta. 2020. [Verkkoaineisto]. Oulu: Oulun Energia Oy. [Viitattu 23.4.2020]. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/lampo/kaukolampo/hinnasto/kaukolampoliittymän-hinta>.

Koskelainen, L., Saarela, R. & Sipilä, K. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Energiateollisuus ry. 566 s. ISBN 952-5615-08-1.

Laaksonen, L. 2018. Kaukolämmön menoveden lämpötilan taloudellinen optimointi. Saatavissa: <https://lutpub.lut.fi/handle/10024/158481>.

Laskentakaavat. 2020. [Verkkoaineisto]. Oulu: Oulun Energia Oy. [Viitattu 2.4.2020]. Saatavissa: <https://www.oulunenergia.fi/lampo/kaukolampo/hinnasto/kaukolammon-energia-ja-perusmaksut/laskentakaavat>.

Lee, S et al. 2017. European Technical Guidelines for the Prevention, Control and Investigation, of Infections Caused by Legionella species. European Commission: European Centre for Disease Prevention and Control. Saatavilla: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/portal/files/documents/Legionella%20GuidelinesFinal%20updated%20for%20ECDC%20corrections.pdf>.

Lytykäinen L. & Kuivanen, J. 2016. Turun Skanssin alueen kaksisuuntainen kaukolämpöratkaisu. [Verkkoaineisto]. Saatavissa: https://energia.fi/files/801/Lu_Kuivanen_kaukolampopaivat.pdf.

Lämpömaksuhinnasto. 2020. [Verkkoaineisto]. Lahti: Lahti Energia Oy. [Viitattu 2.4.2020]. Saatavissa: <https://www.lahtienergia.fi/fi/lampo/hinnastot-sopimusehdot/kaukolammon-hinnat>.

Matikainen, P. 2020. Tarjouslaskija. Gebwell Oy. Leppävirta. Sähköpostikeskustelu 20.4.2020.

Mäkelä, V-M. & Tuunanen J. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin Ammattikorkeakoulu. ISBN 978-951-588-507-4.

T1/2017. 2017. Kaukolämmön yleiset sopimusehdot. Helsinki: Energiateollisuus ry. 22

Terho, M. 2020. Kehityspäällikkö. Danfoss Oy. Leppävirta. Sähköpostikeskustelu 9.4.2020.