

samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

OSKARI LEHTO

# **Kaukolämpöjärjestelmän uudelleenmitoitus ja vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen**

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIikka  
2025

## TIIVISTELMÄ

Lehto, Oskari: Kaukolämpöjärjestelmän uudelleenmitoitus ja vaikutukset rakennuksen energiankulutukseen  
Opinnäytetyö, AMK  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Toukokuu 2025  
Sivumäärä: 46

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda dokumentti toimeksiantajalle kaukolämpökeskuksen uudelleenmitoituksesta. Toimeksiantajana toimii Are Oy. Toimeksiantajan puolesta saatiin konkreettinen mitoituskohde Turkuun, johon hanke lopulta suoritettiin. Mitoitus pohjan avulla toimeksiantaja pystyy hyödyntämään sitä tulevissa hankkeissaan, sekä tarkastamaan laskelmat kyseisen tutkimuksen mukaan.

Lisäksi tutkittiin, millä tavalla hanke vaikutti lopullisesti rakennuksen energiankulutukseen. Tutkimus perustui isännöitsijältä saatuun määrälliseen energiakulutusdataan ennen ja jälkeen remontin, jonka pohjalta energiatehokkuutta analysoitiin.

Opinnäytetyön kirjallinen osuus perustuu kaukolämpöjärjestelmän toiminnan läpikäyntiin, lämpökeskuksen toiminnan avaamiseen, sekä uudelleenmitoituksen teoreettiseen läpikäyntiin. Hankkeen laskennallisen mitoitustiedon avulla tilaaja pystyy hyödyntämään sekä vertailemaan vastaavanlaisten hankkeiden todenmukaisuutta ja varmistamaan oikeanlaisen mitoituksen.

Avainsanat: Kaukolämpö, Mitoitus, Energiakulutus

## ABSTRACT

Lehto, Oskari: Redesign of District Heating System and Its Impact on Building's Energy Consumption  
Bachelor's thesis  
Construction and Civil engineering  
May 2025  
Number of pages: 46

This thesis propose is to create a document for the client Are Oy, about the redesign of a district heating substation. A specific site in Turku was provided by the client, and the project was ultimately carried out there. With the help of the created design template, the client can apply it in future projects and verify calculations based on this study's results.

The study also looked at how the project affected the building's overall energy efficiency. Energy consumption data formed the basis of the analysis provided by the property manager, covering periods before and after the renovation, which was used to assess improvements in energy efficiency.

The written part of the thesis focuses on explaining how district heating systems work, how heating substations operate, and going through the theory behind redesigning such systems. With the calculated design data from this project, the client can use and compare it with similar projects and ensure that the correct design criteria are met.

Keywords: District heating, Design Calculation, Energy Consumption

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO .....	5
2 KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄ.....	7
2.1 Kaukolämpökeskus .....	7
2.1.1 Ensiöpuoli .....	8
2.1.2 Toisiopuoli .....	8
2.2 Kaukolämpöverkosto Turussa .....	9
3 JÄRJESTELMÄN UUDELLEENMITOITUS.....	11
3.1 Lämmönsiirrin .....	11
3.2 Säätoventtiilit .....	15
3.3 Pumput.....	18
3.4 Paisunta ja varolaitteet .....	18
4 KOHTEEN MITOITUSLASKELMA.....	22
4.1 Lämmönsiirtimet .....	22
4.1.1 Käyttövesi .....	22
4.1.2 Patteriverkosto.....	25
4.1.3 Ilmanvaihdon lämmitys .....	26
4.1.4 Mitoitustulokset .....	27
4.2 Säätoventtiilit .....	27
4.2.1 Käyttövesi .....	28
4.2.2 Patteriverkosto.....	29
4.2.3 Ilmanvaihdon lämmitys .....	31
4.2.4 Mitoitustulokset .....	32
4.3 Kiertovesipumput ja varolaitteet .....	32
4.3.1 Käyttövesi .....	32
4.3.2 Patteri- ja IV-lämmitys.....	33
4.3.3 Varolaitteet ja paisunta-astiat .....	33
5 VAIKUTUKSET ENERGIAATEHOKKUUTEEN.....	35
5.1 Lämmitysenergian kulutuksen tulokset.....	36
5.2 Käyttöveden kulutuksen tulokset .....	38
6 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	39
LÄHTEET .....	41
LIITTEET .....	44

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsitellään kaukolämpöjärjestelmän uudelleenmitoitusta sekä vaikutuksia rakennuksen energiankulutukseen ja sitä kautta energiatehokkuuteen. Rakennusten energiatehokkuus on noussut keskeiseksi teemaksi ilmastonmuutoksen hillinnässä ja energian käytön tehostamisessa. Rakennuskanta kuluttaa merkittävän osan kokonaisenergiasta niin Suomessa, kuin maailmalla. Tällöin rakennusten energiatehokkuuteen panostaminen tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia päästövähennyksissä sekä kustannussäästöissä.

Työssä havainnollistetaan, miten lämmönjakokeskuksen oikea mitoitus voisi parantaa järjestelmän toimivuutta ja pienentää energiankulutusta. Työn tilaajana toimii Are Oy, jonka kautta saatiin konkreettinen uudelleenmitoitusprojekti Turusta, johon kaukolämpökeskuksen mitoitus hanke suoritettiin. Mitoitus perustuu olemassa olevan kohteen lähtötietoihin, jonka pohjalta mitoitus tehtiin.

Opinnäytetyö on tehty kvantitatiivista tutkimusmenetelmää käyttäen eli se perustuu määrälliseen dataan. Näin ollen uudelleenmitoituksen vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen analysoitiin saatujen kulutustietojen perusteella ennen ja jälkeen järjestelmän uusimisen. Työn tarkoituksena on käydä uudelleenmitoitusprosessi vaiheittain läpi siten, että käytännön toteutus selkeytyy ja tulevien hankkeiden uudelleenmitoitus helpottuu.

Tutkimuksen aikana ei mainita tarkkoja henkilötietoja, joten tutkimukseen liittyvät henkilöt eivät ole tunnistettavissa. Tutkimus on toteutettu eettisesti läpinäkyvästi, sillä tutkimukseen osallistuneet tahot ovat olleet tietoisia tutkimuksen vaiheista ja kulusta koko tutkimuksen ajan. Tutkimuksen aihe on luonteeltaan sellainen, ettei eettisen tutkimuksen piirteistä tarvitse huolestua

henkilötietojen osalta, koska tutkimuksen aikana ei käsitellä henkilöitä, vaan laitekokonaisuuksia. Tutkimus on toteutettu ympäristöä, yhteiskuntaa ja ekosysteemiä kunnioittaen. (TENK, 2023).

Opinnäytetyötä varten luotiin valmis mitoituspohja Excel -ohjelmalla, jonka sisältö perustuu opinnäytetyössä läpikäytyihin laskentatapoihin. Toimeksiantaja pystyy hyödyntämään opinnäytetyössä esille tulevaa laskentapohjaa tulevissa hankkeissaan, jolloin kaukolämpökeskuksen mitoitus onnistuu jatkossa helpommin.

## 2 KAUKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄ

Kaukolämpö on lämmitysjärjestelmä, joka toimii kaupungin energialaitoksen tuottaman lämmitysenergian avulla. Voimalaitoksissa tuotettu energia ohjataan putkistoa pitkin taajamissa sijaitseviin kiinteistöihin, josta kuuma neste ohjataan kiinteistön sisällä sijaitsevaan lämmönjakokeskukseen. Tämän jälkeen se palaa paluuputkistoa pitkin takaisin voimalaitokselle, jossa se lämmitetään uudelleen. Kuvassa 1 on havainnollistettu kyseinen toimintaperiaate.



Kuva 1. Kaukolämpöverkoston toiminta (Helen, 2025)

### 2.1 Kaukolämpökeskus

Kaukolämpökeskus on kiinteistössä toimiva laitekokonaisuus, joka sijoitetaan pääsääntöisesti kiinteistön lämmönjakohuoneeseen tai tekniseen tilaan. Keskukseen kuuluu lukuisia pääkomponentteja, jotka on esitetty Taulukossa 1. Kiinteistön kaukolämpöjärjestelmä on jaettu ensiö- ja toisiopuoleen. Taulukon oikeanpuoleisessa sarakkeessa on esitetty komponentin sijainti järjestelmässä. (Motiva, 2025).

Lämmönsiirtimet (Käyttövesi ja lämmitys)	
Säätöventtiilit	Ensiö
Pumput	Toisio
Paisunta-astiat sekä varolaitteet	Toisio
Sulkuventtiilit	Ensiö, Toisio

Taulukko 1. Kaukolämpökeskuksen pääkomponentit (Helen, 2025).

### 2.1.1 Ensiöpuoli

Ensiöpuolella tarkoitetaan putkisto-osaa, laitteita sekä venttiilejä, jossa kaupungin kaukolämpövesi virtaa tai joiden paineeseen se vaikuttaa. Ensiöpuolen suunnittelulämpötila on 120 °C ja suurin sallittu käyttöpaine eli suunnittelupaine on 1,6 MPa (K1, 2021). Ensiöpuolen komponentteja on sulkuventtiilit, säätöventtiili, energianmittari sekä painemittarit ja lämpötilanturit. Kaikki energialaitoksen kaukolämpöverkoston liittyvien putkistojen ja komponenttien tulee olla ruostumatonta terästä tai haponkestävää terästä sekä liitokset tulee tehdä hitsaus- tai laippaliitoksilla

Verkoston säätöventtiili ja toimilaitte asennetaan kaukolämpöverkoston tuloputkeen ennen lämmönsiirintä, säätämään lämmityksen menoveden lämpötilaa annettujen asetusarvojen mukaan (Gebwell, 2025).

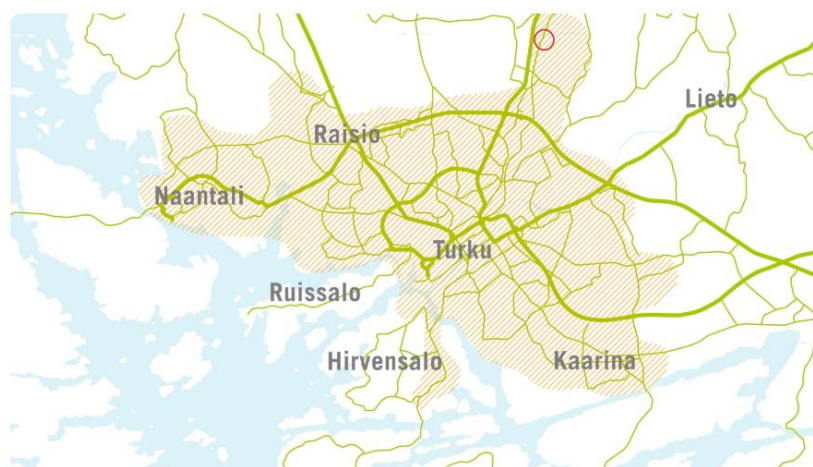
### 2.1.2 Toisiopuoli

Järjestelmän toisiopuolella tarkoitetaan lämmönsiirtimestä lähtevää lämmitettyä verkostoa sekä siihen kuuluvia komponentteja. Toisiopuolen korkein sallittu lämpötila eli suunnittelulämpötila on 80 °C lämmitysverkostossa ja 65 °C käyttövesiverkostossa. Suurimman sallitun käyttöpaineen lämmitysverkostossa määrittää LVI-suunnittelija, mutta suositeltava käyttöpaine on 0.6 MPa. Käyttövesiverkostossa suunnittelupaine on 1,0 MPa. (K1, 2021).

Toisiopuolen putkiston komponentteja ovat sulku- ja kertasäätöventtiilit, lianerottimet, lämpö- ja painemittarit, tyhjennys- ja ilmanpoistoveniitit, kiertovesipumput sekä paisunta-asema, johon kuuluu paisunta-astia ja varolaitteet. Paisunta-asema asennetaan aina suljettuun verkostoon, kuten patteriverkostojärjestelmään. Paisunta-asema koostuu paisuntasäiliöstä ja varolaitteista, kuten varoveniiteistä.

## 2.2 Kaukolämpöverkosto Turussa

Tässä työssä oli mukana yksi kohde Turusta, johon kaukolämpöjärjestelmä päivitettiin uusilla arvoilla. Kaukolämpöjärjestelmä on Turun yleisin lämmitysmuoto. Kuvassa 2 on havainnollistettu kaukolämpöverkoston laajuus Turun alueella. Turku Energian mukaan kaukolämpöä on jaettu jo yli 200 000 kiinteistöön (Turku Energia, 2025). Hankkeen kohde on merkattuna punaisella ympyrällä karttaan.



Kuva 2. Kaukolämpöverkosto Turussa (Turku Energia, 2025)

Turussa kaukolämpöä tuottaa Turku Energia sekä Turun Seudun energiantuotanto Oy (TSE). Naantalinvuimalaitos, Kakolan lämpöpumppulaitos, Artukaisten höyrylämpölaivos sekä Orikedon biolämpökeskus toimivat pääosin Turun alueen kaukolämmöntuottajana. Näiden lisäksi energiayhtiö hankkii biopoltoaineilla sekä hukkalämmöillä tuotettua lämpöenergiaa asiakkailta ja yhteistyökumppaneilta. Kovien pakkasjaksojen sekä mahdollisten häiriötilanteiden aikana tuotantoon

saadaan myös apua pelletti- ja öljykeskuksista. Nämä keskuksat sijaitsevat Turun kaupungin lähetyvillä, Naantalissa, Kaarinassa sekä Raisiossa (Turku Energia, 2025).

### 3 JÄRJESTELMÄN UUDELLEENMITOITUS

Kaukolämpöjärjestelmän tekninen käyttöikä on 20–25 vuotta, jonka jälkeen tulisi harkita lämmönjakokeskuksen uusimista. Oikea mitoitus uudelle keskukselle on tärkeää, koska tällöin voidaan saada aikaan investointisäästöjen lisäksi myös parannusta rakennuksen energiatehokkuuteen. Mitoitukset perustuvat pitkälti Energiateollisuus Ry:n julkaisemaan ”Kaukolämmön määräykset ja ohjeet” -dokumenttiin (K1, 2021).

#### 3.1 Lämmönsiirrin

Laskenta alkaa lämmönsiirtimien mitoituksella. Tavallisissa asuinkiinteistöissä on pääsääntöisesti olemassa kaksi lämmityspiiriä, käyttövesipiiri sekä patteri- tai lattialämmityspiiri. Suuremmissa kiinteistöissä, jossa on kokonaisuudeltaan laajempi järjestelmä, on kaukolämpökeskukseen yhdistetty myös ilmanvaihdon lämmityspiiri. Ilmanvaihdon lämmityspiirissä verkosto ohjautuu ilmanvaihtokoneen lämmityspatteriin, jossa se lämmittää raitisilman haluttuun lämpötilaan. Näissä kaikissa lämmityspiireissä on oma lämmönsiirrin, jonka avulla lämpö siirtyy ensiöpuolelta toisiopuolelle. Kaukolämpökeskuksen lämmönsiirtimien määrittämiseksi jokaisen lämmityspiirin tehotarve tulee selvittää. Tehontarpeen yksikkö on watti (kW). (K1, 2021).

Tehontarpeen saa laskettua  $\Phi = q_v * \rho * c_p * \Delta T$ , jossa:

$\Phi$  = teho (kW)

$q_v$  = mitoitusvirtaama (l/s)

$\rho$  = tiheys (kg/l)

$c_p$  = ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C)

$\Delta T$  = lämpötilaero meno- ja paluupuolen välillä (°C)

Veden aineominaisuudet ovat esitetty liitteessä 1. Liitteestä löytyvässä taulukossa on mainittu veden ominaislämpökapasiteetti (kJ/kg°C) sekä tiheys (kg/l). (K1, 2021).

Mikäli lämmityspiirin teho on selvillä, mutta mitoitusvirtaamaa ei ole selvillä, tulee virtaama laskea kaavalla  $q_v = \frac{\dot{Q}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T}$ . (K1, 2021).

Laskentakaavan mitoituslämpötilat, joiden mukaan lämpötilaero  $\Delta T$  määrittäminen perustuu taulukoissa 2–4 esitettyihin lukemiin. Mitoituslämpötilat määräytyvät kuitenkin rakennuskohteen muodon mukaan, eli onko kyseessä uudisrakennus vai olemassa olevan rakennuksen saneeraus (K1, 2021).

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C		
	ENSIÖ		TOISIO
	TULO	PALUU	
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	90 (max)	33 (max)	LVI-suunnittelija mitoittaa järjestelmät siten, että <ul style="list-style-type: none"> <li>• menolämpötila on enintään 60 °C</li> <li>• paluulämpötila on enintään 30 °C.</li> </ul>
		Lisäksi: Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.	

Taulukko 2. Uudiskohteen mitoituslämpötilat lämmityksen ja ilmanvaihtopiirin lämmönsiirtimille (K1, 2021).

Taulukossa 2 on esitetty uudisrakennuskohteelle suunnattu mitoituslämpötilataulukko. Lämmitys- ja ilmanvaihtopiirin lämmönsiirtimet, sekä komponentit kuten säätöventtiilit mitoitetaan 90 °C tulolämpötilaa käyttäen. Ennen vuotta 2021 kaukolämmön tulolämpötilana käytettiin 115 °C.

Tästä syystä lämmityksen säädön toimivuus tulee varmistaa 115 °C käyttäen. (K1, 2021).

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C		
	ENSIÖ		TOISIO
	TULO	PALUU	
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	90	43 (...63)	LVI-suunnittelija mitoittaa lämmitysverkon siten, että <ul style="list-style-type: none"> <li>• menolämpötilaksi suositellaan korkeintaan 70 °C,</li> <li>• tarvittaessa voidaan käyttää korkeampaa menolämpötilaa.</li> </ul>
Lämmityksen lämmönsiirtimet, lattialämmitys	90	33 (max)	
		Lisäksi: Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.	

Taulukko 3. Olemassa olevan rakennuksen mitoituslämpötilat lämmityksen ja ilmanvaihtopiirin lämmönsiirtimille (K1, 2021).

Taulukossa 3 on esitetty mitoituslämpötilat lämmitys- ja ilmanvaihtopiirille olemassa olevalle rakennukselle. Patteriverkostopiirin mitoituksessa suositellaan 70 °C menoveden lämpötilaa. Korkeampaa lämpötilaa käytetään vain tilanteissa, joissa lämmönsiirintä ei uusita. Korkeampaa lämpötilaa käytetään myös tilanteissa, joissa patteriverkosto tai tilat vaativat korkeampaa mitoituslämpötilaa. Kyseisen verkoston paluueden lämpötila määrittää, miten alhaiseksi kaukolämmön paluupuolen lämpötila tullaan valitsemaan. (K1, 2021).

Lattialämmityspiiriä mitoittaessa menoveden lämpötilana käytetään huomattavasti matalampaa lämpötilaa verrattuna patteriverkoston. Menoveden lämpötila lattialämmityksen muoviputkissa on 40–50 °C riippuen rakennuksen iästä. Lämpötilan liiallisen nousun rajoittamiseen asennetaan toisiopuolen muovijärjestelmään rajoitintermostaatti. (K1, 2021).

Lämmönjakokeskuksen päivityksen yhteydessä pyritään hyödyntämään olemassa olevan lämmitysverkoston mahdollinen ylimitoitus alentamalla lämpötilatasoja. Tämä tapa tukee lämmitysverkoston energiatehokkuuden

parantamista ja mahdollistaa matalampien lämpötilojen käytön myös nykyisillä laitteilla. (K1, 2021).

	Lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat °C			
	Ensiö		Toisio	
	Tulo	Paluu (max)	Kylmä vesi	Lämmin vesi (min)
Käyttöveden lämmönsiirtimet	70	20	10	58

Taulukko 4. Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (K1, 2021)

Taulukossa 4 on esitetty käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. Käyttöveden mitoituksissa ei ole väliä, onko kyseessä uudiskohde vai olemassa oleva rakennus. Lämpimän käyttöveden lämpötila tulee olla yli 55 °C, jonka takia järjestelmä sekä siirrin mitoitetaan niin että paluueden lämpötila viimeiseltä laitteelta lähtiessä on vähintään 58 °C. Mitoituksessa tulee ottaa myös huomioon, että rinnakkaisen lämmönlähteen lämpötila tulisi olla mahdollista nostaa haluttuun lämpötilaan tarpeen vaatiessa. (K1, 2021).

Lämmönsiirtimille, varusteille sekä putkistolle on määritetty mitoituspainehäviöt, joita käytetään hyödyksi esimerkiksi mitoituspaineron  $\Delta p$  laskemisessa (K1, 2021). Alla on esitetty painehäviöt taulukossa 5.

	Ensiö	Toisio
Käyttövesisiirtimet	20 kPa	50 kPa
Muut siirtimet	20 kPa	20 kPa
Putkistot + varusteet (pois lukien säätöventtiilit)	5 kPa	5 kPa

Taulukko 5. Kaukolämmön varusteiden ja komponenttien painehäviöt (K1, 2021)

Lämpimän käyttöveden kiertojohton tehotarpeelle on erikseen oma mitoitus tapa. Kiertojohton tehontarve mitoitetaan putkipituuden sekä mahdollisten lämmityslaitteiden kuten vesikiertoisten räppipatterien mukaan. Kiertovesiputkien ominaistehon mitoituksen ohjearvona käytetään 40 W metriä

kohden, mikäli tarkkoja putkimetrejä tai laskelmia tiedetään. Mikäli lämmityslaitteita on kytketty järjestelmään ja niiden lukumäärä tiedetään, tulee yhden lämmityslaitteen tehona käyttää 200 W. Jos tarkkaa lukumäärää ei tiedetä, lisätään kiertojohdon ominaistehoon 40 W metriä kohden lisää. (RT-103174, 2018).

### 3.2 Säätoventtiilit

Kaukolämpökeskukseen asennettava säätoventtiili on yksi olennaisimmista varusteista järjestelmän toiminnassa. Säätoventtiilin tehtävänä on säätää kaukolämpöveden virtausta lämpöverkostossa ja ylläpitää järjestelmän painetasoja sekä lämpötiloja. Venttiili estää liiallisen lämpökuorman syntyminen ja varmistaa, että lämpö jakautuu tasaisesti eri järjestelmän alueille tai rakennuksiin. Oikein toimiva ja mitoitettu säätoventtiili pienentää rakennusten energiakulutusta, jolloin veden- ja lämmönkulutus pienenee ja energiatehokkuus paranee. Säätoventtiileihin on kytketty ohjaava toimilaite, joka toimii manuaalisesti tai rakennusautomaatioon ohjelmoituna. Automaatioon kytketyt toimilaitteet säätyvät antureiden sekä ohjausyksiköiden avulla. Ne mittaavat erinäisiä prosessiparametreja, jonka mukaan toimilaite saa käskyn säätää venttiilin asentoa reaaliajassa. (Finkova, 2023).

Säätoventtiilien mitoituksessa käytetään hyödyksi aiemmin laskettuja lämmönsiirtimien virtauksia sekä tehotietojen mitoitusarvoja. Venttiilin yksi olennaisimmista mitoitusarvoista on kv-arvo, joka muodostaa venttiilin maksimaalisen läpäisykyvyn auki asennossa. Kv-arvon mukaan valitaan järjestelmälle sopiva DN-koko säätoventtiilille (Konwell, 2017). Jotta lämmityspiirin säätoventtiilin kv-arvo saadaan laskettua, tulee mitoitus aloittaa lämmityspiirin mitoituspaine-eron määrittämisellä (K1, 2021). Paine-eron  $\Delta p$  laskennan kaava on  $\Delta p = \Delta p_{ilm.} - \Delta p_{siirrin} - \Delta p_{putkisto}$ , jossa:

$\Delta p$  = Mitoituspaine-ero säätoventtiilille (bar)

$\Delta p_{ilm.}$  = Energiayhtiön ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero (bar)

$\Delta p_{siirrin}$  = Lämmönsiirtimen painehäviö (bar)

$\Delta p_{\text{putkisto}} = \text{Kaukolämpökeskuksen putkiston painehäviö (bar)}$

Kun mitoituspaine-ero on määritetty, pystytään lukemaan hyödyntämään säätöventtiilin kv-arvon laskemisessa (K1, 2021). Kv-arvon ratkaisuun käytetään yhtälöä  $kv = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}}$ , jossa:

$q_v = \text{Mitoitusvirtaama järjestelmän ensiöpuolella (m}^3\text{/h)}$

$\Delta p = \text{Mitoituspaine-ero säätöventtiilille (bar)}$

Laskennallisesti säätöventtiilin kv-arvoa verrataan venttiilin  $k_{vs}$ -arvoihin, jonka perusteella valitaan sopivin säätöventtiili. Mitoituksessa tulee ottaa huomioon mihin putkistoon säätöventtiili asennetaan. Lämmityspiirin säätöventtiiliksi valitaan yleensä  $k_{vs}$ -arvoltaan suurempi venttiili ja käyttövesi puolelle  $k_{vs}$ -arvoltaan pienempi venttiili (K1, 2021).  $k_{vs}$ -arvot yleisimmille putkikoille on esitetty taulukossa 6. Taulukon arvot kasvavat edeltävästä lukemasta n. 60 % ja kyseistä lukujonoa kutsutaan myös Reynardin sarjaksi. (Spiraxsarco, 2025).

Koko	DN15	DN20	DN25	DN32	DN40
$k_{vs}$	4	6.3	10	16	25
	2.5	4	6.3	10	16
	1.6	2.5	4	6.3	10
	1	1.6	2.5	4	6.3

Taulukko 6 Yleisimmät  $k_{vs}$ -arvot (Spiraxsarco, 2025)

Kuvassa 3 on esitetty venttiilivalmistaja Danfossin mitoitusyökalun  $k_{vs}$ -arvo taulukko, jossa on myös esitetty lukua 1 pienempiä  $k_{vs}$ -arvoja (Danfoss, 2025).

**Kvs-arvot (m<sup>3</sup>/h)**

- 0.25 (3)
- 0.4 (3)
- 0.63 (4)
- 1 (3)
- 1.6 (3)
- 2.5 (3)
- 4 (8)
- 6.3 (7)
- 8 (7)
- 10 (3)
- 12.5 (2)

*Kuva 3 k<sub>vs</sub>-arvot myyjän mitoitusyökalun mukaan (Danfoss, 2025)*

Säätöventtiilin valinnan jälkeen tulee venttiilin kokonaispainehäviö  $\Delta p_{sv}$  selvittää, jonka laskennallinen kaava on  $\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_v}{k_{vs}}\right)^2$ , jossa (K1, 2021):

$\Delta p_{sv}$  = Säätöventtiilin painehäviö (bar)

$q_v$  = Mitoitusvirtaama järjestelmän ensiöpuolella (m<sup>3</sup>/h)

Säätöventtiilin painehäviön on oltava vähintään puolet säädettävän piirin painehäviöstä. Sopiva säätöventtiili voidaan arvioida sen vaikutusasteen eli auktoriteetin  $\beta$  perusteella. Venttiilin auktoriteetiluku tulee olla suurempi kuin 0.5. Mikäli tämä ei toteudu, säätö on epävakaata ja venttiili saattaa toimia vain auki-kiinni-asennoissa. (RT-10126, 1989).

Auktoriteetti  $\beta$  venttiilille saadaan ratkaistua kaavalla  $\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{ilm.}}$ , jossa (K1, 2021):

$\Delta p_{sv}$  = Säätöventtiilin painehäviö (bar)

$\Delta p_{ilm.}$  = Energiayhtiön ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero (bar)

Järjestelmän mitoituksessa on myös mahdollista käyttää kahta säätöventtiiliä, mikäli säädettävä teho vaihtelee laajemmalla alueella. Säätöventtiilit asennetaan rinnan ja kyseistä toimenpiteen käyttö on suositeltavaa erityisesti, jos säätöventtiilin k<sub>vs</sub>-arvoksi saadaan suurempi lukema kuin 4.0. Tämä

mahdollistaa tarkemman ja joustavamman säätämisen, kun lämpötila- ja virtaamaolosuhteet vaihtelevat. Uudiskohteissa voidaan jo pienemmillä virtaamilla harkita useamman säätöventtiilin käyttöä. Tällöin venttiilin säätöalue tulisi soveltua pelkän lämpimän käyttöveden kierron niin että säätötulos pysyisi tasaisena. (K1, 2021).

### 3.3 Pumput

Kiertovesipumppujen mitoitus toteutetaan lämmönsiirtimen käyttöarvoihin perustuvien vesivirtaamien mukaan. Lämmönjakokeskuksen valmistajan on varmistettava, että pumppujen nostokorkeudet vastaavat valittujen siirtimien painehäviöitä. Pumppu pitää käyttövesi- sekä lämmityslinjan virtauksen koko ajan liikkeellä pumppaamalla sitä jatkuvasti verkostossa ympäri, jotta vesi ei pääse jäähtymään putkistossa. (Vaillant, 2024).

Lämmityspiirissä neste pääsee koko ajan kiertämään joko patterien tai lattialämmityspiirin läpi. Käyttövesipiiriin rakennetaan tästä syystä erillinen lämpimän veden kiertolinja, jotta lämmin vesi pääsee jatkuvasti kiertämään verkostossa eikä viilenny. (Vaillant, 2024).

### 3.4 Paisunta ja varolaitteet

Verkoston paisunta-asema on hyvin oleellinen osa lämmitysjärjestelmää. Paisuntajärjestelmään kuuluu kalvopaisunta-astia sekä varolaitteet. Paisunta-asemaa ei käytetä kuin suljetuissa lämmityspiireissä eli patteri-, ilmanvaihdon lämmitys- tai lattialämmitysverkostossa. Kalvopaisunta-astia on yksi olennaisimmista komponenteista paisuntajärjestelmässä. Verkoston nesteen tilavuus laajenee lämpötilavaihteluiden seurauksena, jolloin verkoston paine nousee liian korkeaksi ja vahingoittaa järjestelmää. Paisunta-astian avulla neste pääsee laajenemaan säiliöön ja pitää verkoston paineen tasaisena. (RT-10142, 2011).

Paisunta-astian tilavuus lasketaan kaavalla  $V = \frac{a (\%)}{100} * K_{mit} * V_o$ , jossa:

$a$  = nesteen lämpölaajenemiskerroin (%)

$K_{mit}$  = paisunta-astian mitoituskerroin

$V_o$  = Verkoston vesitilavuus (L)

(RT-10142, 2011)

Veden lämpö laajenemiskerroin ( $a$ ) jokaista lämpötilaa kohden on esitetty taulukossa 7.

Laitoksen mitoitus- lämpötila °C	Lämpölaajenemiskerroin $a$			
	Vesi %	Vesi-glykoliseos 30 %      40 %		50 %
	%	%	%	%
10	0,04	0,96	1,40	1,69
20	0,18	1,40	1,88	2,18
30	0,44	1,88	2,38	2,72
40	0,79	2,39	2,92	3,28
50	1,21	2,94	3,50	3,89
60	1,71	3,52	4,12	4,54
70	2,28	4,15	4,77	5,22
80	2,96	4,81	5,47	5,94
85	3,21	5,15	5,84	6,31
90	3,59	5,52	6,21	6,70
95	3,94	5,88	6,60	7,10
100	4,35	6,26	6,99	7,51
105	4,74	6,65	7,39	7,92
107	4,99	6,90	7,65	8,19
110	5,15	7,06	7,82	8,36
120	6,06	7,89	8,69	9,25
130	6,94	8,78	9,61	10,20

Taulukko 7 Veden lämpölaajenemiskerointaulukko (RT11-10472, 2011)

Taulukossa 8 on esitetty paisunta-astian mitoituskertoimet jokaista verkoston esipainelukemaa sekä varoventtiilin avautumispainetta kohden. Tähän taulukkoon on lihavoitu ihannelukemat, jotka sopivat varoventtiilin avautumispaineen sekä esipainelukeman mukaan parhaiten. (RT11-10472, 2011).

Esipaine kPa	Paisunta-astian mitoituskertoimen $K_{mit}$ Varoventtiilin avautumispaine kPa					
	300	350	400	450	500	600 *)
50	3,11	2,67				
60	3,28	2,76				
70	3,48	2,88	2,53			
80	3,73	3,01	2,61			
90	4,02	3,16	2,71			
100	4,38	3,33	2,81	2,50		
110	4,81	3,54	2,93	2,58		
120	5,37	3,78	3,07	2,67		
130	6,09	4,06	3,22	2,77		
140	7,05	4,39	3,40	2,88	2,56	
150	8,40	4,80	3,60	3,00	2,64	
160		5,30	3,83	3,14	2,73	
170		5,93	4,10	3,29	2,83	
180		6,73	4,42	3,47	2,95	
190		7,82	4,80	3,66	3,07	
200		9,33	5,25	3,89	3,21	2,57
210			5,81	4,15	3,36	2,65
220			6,50	4,45	3,53	2,74
230			7,40	4,80	3,73	2,83
240			8,60	5,21	3,94	2,94
250			10,29	5,71	4,19	3,05
260				6,33	4,47	3,17
270				7,09	4,80	3,30
280				8,08	5,19	3,45
290				9,40	5,64	3,61
300					6,19	3,79
310					6,86	3,99
320					7,69	4,21

Taulukko 8 Paisunta-astian mitoituskertoimet (RT11-10472, 2011)

Verkoston staattiseksi paineeksi kutsutaan lukemaa laitoksen ylimmän laitteen sekä alhaisimman pisteen eli paisunta-astian väliä. Verkoston esipaine-luvuksi valitaan 10 kPa suurempi lukema, mitä verkoston oma staattinen paine on. Tällöin lukema pyöristetään ylöspäin seuraavaan kymmenlukuun. (RT11-10472, 2011).

Paisuntajärjestelmään on myös mahdollista asentaa paisuntaputki, joka asennetaan verkoston paluuputkeen ennen pumppua, eli imupuolelle. Mikäli paisuntaputki asennetaan pumpun jälkeiselle putkistolle, tulee verkoston haitallisen toiminnan ehkäisemiseksi lisätä varolaitteet lämmönsiirtimen sekä ensimmäisen venttiilin väliin (K1, 2021).

Verkoston varoventtiili on yksi olennainen komponentti osana paisuntajärjestelmää, sekä verkoston toimintaa. Varoventtiili mitoitetaan verkoston enimmäispaineen mukaan niin, että venttiili avautuu, kun verkoston

paine ylittää venttiilin aukeamispaineen. Tällöin venttiili päästää nestettä ulos verkostosta paineen laskemiseksi. Liiallinen verkoston paine voi vahingoittaa muita järjestelmän komponentteja. (Armatec, 2025).

Varoventtiili mitoitetaan taulukon 9 mukaisesti. DN 15 on minimikoko varoventtiilille ja koko määritetään verkoston lämmönsiirtimen tehon mukaan. Varoventtiileitä voi olla useampi samassa piirissä. Järjestelmän oikeanlaisen toiminnan varmistamiseksi suositellaan käytettäväksi vähintään kahta varoventtiiliä. Molempien laukeamispisteen tulee vastata yksinään tarvittavaa tehoa. (K1, 2021).

Lämmönsiirtimen teho (kW)	Varoventtiilin koko (DN)
0–200	15
200–800	20
800+	25

Taulukko 9 Varoventtiilin mitoitustaulukko (K1, 2021)

## 4 KOHTEEN MITOITUSLASKELMA

Opinnäytetyötä varten suoritettiin olemassa olevan kohteen kaukolämpöjärjestelmän uudelleen mitoitus. Kohde oli olemassa oleva rakennus, jossa uusittiin vanha lämmitysjärjestelmä kaukolämpöön. Mitoitusta varten tehtiin laskentataulukko Excel-ohjelmalla, johon suoritettiin laskenta kappaleen 3 mukaisilla mitoitusohjeilla.

Mitoituksessa ei laskettu käyttöveden kiertopiirin tehontarvetta, vaan kyseinen luku oli tilaajalla jo valmiiksi tiedossa. Mitoituksessa hyödynnettiin jo aiemmin suunniteltuja mitoitusarvoja, jotka olivat seuraavanlaiset. Lämmityksen tehontarve 250 kW sekä ilmanvaihdon lämmityksen tehontarve 200 kW. Kohteessa on alkuperäinen vesikiertoinen patterilämmitys, eikä siihen tehty muutoksia.

### 4.1 Lämmönsiirtimet

Kaukolämpökeskuksen mitoitus aloitettiin lämmönsiirtimien ratkaisemisella. Lämmönsiirtimien teho laskettiin lämmityksen tehotarpeen mukaan kappaleessa 3.1 läpikäydylä kavalla  $\dot{Q} = q_v * \rho * c_p * \Delta T$ . Patterilämmityksen sekä ilmanvaihdon lämmityksen lämmönsiirtimiä ei tarvitse mitoittaa erikseen, sillä niiden tehontarve pysyi saman vanhan lämmitysjärjestelmän ajalta.

#### 4.1.1 Käyttövesi

Käyttövesijärjestelmään tuli muutoksia, jolloin käyttövesijärjestelmän mitoitusvirtaama tuli laskea uudelleen. Mitoitusvirtaamaan  $q_v$  laskemiseksi tarvittiin vesikalusteiden normivirtaama-lukemat, joiden tiedot vesikalustetta kohden on esitetty taulukossa 10. Taulukosta lasketaan yhteen kaikkien vesikalusteiden määrä ja niiden normivirtaamat summattuna. Normivirtaamien summan avulla saadaan ratkaistua käyttöveden jakojohdon mitoitusvirtaama.

Vesipiste <sup>1)</sup>	Normivirtaama $q_n$ dm <sup>3</sup> /s	
	Kylmä vesi	Lämmin vesi
Astianpesuallas	0,2	0,2
Astianpesukone kotitaloudessa	0,2	(0,2)
Pesuallas	0,1	0,1
Suihku	0,2	0,2
Kylpyamme	0,3	0,3
WC-istuin	0,1	-
Pesukone kotitaloudessa	0,2	-
Pesukone talopesulassa tai vastaavassa	0,4	-
Vesiposti pientalossa, DN 15	0,2	-
Vesiposti kerrostalossa, DN 20	0,4	-
Laskuhana, tasapohja-allas	0,2	0,2
Pesuistuin	0,1	0,1
Urinaalin huuhteluventtiili	0,4	-
Urinaalin huuhteluhana	0,2	-
Ryhmäpesuallas (n kpl)	0,07 + 0,03 n	0,07 + 0,03 n
Sarjaan kytketyt urinaalit (n kpl)	0,14 + 0,06 n	-
Ryhmäsuihku (n kpl)	0,14 n	0,14 n
Teollisuus ym. laitteet	Lask. erikseen	-

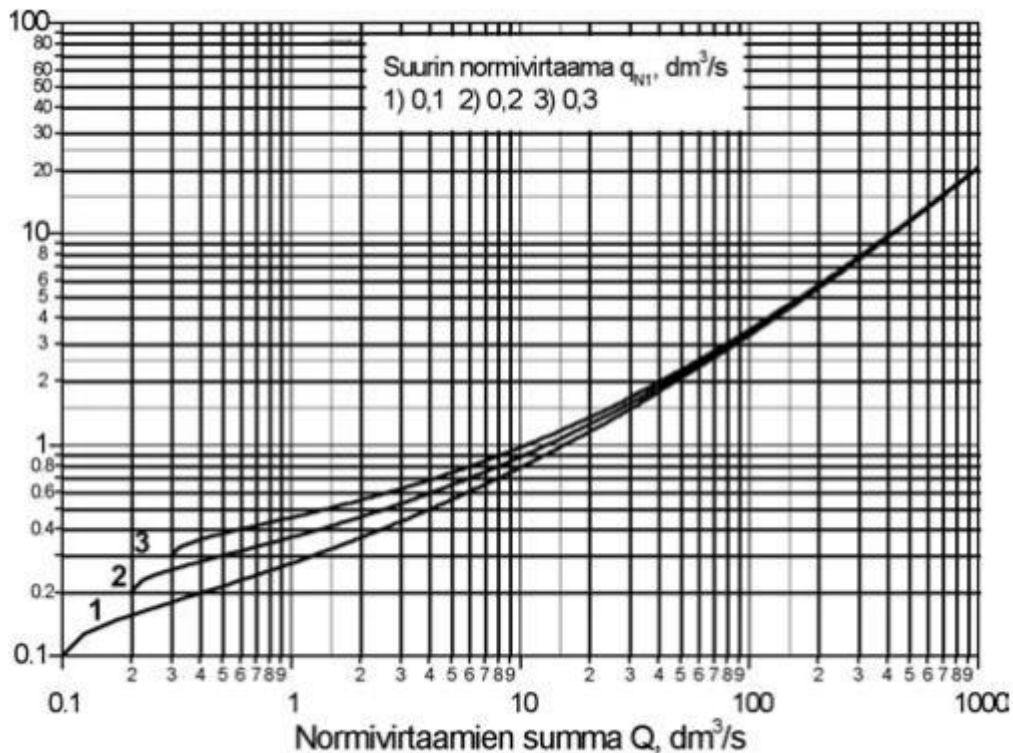
Taulukko 10 Vesikalusteiden normivirtaamat (D1, 2007)

Kohteen vesikalusteiden määrän ja niille annettujen normivirtaamien summauksen jälkeen normivirtaamien summaksi saatiin Liitteen 2 taulukon mukaan 3,6 l/s. Samassa taulukossa on annettu mitoitusvirtaama kolmella eri luvulla, pitää valita mitoitusvirtaama suurimman vesikalusteen normivirtaaman mukaan. Mitoituskohteessa suurin normivirtaama oli suihkussa normivirtaamalla 0,2 l/s. Taulukossa 11 on esitetty mitoitusvirtaama kohteen käyttövesipuolelle.

Normivirtaamien summa Q dm <sup>3</sup> /s	Mitoitusvirtaama q dm <sup>3</sup> /s q <sub>N1</sub> (dm <sup>3</sup> /s)		
	0,1	0,2	0,3
3,6	0,47	0,56	0,66

Taulukko 11 Normivirtaamien summa (D1, 2007)

Normivirtaamien summan saa myös ratkaistua kuvan 4 mukaisella kaaviolla. Kaavion x-akselilla on saatu normivirtaamien summa ja y-akselilla mitoitusvirtaama. Kaavion kolme trendiviivaa kuvaa suurimman vesikalusteen normivirtaamaa. Yhdistämällä x-akselin normivirtaamien summan haluttuun trendiviivaan, saadaan mitoitusvirtaama y-akselilta.



Kuva 4 Kaavio mitoitusvirtaaman ratkaisemiseen (D1, 2007)

Kohteen mitoitusvirtaama on selvillä, jonka jälkeen se pystytään sijoittamaan tehontarpeen kaavaan. Käyttöveden toisiopuolen lämpötilat esitettiin taulukossa 4, jonka perusteella mitoituslämpötiloina menopuolella on 58 °C ja paluupuolella 10 °C. Liitteen 1 taulukon mukaan veden tiheys ( $\rho$ ) 48 °C on noin  $0,997 \frac{kg}{l}$  ja ominaislämpökapasiteetti ( $c_p$ )  $4,179 \frac{kJ}{kg^\circ C}$ . Kaikki olennainen tieto

tehontarpeen laskemiseksi on selvillä, jolloin käyttöveden lämmityksen tehontarve on:

$$\dot{Q} = 0,56 \frac{l}{s} * 0,997 \frac{kg}{l} * 4,179 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (58^{\circ}C - 10^{\circ}C) = 111,99 kW \approx 112 kW$$

Käyttövesiverkoston ensiöpuolen mitoitusvirtaama tulee selvittää säätöventtiilin mitoitusta varten. Mitoitusvirtaaman saadaan jakamalla teho muilla kaavan arvoilla eli  $q_v = \frac{\dot{Q}}{\rho * c_p * \Delta T}$ .

Mitoituslämpötilat ensiöpuolella määräytyvät taulukon 4 mukaan, jolloin menoveden lämpötila on 70 °C ja paluuvesi 20 °C. Kaavaan sijoittamalla käyttöveden ensiöpuolen mitoitusvirtaama on:

$$q_{v \text{ ensiö}} = \frac{112 kW}{0,997 \frac{kg}{l} * 4,179 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (70 - 20)^{\circ}C} = 0,54 l/s.$$

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon tehontarve ei ollut aluksi selvillä, jolloin kiertojohdon tehontarve laskettiin kappaleessa 3.1 esitetyllä tavalla. Laskennallisesti suunnitelmien mukaan putkimetrejä kiertojohdolle saatiin noin 50 m. Järjestelmään ei ollut asennettu lämmityslaitteita. Täten kiertojohdon tehontarpeeksi saatiin:

$$\dot{Q}_{kierto} = 50m * 40 \frac{W}{m} = 2 000 W = 2 kW$$

Käyttövesipuolen lämmönsiirtimien painehäviöt määräytyvät taulukon 5 mukaan, eli 20 kPa ensiöpuolella ja 50 kPa toisiopuolella.

#### 4.1.2 Patteriverkosto

Patteriverkoston ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimien tehontarpeet olivat selvillä, mutta muut mitoitus tiedot tuli selvittää. Tehontarpeen kaavaa hyödyntäen selvitettiin siirtimien mitoitusvirtaamat ( $q_v$ ).

Ensiöpuolelle verkoston lämpötilat saadaan taulukossa 3 esitetyistä lukemista. Menoveden puolella lämpötila on 90 °C ja paluueden lämpötila on 43 °C. Tiheys ja ominaislämpökapasiteetti pysyy samana kuin käyttövesipuolen laskennoissa, jolloin mitoitusvirtaaman kaavaan sijoitettiin saadut mitoitusarvot.

$$q_{v\ ensiö} = \frac{250\text{ kW}}{0,997\frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4,179\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (90 - 43)^{\circ}\text{C}} = 1,27\text{ l/s}$$

Toisiopuolen laskennoissa toistui sama laskentatapa ja kaava, mutta ne toistuivat eri mitoituslämpötiloilla. Taulukon 3 mukaan olemassa olevassa rakennuksessa toisiopuolen menoveden lämpötila tulisi olla korkeintaan 70 °C, sekä paluueden 3 °C ensiöpuolen paluueden lämpötilaa matalampi. Näin ollen menoveden lämpötila on 70 °C ja paluueden 40 °C, jolloin kaavaan sijoitettuna toisiopuolen mitoitusvirtaama on:

$$q_{v\ toisio} = \frac{250\text{ kW}}{0,997\frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4,179\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (70 - 40)^{\circ}\text{C}} = 2,00\text{ l/s}$$

Patteriverkoston lämmönsiirtimien painehäviöt ovat taulukon 5 mukaisesti 20 kPa sekä ensiö- että toisiopuolella.

#### 4.1.3 Ilmanvaihdon lämmitys

Ilmanvaihdon lämmityksen lämmönsiirtimien mitoitus eteni samalla tavalla kuin käyttöveden ja patteriverkoston siirtimien kanssa. Ilmanvaihdon lämmityksen kohdalla mitoituslämpötilat, sekä painehäviöt ovat taulukon 5 mukaan täysin samat, mitä patteriverkoston mitoituksessa. Lämmönsiirtilin teho on 200 kW, jolloin ensiöpuolen mitoitusvirtaama on:

$$q_{v\ ensiö} = \frac{200\text{ kW}}{0,997\frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4,179\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}} * (90 - 43)^{\circ}\text{C}} = 1,01\text{ l/s}$$

Toisiopuolen mitoitusvirtaamassa ei ole muutoksia patteriverkoston mitoitusarvoihin verrattuna, jolloin toisiopuolen mitoitusvirtaama on:

$$q_{v \text{ toisio}} = \frac{200 \text{ kW}}{0,997 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4,179 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (70 - 40)^\circ\text{C}} = 1,60 \text{ l/s}$$

#### 4.1.4 Mitoitustulokset

LÄMMÖNSIIRIMET		Käyttövesi LS		Lämmitysi LS		Ilmanvaihto LS	
Valmistaja							
Malli							
Teho	kW	112		250		200	
		Ensiö	Toisio	Ensiö	Toisio	Ensiö	Toisio
Virtaus	dm <sup>3</sup> /s	0,54	0,56	1,27	2,00	1,01	1,60
Lämpötilat	°C -°C	70-20	58-10	90-43	70-40	90-43	70-40
Painehäviö	kPa	20	50	20	20	20	20

Taulukko 12 Mitoitustaulukko lämmönsiirtimille

Excel-laskentapohjaan luotiin mitoitustaulukko jokaista mitoituksen osaluetta varten. Taulukossa 12 on esitetty saadut mittaustulokset eri verkostojen lämmönsiirtimille. Näiden mittaustulosten perusteella lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimet lopulta määritettiin. Laskentakaavaan on valmiiksi määritetty kaavat lämmönsiirtimien sekä muiden laskentojen tietojen ratkaisemiseksi. Käyttövesipuolella pelkän toisiopuolen mitoitusvirtaaman avulla määräytyi loput laskelmat. Patteri- ja ilmanvaihtosiirtimien tehotarpeen mukaan määräytyivät laskelman mitoitusvirtaamat.

#### 4.2 Säätoventtiilit

Kaukolämpökeskuksen säätoventtiilien uudelleenmitoitus suoritettiin seuraavaksi lämmönsiirtimien uudelleenmitoituksen jälkeen. Säätoventtiilien mitoituksessa on oleellista selvittää venttiilin koko sekä maksimaalista

läpäisykykyä ilmoittava kv-arvo. Kappaleen 4.1 lämmönsiirtimien mitoituksista saadaan hyödynnettyä toisiopuolen mitoitusvirtaamien lukemat. Säästöventtiilien mitoitus etenee kappaleessa 3.2 läpikäydyn mitoitusperiaatteen mukaan.

Mitoitus alkaa mitoituspaine-eron  $\Delta p = \Delta p_{ilm.} - \Delta p_{siirrin} - \Delta p_{putkisto}$  ratkaisemisella. Kohde on Turun alueella ja Turku Energian ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero ( $\Delta p_{ilm.}$ ) on 60 kPa. Säästöventtiilit ovat järjestelmän ensipuolella, jonka takia käyttöveden, patteriverkoston sekä ilmanvaihdon lämmityspiirin lämmönsiirtimien painehäviö ( $\Delta p_{siirrin}$ ) on 20 kPa. Putkiston painehäviö ( $\Delta p_{putkisto}$ ) kaikissa verkostoalueissa 5 kPa. Järjestelmän mitoituspaine-ero on jokaisen verkoston kohdalla:

$$\Delta p = 60 \text{ kPa} - 20 \text{ kPa} - 5 \text{ kPa} = 35 \text{ kPa} = 0,35 \text{ bar}$$

#### 4.2.1 Käyttövesi

Käyttövesipuolen säästöventtiilin mitoitus alkaa venttiilin kv-arvon määrittämisellä. Kv-arvon yhtälö on esitetty kappaleessa 3.2 ja kaavan ratkaisua varten on saatu jo selville ensiöpuolen mitoitusvirtaama ( $q_v$ ). Mitoitusvirtaama tulee esittää  $m^3/h$  yksikössä, jolloin virtaus (l/s) kerrotaan 3,6 eli tässä tapauksessa:

$$0,57 \frac{l}{s} * 3,6 = 1,935 \frac{m^3}{h}$$

Yhtälön ratkaisemiseksi on olemassa nyt kaikki arvot, jolloin säästöventtiilin kv-arvo on:

$$kv = \frac{1,935 \frac{m^3}{h}}{\sqrt{0,35 \text{ bar}}} = 3,27 \approx 3,3$$

Kv-arvon ratkaisun jälkeen määritetään venttiilille oikea  $k_{vs}$ -arvo, joka löytyy taulukossa 6 esitetyistä Reynardin sarjasta. Kyseessä on käyttövesiverkosto, joka tarkoittaa  $k_{vs}$ -arvolle pienempää lukemaa eli tässä tapauksessa 2,5.

Tämän jälkeen määritetään venttiilille painehäviö ( $\Delta p_{sv}$ ) kappaleessa 3.2 esitettyllä kaavalla, jolloin ratkaistut lukemat sijoitettuna painehäviö on:

$$\Delta p_{sv} = \left( \frac{1,935 \frac{m^3}{h}}{2,5} \right)^2 = 0,599 \text{ bar} \approx 0,60 \text{ bar} = 60 \text{ kPa}$$

Säätöventtiin auktoriteetti tulee selvittää oikean mitoituksen varmistamiseksi. Venttiin auktoriteetin laskeminen on esitetty kappaleessa 3.2, jonka mukaan lukemat suoritettiin. Venttiili auktoriteetilukemaksi saatiin 1, jolloin lukema ylittää 0,5 vaikutusasteen, eikä energiayhtiön antama mitoituspaine-ero ylitä. Näin ollen venttiili on toimiva käyttöveden säätöventtiiliksi kyseiseen järjestelmään.

$$\beta = \frac{60 \text{ kPa}}{60 \text{ kPa}} = 1$$

#### 4.2.2 Patteriverkosto

Patteriverkoston säätöventtiin mitoitus eteni samalla tavalla, kuin käyttövesipuolella. Patteriverkoston ensiöpuolen mitoitusvirtaamaksi saatiin 1,28 l/s, joka muutetaan säätöventtiin laskentoja varten m<sup>3</sup>/h yksikköön eli:

$$1,27 \text{ l/s} * 3,6 = 4,60 \frac{m^3}{h}$$

Tämän jälkeen pystyttiin ratkaisemaan säätöventtiilille kv-arvon, joka edellä mainitulla mitoitusvirtaamalla, sekä järjestelmän mitoituspaine-erolla on:

$$kv = \frac{4,6 \frac{m^3}{h}}{\sqrt{0,35 \text{ bar}}} = 7,8$$

Patteriverkoston säätöventtiilin mitoituksessa valittiin kokoa suurempi  $k_{vs}$ -arvo. Lasketun  $k_v$ -arvon mukaan venttiilin  $k_{vs}$ -arvo olisi Reynardin sarja mukaan 10. Täten säätöventtiilin kokonaispainehäviö voidaan ratkaista ja kokonaispainehäviö on näillä mitoitusarvoilla:

$$\Delta p_{sv} = \left( \frac{4,60 \frac{m^3}{h}}{10} \right)^2 = 0,21 \text{ bar} = 21 \text{ kPa}$$

Laskettiin vielä venttiilin auktoriteetti oikean vaikutusasteen toteamiseksi:

$$\beta = \frac{21 \text{ kPa}}{60 \text{ kPa}} = 0,35$$

Säätöventtiilin auktoriteettilukemaksi saatiin 0,35, joka on pienempi kuin minimilukema säätöventtiilin vaikutusasteen määrittämiseksi asetettu tavoitearvo 0,5. Tämä voi aiheuttaa venttiilin toiminnan epävakauden sen ollessa auki-kiinni-asennossa. Tästä syystä venttiiliin  $k_v$ -arvoksi valittiin yhtä lukemaa pienempi arvo, joka tässä tapauksessa oli 6,3. Uudelle  $k_v$ -arvolle tehtiin seuraavat laskelmat:

$$\Delta p_{sv} = \left( \frac{0,46 \frac{m^3}{h}}{6,3} \right)^2 = 0,52 \text{ bar} = 52 \text{ kPa}$$

Venttiilin uudeksi kokonaispainehäviöksi saatiin 52 kPa, jonka myötä auktoriteetti laskettiin uudelleen ja tulokseksi saatiin 0,87. Nyt lukema ylittää 0,5 vaikutusasteen ja on täten toimiva patteriverkoston. Venttiilin kokonaispainehäviö on 52 kPa, jolloin se ei ylitä energiayhtiön antamaa mitoituspaineroa:

$$\beta = \frac{52 \text{ kPa}}{60 \text{ kPa}} = 0,87$$

### 4.2.3 Ilmanvaihdon lämmitys

Ilmavaihdon lämmityspoolen säätöventtiilin mitoitus eteni samalla tavalla, mitä aiempien verkosto-osien kanssa. Laskettu mitoitusvirtaama ensiöpuolella oli 1,01 l/s, jolloin muutettuna  $\frac{m^3}{h}$  yksikköön tulee mitoitusvirtaamaksi:

$$1,01 * 3,6 = 3,64 \frac{m^3}{h}$$

Tämän jälkeen venttiilin kv-arvoksi saatiin 6,2.

$$kv = \frac{3,64 \frac{m^3}{h}}{\sqrt{0,35 \text{ bar}}} = 6,2$$

Säätöventtiilin  $k_{vs}$ -arvoksi valittiin ilmanvaihdon lämmityksen kohdalla suurempi lukema, joka tässä tapauksessa oli 6,3. Tämän  $k_{vs}$ -arvon mukaan laskettiin venttiilin kokonaispainehäviöksi:

$$\Delta p_{sv} = \left( \frac{3,64 \frac{m^3}{h}}{6,3} \right)^2 = 0,336 \text{ bar} = 34 \text{ kPa}$$

Tämän jälkeen tehtiin tarkastuslaskelmat auktoriteetille, jotka osoittivat lukeman olevan suurempi kuin 0,5 eli auktoriteetti oli sopiva verkostoon:

$$\beta = \frac{34 \text{ kPa}}{60 \text{ kPa}} = 0,56$$

#### 4.2.4 Mitoitustulokset

SÄÄTÖVENTTIILIT		Käyttövesi TV 1	Lämmitys TV 2	Ilmanvaihto TV 3
Virtaus	dm <sup>3</sup> /s	0,54	1,27	1,01
Painehäviö	kPa	60	52	34
k <sub>vs</sub> -arvo		2,5	6,3	6,3

Taulukko 13 Mitoitustaulukko säätöventtiileille

Taulukossa 13 on esitetty lopulliset tulokset verkostojen säätöventtiileitä varten. Laskentapohjaa lisättiin valmiiksi kaavat määrittämään säätöventtiilien virtaukset. Niiden pohjalta lisättiin haluttu k<sub>vs</sub>-arvo, jonka mukaan painehäviö määritettiin oikean kaavan mukaan.

#### 4.3 Kiertovesipumput ja varolaitteet

Kiertovesipumppujen määrittäminen etenee kappaleen 3.3 mukaan. Kohteen pumppujen kohdalla muuta ei mitoitettu, kun tarvittava mitoitusvirtaama pumpulle. Muut pumpun tiedot ja mallit määrittivät lämmönjakokeskuksen valmistaja ja myyjä.

##### 4.3.1 Käyttövesi

Pumppujen mitoitusvirtaama menee verkoston toisiopuolen virtaaman mukaan. Käyttövesipuolella pumpun mitoitusvirtaama lasketaan lämpimän käyttöveden kiertovesiputkiston tehontarpeen mukaan. Kappaleessa 5.1.1 on esitetty laskelmat kiertojohdon tehontarpeelle, jossa  $\phi_{kierto.} = 2kW$ .

Taulukossa 3 on esitetty lämpötilaeron muodostuminen, jolloin 58 °C lämmin vesi syötetään järjestelmään, eikä paluueden lämpötila saa laskea alle 55 °C, jolloin lämpötilaeroksi tulee 3 °C. Mitoitusvirtaama käyttövesiverkoston pumpulle on:

$$q_v = \frac{2 \text{ kW}}{0,997 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4,179 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (58 - 55)^\circ\text{C}} = 0,16 \text{ l/s}$$

#### 4.3.2 Patteri- ja IV-lämmitys

Patteriverkoston sekä ilmanvaihdon lämmityspiirin mitoitusvirtaamat pumpuille on samat kuin toisiopuolen virtaamat koko verkostossa. Verkoston lämmityksen tehontarve ei muutu pumpun jälkeen mitenkään, jonka takia virtaamia ei muuteta. Patteriverkoston mitoitusvirtaama toisiopuolella ( $q_{v \text{ toisio}}$ ) on esitetty kappaleessa 4.1.2, joka on 2.00 l/s.

Ilmanvaihdon lämmityksen toisiopuolen mitoitusvirtaama ( $q_{v \text{ toisio}}$ ) on esitetty kappaleessa 4.1.3, joka on 1.6 l/s.

#### 4.3.3 Varolaitteet ja paisunta-astiat

LVI-suunnittelija määrittää erikseen varolaitteiden koot ja määrät. Varoventtiilien koot kuitenkin mitoitetaan taulukon 7 mukaan.

Patteriverkoston varoventtiiliksi valittaisiin DN 25, koska lämmönsiirtimen teho on 250 kW. Ilmanvaihdon lämmitysverkostoon tulisi asentaa DN 20 varoventtiili, koska siirtimen teho on 200 kW. Kuten kappaleessa 3.4 esitettiin, varoventtiileitä tulee olla kaksi kappaletta per järjestelmä oikeanlaisen toiminnan varmistamiseksi.

Paisunta-astioiden mitoitus käytiin läpi kappaleessa 3.4 ja mitoitus eteni siellä esitetyn toimintaperiaatteen mukaan. Mitoituskaavaan tarvittiin verkostojen vesitilavuudet, jotka ovat verkostokohtaisesti esitetty taulukossa 14. Kohteen lämmitysverkostojen korkeusero on lähtötietojen mukaan noin 7 m, joka tarkoittaa, että staattiseksi paineeksi saadaan 70 kPa. Käyttövesipuolelle ei mitoiteta paisunta-astiaa, koska käyttövesipuolella ei ole suljettua verkostoa.

Patteri	1750 L
Ilmanvaihto	1600 L

Taulukko 14 Verkostojen vesitilavuudet

Patteriverkoston mitoitustilavuus on 70 °C, jolloin taulukosta 7 saadaan lämpölaajenemiskerroin (a) kyseistä lämpötilaa kohden. Verkoston laskennallinen staattinen painehäviö on 70 kPa, jolloin esipaine katsotaan 80 kPa mukaan taulukosta 8. Kyseisellä esipaineella varoventtiilin avautumispaineeksi saadaan 300 kPa (3 bar) ja sen mukaan mitoituskertoimeksi 3,73. Tällöin kaikki mitoitukseen tarvittavat arvot on selvitetty ja paisunta-astian tilavuus saadaan laskettua:

$$V_{patteri} = \frac{2,28\%}{100} * 3,73 * 1\,750\,L = 148,8\,L$$

Myytävien paisuntasäiliökokojen mukaan patteriverkoston paisunta-astiaksi valitaan 150 L säiliö. Ilmanvaihtopuolella paisunta-astian mitoitus on käytännössä sama, mutta eri verkoston tilavuudella:

$$V_{ilmanvaihto} = \frac{2,28\%}{100} * 3,73 * 1\,600\,L = 136\,L$$

Laskelman perusteella ilmanvaihdon lämmitysverkoston paisunta-astian tilavuudeksi valitaan 140 L.

## 5 VAIKUTUKSET ENERGIATEHOKKUUTEEN

Kaukolämpöjärjestelmän oikeanlainen mitoitus on tärkeä osa rakennuksen energiakulutuksen sekä energiatehokkuuden varmistamista. Rakennuksen energiatehokkuudella tarkoitetaan sisäilman haluttujen olosuhteiden tuottamista mahdollisimman pienellä energiamäärällä sekä kustannuksella. Kaukolämpökeskuksen komponentit vaikuttavat yksinään myös rakennuksen energiatehokkuuteen. Lämmönsiirtimen kunto vaikuttaa energiankulutukseen, mikäli siirrin on esimerkiksi likainen tai muuten epäkunnossa. (Motiva, 2025).

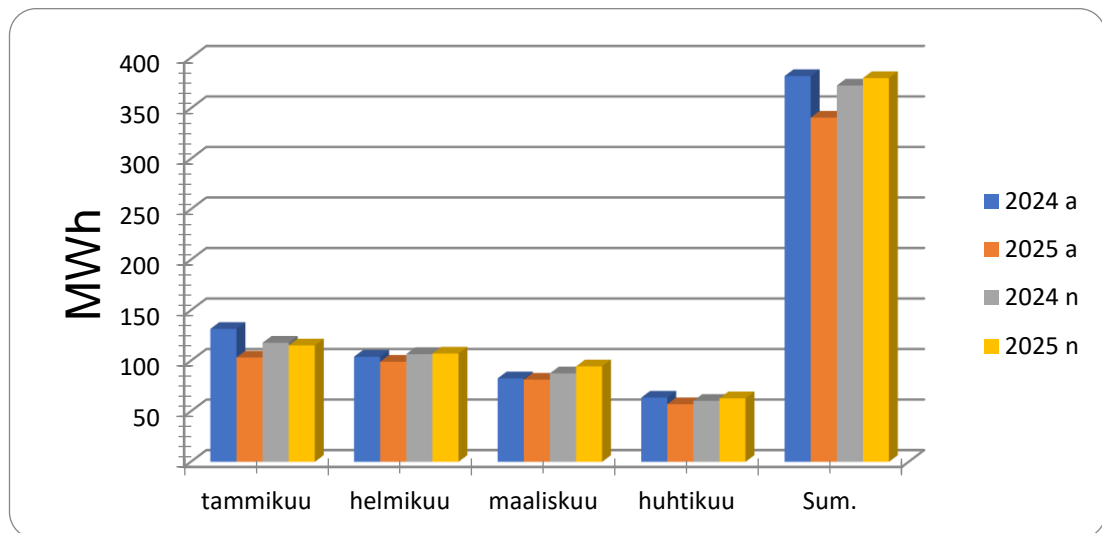
Kiertovesipumppujen sekä säätöventtiilien oikeanlaisella mitoituksella on myös vaikutusta energiatehokkuuteen. Pumpuissa pienempi juoksupyörän koko sekä oikeanlainen nopeudensäätö pienentää rakennuksen energiatehokkuutta. Lisäksi pumput tulisi mitoittaa hieman yli, jolloin käynti olisi pienitehoisempaa ja taloudellisempaa. Kiinteistön automaatiojärjestelmän oikeanlaisella ohjauksella, esimerkiksi säätöventtiilin kohdalla sekä verkoston tasapainotuksella, saavutetaan myös merkittäviä energiansäästöjä kulutusten kanssa. (Motiva, 2025).

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella myös toimeksiantajan mitoituskohteen kulutustietoja, niin lämmitysenergian, kuin käyttöveden kulutuksen näkökannalta. Mitoituskohteen hanke saatiin valmiiksi marraskuussa 2024, jonka jälkeen rakennuksen viimeisimmän mahdollisen ajankohdan kulutusdataa verrattiin vuoden takaisiin lukemiin. Tarkoituksena oli selvittää, millainen vaikutus kaukolämpöjärjestelmän uusimisella olisi kohteen energiankulutukseen. Kuvissa 5 ja 6 on esitetty kulutusdata lämmitysenergian ja käyttöveden kulutuksen kohdalla. Kulutustiedot saatiin mitoituskohteen isännöitsijältä.

Lämmitysenergian kulutusta mitattiin kahdessa eri kategoriassa. Kategorioita olivat normeerattu kulutus sekä absoluuttinen kulutus. Absoluuttisella kulutuksella mitataan todellista energiamäärää ottamatta huomioon ulkoisia tekijöitä, kuten sääolosuhteita. Normeeratussa kulutuksessa otetaan

huomioon sääolosuhteet eli ulkolämpötilat ja lämmitystarveluvut. Lämmitystarvelukuun lasketaan jokaisen kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. (RT-103692, 2023).

### 5.1 Lämmitysenergian kulutuksen tulokset



Kuva 5 Lämmitysenergian kulutukset (MWh) vuodelta 2024 ja 2025

Mittaustuloksia on kerätty järjestelmän uusimisen jälkeen joulukuusta huhtikuuhun, mutta tässä tarkastellaan vain aikaväliä tammikuusta huhtikuuhun. Tämä johtuu siitä, että vuoden takaisia kulutuslukemia on saatavilla vain tältä ajalta. Kuvassa 5 on esitetty kaavio lämmitysenergian kulutuksesta.

Kuukausi	Lämmitysenergia normeerattu (MWh)					Lämmitysenergia absoluuttinen (MWh)				
	2024	2025	Muutos	%		2024	2025	Muutos	%	
tammikuu	117,89	115,22	-2,67	-2,27		131,56	103,25	-28,31	-21,52	
helmikuu	106,63	107,21	0,58	0,54		104,05	99,07	-4,97	-4,78	
maaliskuu	87,57	94,48	6,91	7,89		82,67	81,32	-1,35	-1,63	
huhtikuu	60,39	62,92	2,53	4,20		63,57	57,03	-6,53	-10,28	
Sum.	372,48	379,83	7,35	1,97		381,84	340,68	-41,16	-10,78	

Taulukko 15 Lämmitysenergiakulutukset (MWh)

Taulukossa 15 on esitetty kulutuslukemat tarkasteluajaväliltä absoluuttisena sekä normeerattuna. Vihreällä rivillä on kulutuslukemien summat joka sarakkeelle sekä prosentuaalinen ero vuoden kulutuslukemien välillä.

Absoluuttinen kulutus oli tammikuun ja huhtikuun välillä yhteensä 381,85 MWh, kun taas vuoden 2025 sama kulutuslukema on 340,67 MWh. Kulutus väheni vuoden takaisiin lukemiin 41,16 MWh, joka tarkoittaa prosentuaalisesti noin 10,8 % pienempää kulutusta aiempaan vuoteen verrattuna. Normeerattu kulutus oli 2024 tammi-huhtikuussa yhteensä 372,48 MWh ja vuonna 2025 vastaava kulutuslukema oli 379,83 MWh. Tämä tarkoittaa 7,35 MWh kasvua, joka on noin 2 % vuoden takaiseen lukemaan verrattuna.

Vaikka absoluuttinen energiankulutus laski vuodessa 10,8 %, nousi normeerattu kulutus 2 %. Tämän voi selittää alkuvuoden 2025 leuto talvi, jolloin lämpötila oli normaalia korkeampi, eikä lämmitysenergian tarvetta ollut aiempaa vuotta enemmän. Absoluuttisen kulutuksen laskuun on myös vaikuttanut aiempaa vuotta lämpimämpi talvi.

Ilmatieteenlaitoksen sivuilta tarkastettiin sääolosuhteet ja keskilämpötilat vuoden 2024 ja 2025 tammi-huhtikuun aikaväliltä. Tarkastelukohdetta lähin havaintoasema sijaitsee Kaarinan Yltöisissä. Havaintokeskuksen keskilämpötilat ovat esitetty taulukossa 16, josta löytyy keskilämpötilat kuukausittain kumpanakin vuonna. (Ilmatieteenlaitos, 2025).

	Kaarina Yltöinen	
	2025	2024
Tammikuu	-0,5	-7,8
Helmikuu	-2,2	-2,7
Maaliskuu	2,5	0,5
Huhtikuu	5,6	3,3
<b>Keskiarvo</b>	<b>1,35</b>	<b>-1,675</b>

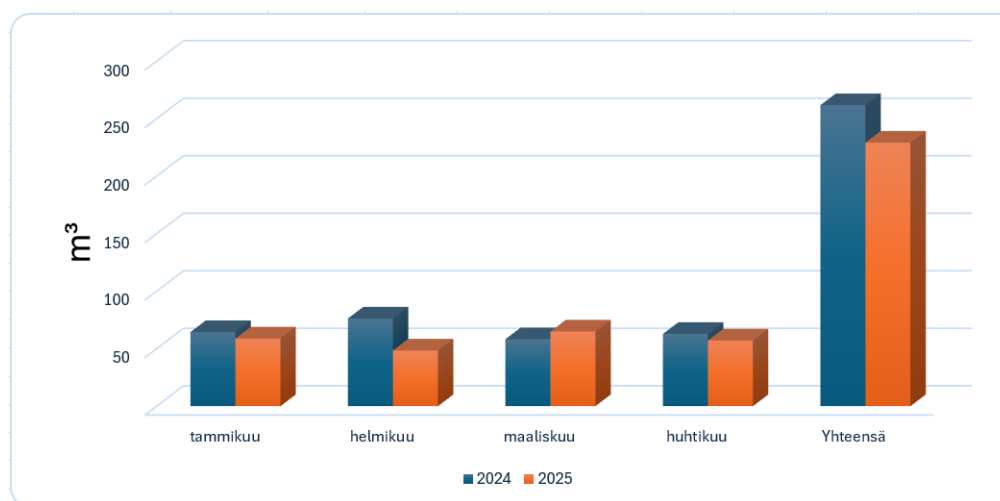
Taulukko 16 Keskilämpötilat vuodelta 2024 ja 2025

Taulukon 16 perusteella voidaan todeta, että vuoden 2025 tammi-huhtikuu oli noin 3 °C lämpimämpi edelliseen vuoteen verrattuna. Normeeratun kulutuslukeman perusteella ei voida todeta, että kaukolämpöjärjestelmän uudelleenmitoituksesta olisi hyötyä rakennuksen energiankulutukselle. Absoluuttinen kulutus oli kuitenkin laskenut 10,8 %, joka viittaisi

lämmönjakokeskuksen parempaan säätökykyyn sekä hukkaenergian minimoimiseen.

## 5.2 Käyttöveden kulutuksen tulokset

Käyttöveden kulutus oli myös yksi osa isännöitsijän antamaa kulutusdataa. Käyttöveden kulutuksessa havaittiin myös pientä laskua tällä tarkastelujaksolla ja kaavio kulutuksesta on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6 Käyttöveden kulutukset vuonna 2024 ja 2025

Veden kulutus on kuitenkin merkittävästi riippuvainen käyttäjien kulutuksesta, joka muodostuu kuluttajien tarpeista sekä kulutustottumuksista. On kuitenkin mahdollista, että uuden lämmönjakokeskuksen komponentit voisivat pienentää turhaa vedenkulutusta. Uuden lämmönsiirtimen parempi hyötysuhde ja automaation paremmat ohjaukset helpottavat veden lämpötilan nousua nopeammin halutulle tasolle. Tällöin lämpimän veden tulo hanalle nopeutuu, jolloin käyttäjän ei tarvitse juoksuttaa vettä niin pitkään.

## 6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyössä esitettiin uudelleenmitoitusprosessi olemassa olevalle kaukolämpöjärjestelmälle. Aluksi esiteltiin kaukolämpöjärjestelmän toiminta yleisesti, jonka jälkeen siirryttiin itse lämmönjakokeskuksen mitoitustapaan. Kaukolämpöjärjestelmän komponenttien syvällisempään tutkintaan ei tämän työn aikana menty, koska tarkoituksena oli esittää tilaajalle laskennallinen tapa mitoittaa oikeanlainen kaukolämpökeskus kiinteistön kaukolämpöjärjestelmään. Järjestelmän komponenteista on olemassa syvällisempää dataa, joka kertoo niiden toiminnasta sekä tarkoituksesta ja erilaisista vaihtoehdoista. Tämän datan analysointi rajattiin pois työstä, jotta aihe pysyy oikeissa mittasuhteissa. Uusien tutkimusten kannalta komponenttien läpikäyntiin voisi syventyä tarkemmin ja näin rajata tutkimusta erilaiseen suuntaan.

Vaikka absoluuttisen energiankulutuksen lasku oli merkittävää, normeeratun kulutuksen hienoinen nousu osoittaa, ettei rakennuksen energiatehokkuuden paraneminen ole niin yksiselitteistä, mitä tutkimuksessa toivottiin. Normeerattujen kulutustietojen perusteella ei saavutettu haluttua energiatehokkuuden paranemista kyseisillä sääoloilla. Useampi mitoituskohde olisi luonut parempaa näkymää energiakulutuksen sekä tehokkuuden parantamiselle, mutta kyseisiä kohteita ei ollut enempää toimeksiantajan puolelta saatavilla. Tämän työn avulla päästiin havainnoimaan energiakulutuksen vaikutusta pelkästään tämän yhden kohteen myötä.

Kaukolämpöjärjestelmistä on monenlaista dataa jo olemassa, joten tiedonhaku onnistui melko hyvin laajan aiheen ansiosta. Kaukolämpöjärjestelmän saatavuus tuottaa ongelmia taajamien ulkopuolella asuville, jonka myötä energialaitosten lisääminen ulkopaikkakunnille helpottaisi järjestelmän kasvua. Tämän tutkimuksen myötä kotitalouksille ja muille rakennuksille olisi matalampi kynnys parantaa kaukolämpöjärjestelmän toimintaa ja päivittää mahdollisesti vanha järjestelmä uuteen.

Kaukolämpöjärjestelmän uusiminen ja energiatehokkuuden parantaminen on hyvin ajankohtainen aihe. Valtio antaa tällä hetkellä tukea esimerkiksi rakennusten lämmitysjärjestelmän uusimiseen, mikäli vanhan järjestelmän kohdalla on kyse öljylämmityksestä. Korvaavana järjestelmänä kaukolämpö on hyvä vaihtoehto ja tätä opinnäytetyötä pystyisi hyödyntämään mitoituksessa.

Vaikka tekijällä oli jo pohjalla hieman omaa kokemusta kaukolämpöjärjestelmästä, kasvoi oma kiinnostus kaukolämpöjärjestelmää kohtaan merkittävästi. Myös ymmärrys uudelleenmitoituksen tärkeydestä kasvoi työn aikana huomattavasti. Useampi mitoituskohde olisi luonut parempaa näkymää energiatehokkuuden mahdolliselle paranemiselle, mutta kyseisiä kohteita ei ollut enempää toimeksiantajan puolelta saatavilla. Opinnäytetyön tavoite on auttaa myös oman alan työelämässä, sillä aihe on hyvin keskeinen LVI-insinööreille. Lämmitysverkostojen uusiminen on myös keskeinen aihe niin LVI-suunnittelijoiden kuin urakoitsijoiden työssä. Lisäksi opinnäytetyön avulla alan ulkopuolinen toivottavasti ymmärtäisi kaukolämpöjärjestelmästä enemmän. Tutkimuksessa onnistuttiin toteuttamaan tutkimuseettisten periaatteiden noudattamista koko projektin ajan.

## LÄHTEET

Armatec. (2025). Tietopankki varoventtiilit. Tietopankki.

Haettu 24.3.2025 osoitteesta

<https://www.armatec.com/fi/ratkaisumme/varoventtiilit/tietopankki/>

Danfoss. (2025). Venttiilit kaukolämpö- ja kaukojäähdytysjärjestelmiin. Haettu

28.3.2025 osoitteesta <https://store.danfoss.com/fi/fi/Climate->

[Solutions/Climate-Solutions-l](https://store.danfoss.com/fi/fi/Climate-Solutions/Climate-Solutions-l)

Energiateollisuus. (2021) Rakennuksen kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet

K1. Haettu 15.2.osoitteesta <https://energia.fi/wp->

[content/uploads/2016/08/Julkaistu\\_K1\\_2021\\_Rakennusten\\_kaukolammitys\\_](https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaistu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf)

[Maaraykset\\_ja\\_ohjeet\\_pdf-1.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2016/08/Julkaistu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf-1.pdf)

Finkova. (2023). Miten säätöventtiili toimii. Säätöventtiilin toimintaperiaate.

Haettu 27.2.2025 osoitteesta <https://finkova.fi/miten-saatoventtiili-toimii/>

Finlex. (2007). D1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Kiinteistöjen vesi-

ja viemärlaitteistot. Haettu 30.3.2025 osoitteesta

<https://www.finlex.fi/api/media/authority->

[regulation/574700/mainPdf/main.pdf?typeDiscriminator=ministry-of-the-](https://www.finlex.fi/api/media/authority-regulation/574700/mainPdf/main.pdf?typeDiscriminator=ministry-of-the-)

[environment&timestamp=2007-01-23T22%3A00%3A00.000Z](https://www.finlex.fi/api/media/authority-regulation/574700/mainPdf/main.pdf?typeDiscriminator=ministry-of-the-environment&timestamp=2007-01-23T22%3A00%3A00.000Z)

Gebwell. (2025). Kaukolämmönjakokeskus. Haettu 27.2.2025 osoitteesta

<https://gebwell.fi/kaukolampo/kaukolammonjakokeskus/>

Helen. (2025). Kaukolämpölaitteet. Haettu 25.1.2025 osoitteesta

<https://www.helen.fi/yriytykset/lampo-yrityksille/tietoa->

[yriytysasiakkaalle/kaukolampolaitteet](https://www.helen.fi/yriytykset/lampo-yrityksille/tietoa-yriytysasiakkaalle/kaukolampolaitteet)

Ilmastoinfo. (2024). Kaukolämpö. Kaukolämmön toimintaperiaate. Haettu

14.1.2025 osoitteesta

<https://ilmastoinfo.hsy.fi/verkkokurssit/energiaeksperti/lessons/lammitysjarjestelmat/topics/kaukolampojarjestelma/>

Ilmatieteenlaitos. (2025). Kuukausitilastot 2024–2025.

Haettu 8.5.2025 osoitteesta <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>

Konwell. (2017). Säätoventtiilin valinnan perusteet. Haettu 27.2.2025 osoitteesta <https://www.konwell.fi/fi/viestinta-ja-julkaisut/blogit/kuinka-hankkia-saatoventtiili>

Motiva. (2009). Energiatehokas pumppujärjestelmä.

Haettu 9.5.2025 osoitteesta

[https://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokas\\_pumppausjarjestelma\\_KOU\\_LUTUSAINIETO.pdf](https://www.motiva.fi/files/7810/Energiatehokas_pumppausjarjestelma_KOU_LUTUSAINIETO.pdf)

Motiva. (2016). Energiatehokas lämmönsiirto. Tehosta lämmönsiirtoa Tietoa lämmönsiirtimestä. Haettu 8.5.2025 osoitteesta

[https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas\\_lammonsiirto\\_opas.pdf](https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf)

Motiva. (2025). Kaukolämpö. Haettu 16.1.2025 osoitteesta

[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_pientalo/pientalon\\_lammitys/kaukolampo](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_pientalo/pientalon_lammitys/kaukolampo)

RT-10126. (1989). Lämmitysverkoston säätöventtiilien mitoitus.

Rakennustieto. Haettu 30.2.2025 osoitteesta

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2012-10126?page=2>

RT- 11-10472. (2011). Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus.

Rakennustieto. Haettu 10.3.2025 osoitteesta

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/LVI%2011-10472>

RT-103174. (2018). Rakennuksen energiankulutuksen ja

lämmitystehontarpeen laskenta. Haettu 6.4.2025 osoitteesta

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103174>

RT-103692. (2023). Lämmitystarveluku. Rakennusten energiankulutuksen seuranta. Haettu 3.5.2025 osoitteesta

<https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/RT%20103692?page=1>

Spiraxsarco, (2025). Control hardware electric-pneumatic actuation. Control valve capacity. Haettu 24.3.2025 osoitteesta

[https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/control-hardware-electric-pneumatic-actuation/control-valve-capacity?sc\\_lang=en-GB](https://www.spiraxsarco.com/learn-about-steam/control-hardware-electric-pneumatic-actuation/control-valve-capacity?sc_lang=en-GB)

TENK. (2023). Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. 2/2023. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisuja. Haettu 3.5.2025 osoitteesta [https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje\\_2023.pdf](https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf)

Turku Energia. (2022). Hiilineutraali energiatuotanto. Kaukolämmön alkuperä. Haettu 16.1.2025 osoitteesta

<https://vsk2022.turkuenergia.fi/ymparistovastuu/hiilineutraali-energiantuotanto/>

Turku Energia. (2022). Kaukolämmön saatavuus Turussa. Haettu 16.1.2025 osoitteesta <https://www.turkuenergia.fi/kotitaloudet/lammitys-jaahdytys/kaukolampoa-kotitalouksille/kotitalouksien-liittyminen-kaukolampon>

Turku Energia. (2022). Kaukolämmön tuotantolaitokset. Haettu 16.1.2025 osoitteesta <https://www.turkuenergia.fi/vastuullisuus/energian-alkupera/kaukolammon-tuotantolaitokset>

Vaillant. (2024). Mikä on kiertovesipumppu. Lämmityssanasto. Haettu 4.3.2025 osoitteesta <https://www.vaillant.fi/asiakkaat/neuvoja-ja-tietoa/lammityssanasto/master-circulating-pump-1924992.html>

## LIITTEET

## LIITE 1

Veden termodynaamisia ominaisuuksia

T °C	T K	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$\nu$ 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	$c_p$ kJ/kgK	$r$ kJ/kg	$\lambda$ 10 <sup>-3</sup> W/(m K)	Pr	$\rho$ bar
0	273,15	999,8	1,75	4,217	2501,6	569	13,00	0,0610
10	283,15	999,7	1,30	4,193	2477,9	587	9,29	0,0123
20	293,15	998,3	1,00	4,182	2454,3	603	6,94	0,0234
30	303,15	995,7	0,80	4,179	2430,7	618	5,39	0,0425
40	313,15	992,3	0,656	4,179	2406,9	632	4,30	0,0738
50	323,15	988,0	0,551	4,181	2382,9	643	3,54	0,1235
60	333,15	983,2	0,471	4,185	2358,6	654	2,96	0,1994
70	343,15	977,7	0,409	4,19	2334,0	662	2,53	0,3119
80	353,15	971,6	0,361	4,197	2308,8	670	2,20	0,4739
90	363,15	965,2	0,322	4,205	2283,2	676	1,94	0,7013
100	373,15	958,1	0,291	4,216	2256,9	681	1,73	1,013
110	383,15	950,7	0,265	4,229	2230,0	684	1,56	1,433
120	393,15	942,9	0,244	4,245	2202,2	687	1,42	1,985
130	403,15	934,6	0,226	4,263	2173,6	688	1,31	2,701
140	413,15	925,8	0,211	4,285	2144,0	688	1,21	3,613
150	423,15	916,8	0,197	4,310	2113,2	687	1,14	4,758
160	433,15	907,3	0,186	4,339	2081,3	684	1,07	6,178
170	443,15	897,3	0,177	4,371	2047,9	681	1,02	7,916
180	453,15	886,9	0,168	4,408	2013,1	677	0,97	10,02
190	463,15	876,0	0,161	4,449	1976,7	671	0,935	12,54
200	473,15	864,7	0,155	4,497	1938,6	665	0,904	15,54
210	483,15	852,8	0,149	4,551	1898,5	657	0,881	19,06
220	493,15	840,3	0,145	4,613	1856,2	648	0,864	23,18
230	503,15	827,3	0,14	4,685	1811,7	639	0,853	27,95
240	513,15	813,6	0,136	4,769	1764,6	628	0,846	33,44
250	523,15	799,2	0,134	4,867	1714,6	618	0,842	39,73
260	533,15	783,9	0,131	4,983	1661,5	603	0,848	46,88
270	543,15	767,8	0,130	5,122	1604,6	590	0,860	54,98
280	553,15	750,5	0,128	5,290	1543,6	575	0,883	64,11
290	563,15	732,1	0,127	5,499	1477,6	558	0,916	74,36
300	573,15	712,2	0,126	5,762	1406,0	541	0,958	85,81
310	583,15	690,6	0,125	6,104	1327,6	523	1,00	
320	593,15	666,9	0,125	6,565	1241,1	508	1,07	112,4
330	603,15	640,4	0,124	7,219	1143,6	482	1,19	
340	613,15	610,2	0,124	8,233	1030,7	460	1,35	145,9
350	623,15	574,3	0,124	10,11	895,7	437	1,64	
360	633,15	527,5	0,124	14,58	721,3	399	2,38	186,5
370	643,15	451,8	0,124	43,17	452,6	348	6,95	
374,2	647,35	315,0	0,143		0	238		220,9

$r$  = höyrystymislämpö

$\rho$  = höyrystymispaine

## LIITE 2

TAULUKKO 2.

Jakojohdon mitoitusvirtaama asuin-, toimisto-, koulu-, hotelli-, sairaala- tms. Rakennuksissa.

Normivirtaamien summa Q dm <sup>3</sup> /s	Mitoitusvirtaama q <sup>1)</sup> dm <sup>3</sup> /s q <sub>su</sub> (dm <sup>3</sup> /s)			Normivirtaamien summa Q dm <sup>3</sup> /s	Mitoitusvirtaama q <sup>1)</sup> dm <sup>3</sup> /s q <sub>su</sub> (dm <sup>3</sup> /s)		
	0,1	0,2	0,3		0,1	0,2	0,3
0,1	0,1	-	-	12,0	0,86	0,96	1,06
0,2	0,16	0,2	-	12,5	0,88	0,98	1,08
0,3	0,18	0,26	0,3	13,0	0,90	1,00	1,10
0,4	0,20	0,28	0,36	13,5	0,92	1,02	1,11
0,5	0,21	0,30	0,38	14,0	0,94	1,04	1,13
0,6	0,23	0,31	0,40	14,5	0,96	1,06	1,15
0,7	0,24	0,33	0,41	15,0	0,98	1,08	1,17
0,8	0,25	0,34	0,43	15,5	1,00	1,09	1,19
0,9	0,26	0,35	0,44	16,0	1,02	1,11	1,21
1,0	0,27	0,36	0,45	16,5	1,03	1,13	1,23
1,1	0,28	0,37	0,46	17,0	1,05	1,15	1,24
1,2	0,29	0,38	0,47	17,5	1,07	1,17	1,26
1,3	0,30	0,39	0,48	18,0	1,09	1,18	1,28
1,4	0,31	0,40	0,49	18,5	1,10	1,20	1,30
1,5	0,32	0,41	0,50	19,0	1,12	1,22	1,31
1,6	0,33	0,42	0,51	19,5	1,14	1,24	1,33
1,7	0,34	0,43	0,52	20,0	1,16	1,25	1,35
1,8	0,35	0,44	0,53	21,0	1,19	1,29	1,38
1,9	0,35	0,45	0,54	22,0	1,22	1,32	1,42
2,0	0,36	0,45	0,55	23,0	1,26	1,35	1,45
2,2	0,38	0,47	0,56	24,0	1,29	1,39	1,48
2,4	0,39	0,48	0,58	25,0	1,32	1,42	1,51
2,6	0,41	0,50	0,59	26,0	1,35	1,45	1,55
2,8	0,42	0,51	0,61	27,0	1,38	1,48	1,58
3,0	0,43	0,53	0,62	28,0	1,42	1,51	1,61
3,2	0,45	0,54	0,63	29,0	1,45	1,54	1,64
3,4	0,46	0,55	0,65	30,0	1,48	1,57	1,67
3,6	0,47	0,56	0,66	32,0	1,54	1,63	1,73
3,8	0,48	0,58	0,67	34,0	1,60	1,69	1,79
4,0	0,49	0,59	0,68	36,0	1,66	1,75	1,85
4,2	0,51	0,60	0,69	38,0	1,71	1,81	1,91
4,4	0,52	0,61	0,71	40,0	1,77	1,87	1,97
4,6	0,53	0,62	0,72	45,0	1,91	2,01	2,11
4,8	0,54	0,63	0,73	50,0	2,05	2,15	2,24
5,0	0,55	0,64	0,74	55,0	2,18	2,28	2,38
5,5	0,58	0,67	0,77	60,0	2,31	2,41	2,51
6,0	0,60	0,70	0,79	65,0	2,44	2,54	2,64
6,5	0,63	0,72	0,82	70,0	2,57	2,67	2,76
7,0	0,65	0,74	0,84	80,0	2,82	2,91	3,01
7,5	0,67	0,77	0,86	90,0	3,06	3,16	3,25
8,0	0,70	0,79	0,89	100,0	3,30	3,39	3,49
8,5	0,72	0,81	0,91	110,0	3,53	3,63	3,72
9,0	0,74	0,84	0,93	120,0	3,76	3,86	3,95
9,5	0,76	0,86	0,95	130,0	3,98	4,08	4,18
10,0	0,78	0,88	0,97	140,0	4,21	4,30	4,40
10,5	0,80	0,90	1,00	150,0	4,43	4,53	4,62
11,0	0,82	0,92	1,02	160,0	4,65	4,74	4,84
11,5	0,84	0,94	1,04	170,0	4,86	4,96	5,06

<sup>1)</sup> Jos jakojohdoton liittyy vakiovirtaamia, lisätään ne sellaisenaan mitoitusvirtaamaan.

## LIITE 3

<b>LÄMMÖNSIIRIMET</b>		<b>Käyttövesi LS</b>		<b>Lämmitys LS</b>		<b>Ilmanvaihto LS</b>	
Valmistaja							
Malli							
Teho	kW	112		250		200	
		Ensiö	Toisio	Ensiö	Toisio	Ensiö	Toisio
Virtaus	dm <sup>3</sup> /s	0,54	0,56	1,27	2,00	1,01	1,60
Lämpötilat	°C -°C	50	48	47	30	47	30
Painehäviö	kPa	20	50	20	20	20	20
<b>SÄÄTÖVENTTIILIT</b>		<b>Käyttövesi TV 1</b>		<b>Lämmitys TV 2</b>		<b>Ilmanvaihto TV 3</b>	
Valmistaja		BELIMO		BELIMO		BELIMO	
Malli		NIMI		NIMI		NIMI	
Virtaus	dm <sup>3</sup> /s	0,54		1,27		1,01	
Painehäviö	kPa	60		52		34	
k <sub>vs</sub> -arvo		2,5		6,30		6,3	
<b>SÄÄTÖKESKUS</b>		SÄÄTÖ-KL1		SÄÄTÖ-KL2		SÄÄTÖ-KL3	
<b>KIERTOYESIPUMPUT</b>		<b>Käyttövesi P 1</b>		<b>Lämmitys P 2</b>		<b>Ilmanvaihto P 3</b>	
Valmistaja		NIMI		NIMI		NIMI	
Virtaus	dm <sup>3</sup> /s	0,16		2,00		1,60	
<b>VERKOSTO, PAISUNTA- JA VAROLAITTEET</b>				Lämmitysverkosto		Ilmanvaihtoverkosto	
Verkoston tilavuus			dm <sup>3</sup>	1750		1600	
Paisuntasäiliön tilavuus			dm <sup>3</sup>	150		140	
Varoventtiilin koko			DN	25		20	
N:o	kpl	Laite			Mitoitus		
<b>LISÄTIETOA:</b>							
Kohteen mitoitusvirtaama = 0,6 l/s							
<b>PAINE-ERO</b>						Lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva paine-ero	
						60 kPa	