



Jere Huovinen

# Paine-eroanturilla mitatut virtaamat osana tarkastustoimintaa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

26.5.2024

# Tiivistelmä

Tekijä:	Jere Huovinen
Otsikko:	Paine-eroanturilla mitatut virtaamat osana tarkastustoimintaa
Sivumäärä:	51 sivua
Aika:	26.5.2024
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine:	Energiatuotantomenetelmät
Ohjaajat:	Tekninen palveluasiantuntija Alex Rinne Lehtori Juha Juselius

---

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tutkia Vantaan Energian kaukolämpöasiakkaiden lämpimän käyttöveden kiertojohdon eli LVK:n virtaamien säätöjä. Saatuja mitaustuloksia verrattiin LVI-suunnittelijan laatimiin mitoitus tietoihin ja analysoitiin, kuinka hyvin virtaamien säädöt vastaavat suunnitelmia. Insinööriyön tavoitteena oli kehittää kaukolämmön tarkastustoimintaa sekä samalla saada käsitys asiakkaiden LVK:n säädöistä.

Työn toteutus aloitettiin perehtymällä kaukolämmitteisen rakennuksen kaukolämmityslaitteisiin ja selvitettiin, mitä määräyksiä ja ohjeita niiden mitoittamiseen, asennukseen sekä valintaan vaikuttaa. Työn seuraavassa vaiheessa selvitettiin, miten LVK tulisi mitoittaa määräysten mukaisesti, minkä jälkeen voitiin siirtyä työn LVK:n virtaamien mittaukseen.

Insinööriyössä virtausmittaukset suoritettiin kaukolämmön tarkastustoiminnan yhteydessä TA-SCOPE-nimisellä mittalaitteella, joka hyödyntää paine-eroanturiyksikköä mittausten määrittämisessä. Paine-eroanturiyksikkö laskee mitattavan linjasäätöventtiilin virtaaman, paine-eron ja kv-arvon perusteella.

Insinööriyön tuloksena saatiin selvitettyä LVK:n virtaamat 11:ssä kaukolämpöasiakkaan rakennuksessa sekä lisäksi työntuloksissa esitettiin, kuinka TA-SCOPEa voitaisiin hyödyntää tulevaisuudessa kaukolämmön tarkastustoiminnassa.

Avainsanat: kaukolämpö, LVK, virtausmittaus, tarkastustoiminta

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Jere Huovinen  
Title: Flow Velocities Measured by the Pressure Differential Sensor as part of the Inspection Activity  
Number of Pages: 51 pages  
Date: 26 May 2024

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Energy and Environmental Technology  
Professional Major: Energy Production Technology  
Supervisors: Alex Rinne, Technical Service Specialist  
Juha Juselius, Senior Lecturer

---

The aim of this thesis was to investigate the flow adjustments of the domestic hot water recirculation system for the district heating customers of the Vantaa Energy. The acquired measurement results were compared to the rated value data prepared by HVAC designer and the analysis was conducted on how well the flow adjustments corresponded to the blueprints. The goal of this Engineering thesis was to improve the inspection process of district heating and at the same time gain an understanding of the customers' domestic hot water recirculation systems.

The execution of the thesis was started by familiarizing oneself with district heating equipment of a district heated building and determining the regulations and guidelines that affect their rated value data, installation, and selection. In the next phase of the thesis, it was investigated how domestic hot water recirculation systems should be rated according to regulations after which the measurements of hot water recirculation system flows could be performed.

In the thesis, flow measurements were performed in connection with district heating inspection using a device called TA-SCOPE, which utilizes a pressure differential sensor unit to determine the measurements. The pressure differential sensor unit calculates the flow rate of the measured line control valve based on the pressure difference and the flow constant.

As a result of the thesis, the flows of domestic hot water recirculation system were determined in 11 buildings of district heating customers. In addition, the results of the thesis suggested how TA-SCOPE could be utilized in future district heating inspection activities.

Keywords: district heating, domestic hot water recirculation system, flow measurements, district heating inspection

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vantaan Energia Oy	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Energiantuotanto ja tulevaisuuden näkymät	3
2.3	Energiantuotannon päätoimipisteet	3
3	Kaukolämpö	6
3.1	Yleistä	6
3.2	Kaukolämmityksen jakelu	6
3.3	Kaukolämpö ennen ja nyt Suomessa	10
3.4	Kaukolämpö Vantaalla	12
3.5	Kaukolämmön tulevaisuus Suomessa	13
4	Lämmönjakuhuone	16
4.1	Yleistä	16
4.2	Lämmönjakokeskuksen käyttöikä ja sen uusinta	18
4.3	Lämmönsiirtimet ja niiden toimintaperiaate	20
4.4	Pumput ja niiden valinta	25
4.5	Lämpimän käyttöveden kiertojohto	26
4.6	LVK-mitoitus	27
5	TA-SCOPE osana tarkastustoimintaa	30
5.1	Yleistä	30
5.2	Kaukolämmöntarkastukset	31
5.3	Virtausten ja paine-erojen mittalaite	35
5.4	Virtauksen laskenta	36
5.5	Käytännön hyödyt	37
6	Asiakaskohteiden tarkastelu	38
6.1	Yleistä	38
6.2	Kaukolämpöasiakkaiden mittaustulokset	38
6.3	Tulosten tarkastelu	42

6.4 Yhteenveto kohteista	44
7 Yhteenveto	45
Lähteet	47

## **Lyhenteet**

DN: Putken nimellinen halkaisija.

LVK: Lämpimän käyttöveden kiertajohto.

TA-SCOPE: Virtausten ja paine-erojen mittalaite.

## 1 Johdanto

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia lämpimän käyttöveden kiertojohtoa eli LVK:n virtaamia TA-SCOPE-nimisellä mittalaitteella. TA-SCOPE hyödyntää virtausmittauksissa paine-eroanturia, joka mittaa painetta linjasäätöventtiilin kursituksen yli. Virtaama saadaan mitattua, kun venttiilin esisäätöarvo on tiedossa. Mittaukset suoritettiin kaukolämmön tarkastustoiminnan yhteydessä, ja tarkoituksena oli verrata saatuja mittaustuloksia LVI-suunnittelijan laatimiin mitoituksiin.

Virtaaman tulisi olla lähellä mitoitusarvoa, jolloin lämpimän käyttöveden kiertojohto toimii halutulla tavalla. Mikäli virtaama on putkistossa paljon suurempi tai pienempi kuin mitoitusarvoissa, pumppu saattaa olla yli- tai alimitoitettu tai säädetty väärin. Liian korkeat virtaamat aiheuttavat kupariputkissa eroosiokorroosiota, joka syövyttää putkistoa ja aiheuttaa putkirikkoja. Liian korkeat ja alhaiset virtaamat aiheuttavat myös ongelmia pumpun toiminnassa, mikä saattaa aiheuttaa pumppuvikoja ja -vaurioita. Oikeanlaisella mitoituksella, laitevalinnalla ja säädöllä saavutetaan halutut lämpötilat sekä virtaamat rakennuksessa, minkä kautta ehkäistään kaukolämpölaitteiden ennen aikaista rikkoutumista.

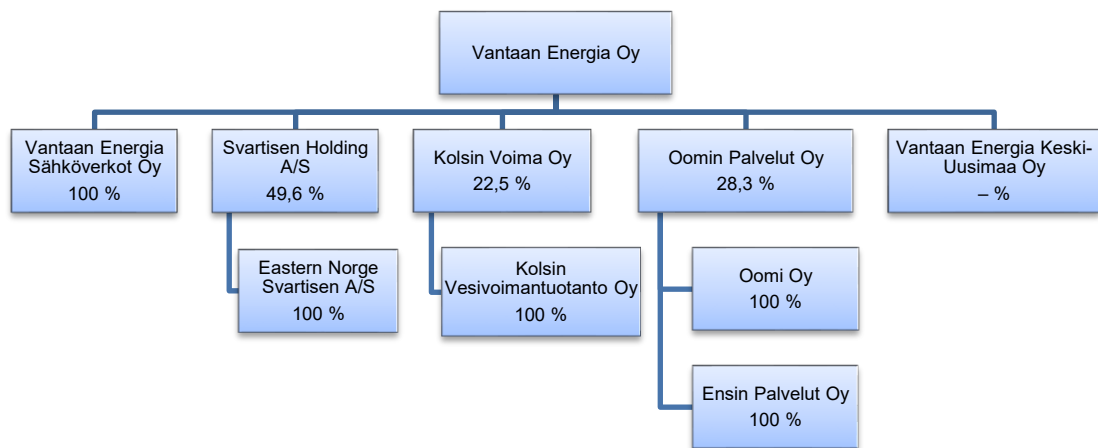
Opinnäytetyö tehtiin Vantaan Energia Oy:n energiapalvelut-yksikölle, joka huolehtii kaukolämmön tarkastustoiminnasta. Tarkastustoiminnassa varmistetaan, että liitettävän tai liitetyn rakennuksen kaukolämpölaitteet on suunniteltu, asennettu sekä säädetty määräysten mukaisesti. Tarkastustoiminnan tavoitteena on taata asiakkaalle toimiva, laadukas ja turvallinen lämmitysjärjestelmä.

Opinnäytetyössä mittaukset suoritettiin Vantaan Energian kaukolämpöasiakkaiden tiloissa, ja tarkoituksena oli saada käsitys asiakkaiden LVK:n säädöistä. Saatuja mittaustuloksia käsitellään myöhemmin opinnäytetyön luvussa 6.

## 2 Vantaan Energia Oy

### 2.1 Yleistä

Vantaan Energia Oy on Suomen suurimpien kaupunkienergiayhtiöiden joukossa, ja se on toiminut vuodesta 1910 lähtien. Vantaan Energia Oy:n omistaa Vantaan kaupunki osuudella 60 % ja Helsingin kaupunki osuudella 40 %. Vantaan Energia on konserniyritys, joka muodostuu emoyhtiöstä Vantaan Energia Oy ja sen tytäryhtiöstä Vantaan Energia Sähköverkot Oy. Lisäksi Vantaan Energia Oy:llä on osakkuusyhtiöitä, ja konsernin rakennetta sekä omistusosuuksia voi tarkastella tarkemmin alapuolella olevasta kuvasta 1. [1, s. 1; 2.]



Kuva 1. Vantaan Energian -konsernin rakenne vuonna 2022 [1, s. 1].

Vantaan Energia Oy tuottaa ja jakelee asiakkailleen kaukolämpöä sekä sähköä. Lisäksi yritys tarjoaa asiakkailleen kiertotalous- ja energiatehokkuusratkaisuja sekä lämpö- ja kylmäpalveluita. Vantaan Energia Oy:n päämarkkina-alueena energiapalveluissa on Vantaa. Lisäksi yritys tarjoaa Tuusulan ja Järvenpään alueilla toimivalle Vantaan Energia Keski-Uusimaa Oy:lle energia- ja yrityspalveluita. Vantaan Energia sähköverkot Oy vastaa Vantaan alueella sähköverkoista ja sähkönsiirrosta. Vantaan Energia Oy vastaa kaukolämmön jakelusta Vantaalla, ja 90 % kiinteistöistä kuuluu sen lämmityspiiriin. [1, s. 1; 2.]



## 2.2 Energiantuotanto ja tulevaisuuden näkymät

Vantaan Energia Oy on kasvava kiertotalousenergiayhtiö, ja yrityksen tavoitteena on olla hiilinegatiivinen vuoteen 2030 mennessä. Hiilinegatiivisuustavoitteen saavuttamiseksi Vantaan Energia Oy on kehittänyt jatkuvasti omaa toimintaansa, ja yhtiö pyrkii jatkuvasti vähentämään ympäristö- ja luontovaikutuksia. Vantaan Energian Kaupunkienergia-liiketoiminnalle onkin myönnetty ISO 14001 -ympäristösertifikaatti, ja yhtiöllä on tarkoituksena luopua fossiilisista polttoaineista mahdollisimman nopeasti. [3.]

Vuonna 2022 yhtiö investoi 13 miljoonalla eurolla ympäristösuojeluun, mikä kohdistui jätevoimalan laajennukseen, lämmön kausivarastointiin sekä korkealämpölaitokseen. Yhtiön ympäristönäkökohdat liittyvät polttoaineiden käyttöön ja näistä syntyviin hiilidioksidi- ja muihin energiantuotannon päästöihin sekä jätteen syntymiseen. [1, s. 15.]

Yhtiöllä on myös neljä hankekokonaisuutta, joiden tavoitteena on muuttaa yhtiön energiantuotanto hiilinegatiiviseksi. Hankkeista kaksi on bioraaka-ainetta hyödyntäviä ja hiilinegatiivisia. Toiset kaksi ovat jätteenpolton hiilidioksidia talteen ottavia ja sitä raaka-aineenaan hyödyntäviä. Lisäksi yhtiöllä on tarkoituksena toimia rejektin toimittajana jätevoimaloille ja tätä kautta edistää jätelajittelu-toimintaa Suomessa. Rejektillä tarkoitetaan hyötykäyttöön kelpaamatonta jaetta, jota syntyy jätteen lajittelussa [4]. Rejektin hyötykäytön kautta saadaan vähennettyä jäännösvirtoja. [1, s. 3.]

## 2.3 Energiantuotannon päätoimipisteet

Jätevoimala valmistui Uusiolan alueelle vuonna 2014, josta lähtien laitos on pystynyt käsittelemään 1,5 miljoonan kotitalouden sekajätteet Uudenmaan alueelta. Laitoksen lämpöteho on 128 MW ja sähköteholtaan 84,5 MW. Energiantuotannon hiilidioksidipäästöt pienentyivät voimalan käyttöönoton jälkeen 25 %. [2; 5.]

Vuonna 2022 syksyllä valmistuneessa jätevoimalan laajennusosassa voidaan käsitellä kierrätykseen kelpaamattomia jätteitä. Laajennusosa hyödyntää energiantuotannossa kaupan ja teollisuuden energijätteitä, jonka avulla laitos tuottaa lämpöä 80 MW:n teholla. Jätevoimala sekä sen laajennusosa on yhtiön toinen energiantuotannon päätoimipiste, jossa tuotetaan lämpöä sekä sähköä. [2; 6.]

Jätevoimalan laajennusosan viereen on rakenteilla korkealämpötilalaitos, jonka suunniteltu valmistusajankohta on vuonna 2025. Korkealämpölaitoksella pystytään käsittelemään vaaralliseksi luokiteltuja kierrätykseen kelpaamattomia jätteitä. Kotitalouksissa vaaralliseksi luokiteltuja jätteitä ovat muun muassa lääkkeet, maalit, öljy materiaalit ja lakat. Korkealämpölaitos pystyy käsittelemään vaaralliseksi luokitellut jätteet turvallisesti ja hyödyntämään jätteet osana lämmöntuotantoa. Kuvassa 2 on esitetty jätevoimalan ja sen läheisyydessä olevat jätteenkäsittelylaitokset. [2; 5; 7.]



Kuva 2. Jätevoimala ja Uusiolan alueen jätteenkäsittelylaitokset [2].

Toinen energiantuotannon päätoimipisteistä on Martinlaakson voimalaitos ja sen eri osat ovat koostetusti nähtävissä kuvassa 3. Voimalaitoksen hiilikattilalaitos osa valmistui vuonna 1983, missä käytetään polttoaineena tällä hetkellä kivihiiltä. Kivihiilen käytöstä on tarkoitus luopua laitoksella, mutta Venäjän aloittama

hyökkäyssota Ukrainaan vaikutti kivihiilen käytön jatkamiseen laitoksella. Kivihiilestä luovuttiin jo huhtikuussa 2022, mutta yhtiö joutui jatkamaan kivihiilenkäyttöä saman vuoden lokakuussa, jotta huoltovarmuus pystyttäisiin takaamaan. [1, s. 2; 2.]

Martinlaakson hiilikattilalaitos osan viereen rakennettiin vuonna 1990 kaukolämpöakku ja vuonna 1994 kaasuturbiini sekä lämmön talteenottokattila. Kaukolämpöakkuun voidaan varastoida lämpöä, jonka avulla voidaan tasata kuormituskuippuja. Kaukolämpöakun kapasiteetti on 750 MWh ja tilavuudeltaan 19 000 m<sup>3</sup>. Kaasuturbiini ja lämmöntalteenottokattilan pääpolttoaineena on maakaasu, ja sitä käytetään kylmimpien päivien polttoaineena. Maakaasusta on myös tarkoitus luopua mahdollisimman nopeasti. [2.]



Kuva 3. Martinlaakson voimalaitos [2].

Uusin lisäys Martinlaakson voimalaitokselle tehtiin vuonna 2019, missä vanha maakaasu- ja öljykäyttöinen voimalaitososa muutettiin biovoimalaitokseksi. Biovoimalaitoksessa hyödynnetään polttoaineena puupolttoainetta, kuten saha- ja vaneriteollisuuden sivutuotteita sekä metsäpolttoaineita. Biokattilavoimalaitoksen sähköteho on 35 MW ja lämpöteholtaan 100 MW. [1, s. 2, 11; 2; 6.]

Vuonna 2022 biovoimalaitoksella jouduttiin myös palaamaan turpeen käyttöön polttoaineena, josta yhtiö oli jo kertaalleen luopunut vuonna 2021. Biovoimalaitoksella palattiin turpeen käyttöön Venäjän vuoksi, mikä vaikutti eri energialähteiden saatavuuteen. Venäjä lopetti muun muassa puupolttoaineiden, öljyn ja maakaasun toimituksen Suomeen vuoden 2022 aikana, mikä horjutti merkittävästi energiamarkkinoita koko Euroopassa. Vantaan Energia pystyi turpeen ja kivihiilen käytöllä avulla turvaamaan energiasaantia eri toimipisteille. [1, s. 2, 8, 11, 21.]

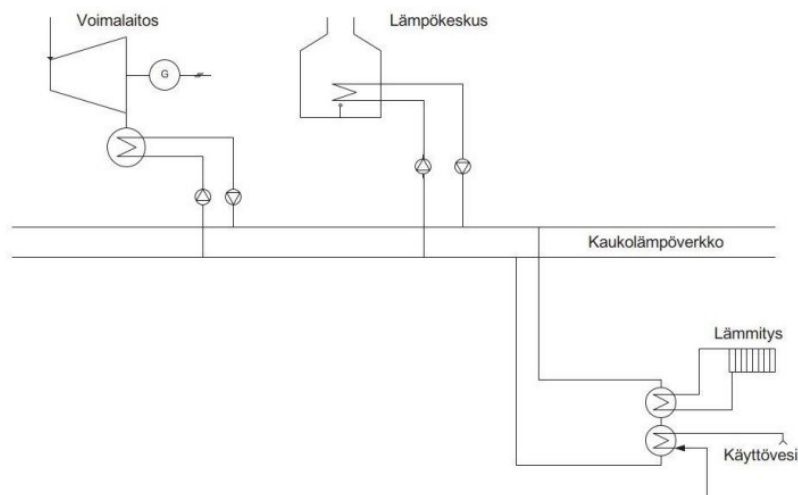
### **3 Kaukolämpö**

#### **3.1 Yleistä**

Kaukolämmityksessä lämpö tuotetaan keskitettynä tuotantona yhdessä tai useammassa laitoksessa, josta lämpö välitetään verkkoa pitkin asiakkaille. Lämpö tuotetaan sähkön ja lämmön yhteistuotantona tai lämmön erillistuotantona. Suomessa yhteistuotannon osuus lämmöntuotannossa on noin 3/4–4/5 riippuen vuodesta. Kaukolämmityksessä lämpö sidotaan veteen tai höyryyn, jota voidaan hyödyntää rakennuksien sekä käyttöveden lämmityksessä. Kaukolämmitys soveltuu erilaisten rakennuksien lämmitykseen, kuten muun muassa asuintalojen (pientalot, kerrostalot), julkisten rakennuksien ja liikerakennuksien lämmitykseen. [9, s. 25, 37.]

#### **3.2 Kaukolämmityksen jakelu**

Suomessa kaukolämmitys jaetaan asiakkaille kaksiputkijärjestelmällä kuvan 4 mukaisesti, jossa hyödynnetään siirtoaineena kuumaa vettä. Vesi lämmitetään voimalaitoksen lämmönsiirtimissä tai lämmityslaitoksen kattiloissa. Laitokselta vesi pumpataan kaksiputkijärjestelmässä yhtä menoputkea pitkin asiakkaiden rakennuksiin, jossa se luovuttaa lämpöä asiakkaiden lämmönsiirtimille. Lämmönsiirtimillä jäähtynyt vesi kiertää takaisin yhtä paluuputkea pitkin laitokselle uudelleen lämmitettäväksi. Sama vesi kiertää kaukolämpöverkostossa jatkuvasti asiakkaiden ja laitoksen välillä. [9, s. 43–44, 137.]



Kuva 4. Kaksiputkijärjestelmän periaatekuva [9, s. 43].

Kaukolämmityksessä tyypillinen lämpötila menoputkessa on 65–115 °C ja paluuputkessa lämpötila on tyypillisesti 40–60 °C. Kaukolämpöveden lämpötila ei saa kuitenkaan olla menoputkessa yli 120 °C:sta, jotta kaukolämpölaitteet (ilmanvaihto, käyttövesi, lämmitys) kestävätkä käyttöolosuhteet jatkuvassa käytössä. Kaukolämmön menoveden lämpötiloja säädetään tuotantolaitoksella ulkolämpötilan mukaan, jotta se vastaisi asiakkaiden kulutustarpeita, ja samalla pyritään välttämään liian korkeita lämpötiloja lämpöhäviöiden takia. [9, s. 44; 10; 11, s. 3.]

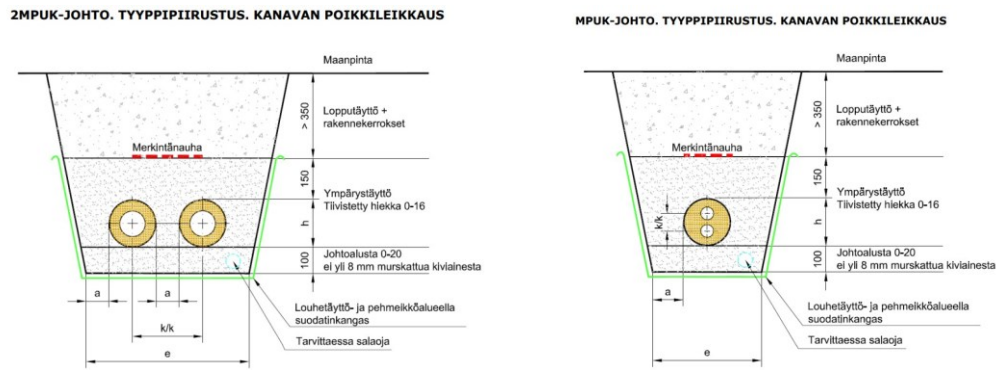
Kaukolämmityksessä ylläpidetään myös riittävän korkeaa keskipainetta, jotta vesi ei pääse höyrystymään missään vaiheessa kaukolämpöverkostoa. Paine kaukolämpöverkossa saa olla maksimissaan 1,6 MPa. Keskipaineen avulla katetaan myös putkissa sekä asiakaslaitteissa tapahtuvat painehäviöt. Painetta korotetaan tuotantolaitoksella ja tarvittaessa myös paineenkorotuspumpuilla. Kaukolämmityksessä käytetään yleensä keskipakopumppuja, jotka soveltuvat kiertoveden pumppaukseen, veden lisäykseen sekä järjestelmien paineenpitoon. Kaukolämpövedestä on puhdistettu mekaaniset epäpuhtaudet, jotta ne eivät pääse kerrostumaan putkistoissa. Lisäksi happi sekä muut kaasut on poistettu, jotta voidaan välttää korroosion syntymistä putkissa. [9, s. 44, 137, 169; 11, s. 3.]

Kaukolämpöjohdot asennetaan kuvan 5 mukaisesti maaperään, katujen, jalkakäytävien ja kevyen liikenteen väylien alle tai puistomaalle tyypillisesti 0,5–1 m:n syvyyteen. Kaukolämpöjohdot ovat hyvin lämpöeristettyjä, mutta silti jakeluverkon lämpöhäviöihin kuluu Suomessa noin 8–9 % siirretystä lämpöenergiasta. Kaukolämpöverkon lämpöhäviöihin vaikuttaa jakeluverkossa käytettävä lämpötila, putkikoot ja verkoston pituus. Pienissä kaukolämpöverkoissa keskimääräinen putkikoko on DN 50, jossa lämpöhäviöihin kuluu noin 10–20 %. Suurissa verkoissa putkikoko on keskimäärin DN 150 ja lämpöhäviöihin kuluu noin 4–10 %. Pienissä verkoissa lämpöhäviöt ovat suhteellisesti suurempia, johtuen suuremmasta vaippapinta-alasta suhteessa siirtokykyyn. [9, s. 203, 205, 209; 10.]



Kuva 5. Kaukolämpöjohdot [10].

Nykyään lähes kaikki kaukolämpöjohdot rakennetaan käyttämällä kiinnivaahdotettua johtotyyppiä. Kiinnivaahdotetuissa kaukolämpöjohdoissa 2Mpuk- ja Mpuk-virtausputki sekä polyeteenisuojakuori on kiinteästi liitetty yhteen polyuretaanieristeellä. Johdot mitoitetaan siten, että ne kestävät 1,6 MPa:n suunnittelu-paineen sekä 120 ° C:n käyttölämpötilan. Tekninen käyttöikä tulee olla vähintään 30 vuotta johdolle, joka toimii jatkuvassa käytössä 120 ° C käyttölämpötilassa. Kuvassa 6 on esitetty 2Mpuk- ja Mpuk -johtojen havainnekuvat. [9, s. 137–138.]



Kuva 6. Tyypipiirustus 2Mpuuk- ja Mpuuk -johdot [12, s. 45–46].

Kiinnivaahdotetun johdon valmistuksessa käytetään yhtenäisiä standardeja, mikä mahdollistaa eri valmistajien elementtien yhteensopivuuden. Elementillä tarkoitetaan suojaputkea ja polyuretaanieristettä, jotka yhdessä muodostavat helposti käsiteltävän elementin. Kiinnivaahdotetut putket ovat osoittautuneet luotettaviksi johtotyypeiksi, jotka soveltuvat moneen eri käyttökohteeseen. Yksi Kiinnivaahdotetun johdon hyvistä puolista on se, että elementin rikkoutuessa mahdollinen korroosion syntyminen virtausputkeen ei pääse leviämään ja se rajoittuu pelkästään rikkoutumiskohtaan. [9, s. 138–139, 145.]

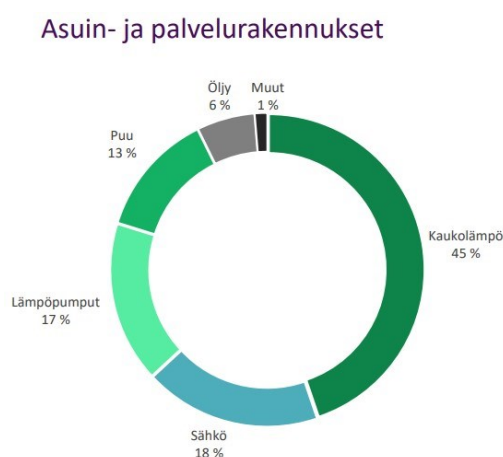
Yksiputkijohdon 2Mpuuk ja kaksiputkijohdon Mpuuk etuja ovat myös niiden monipuolinen osavaliokoima liitostarvikkeineen, joita ovat muun muassa yhdistelmäventtiilit, venttiilielementit, nousukulmaelementit, vakiokulmaelementit (30°, 45°, 60°, 90°) ja kiintopiste-elementit. Monipuolisen osavaliokoiman ja liitostarvikkeiden ansiosta molemmat kiinnivaahdotetut putket soveltuvat myös erikoisolosuhteisiin kuten radan- ja vesistöналitukseen sekä siltoihin ja tunneleihin. Näissä tilanteissa voidaan käyttää erilaisia ripustus- tai kannatustapoja, joiden avulla saadaan putket asennettua paikoilleen. Yksiputkijohtoa valmistetaan kokoluokissa DN 20–1200, joiden pituudet vaihtelevat kokoluokan mukaan 6 m, 12 m, 16 m ja 18 m. Kaksiputkijohtoa valmistetaan kokoluokissa DN 20x20–DN 2x200, jossa putken pituudet ovat 6 m tai 12 m riippuen putken kokoluokasta. Kaksiputkijohdon materiaalikustannukset ovat yksiputkijohtoon verrattuna

pienemmät sekä lämpöhäviöt ovat myös alhaisemmat kuin yksiputkijohdolla. [9, s. 138–139, 145.]

### 3.3 Kaukolämpö ennen ja nyt Suomessa

Kaukolämmön tuotanto aloitettiin Suomessa 1950-luvulla, mutta kaukolämmön merkitys kasvoi laajemmassa mittakaavassa kuitenkin vasta 1970-luvulla. Kaukolämmön merkitys kasvoi, koska Suomessa koettiin energiakriisi 1973 vuoden aikana, jonka takia valtioneuvosto päätti rajoittaa energiankäyttöä. Tämän takia energiakysymykset synnyttivät julkista keskustelua, jonka kautta huomattiin kaukolämmön energiataloudelliset edut sekä keinona pienentää energiahuollon tuontiriippuvuutta. [9, s. 34.]

Nykyään Suomessa kaukolämpö on asuin- ja palvelurakennuksissa suosituin lämmitysmuoto, jonka avulla lämmitettiin 45 % asuin- ja palvelurakennuksista vuonna 2021. Toiseksi suosituimmalla lämmitysmuodolla sähköllä lämmitettiin 18 % asuin- ja palvelurakennuksista. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet ja-kaantuvat kuvan 7 mukaisesti. [13.]

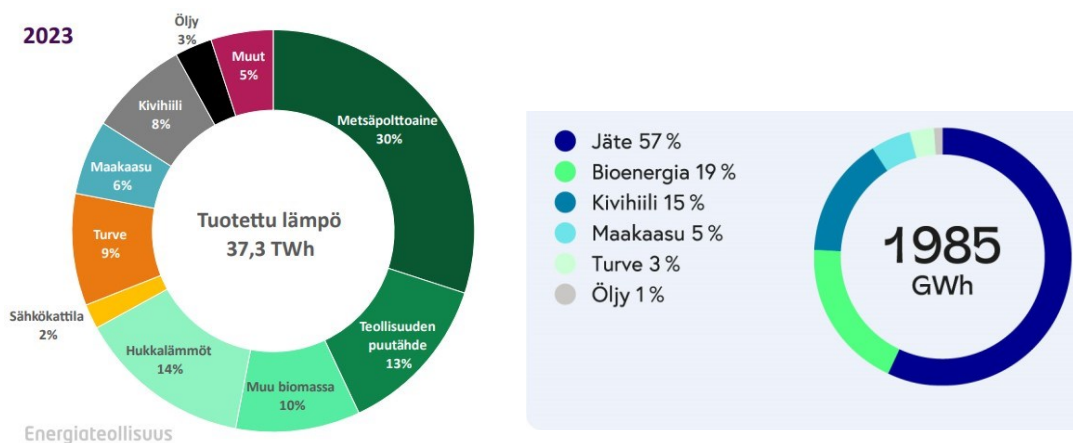


Kuva 7. Lämmitysmuotojen markkinaosuudet vuonna 2021 [13].

Kaukolämmitykseen tuotettiin lämpöä vuoden 2023 aikana 37,3 TWh:n edestä ja edellisvuoteen verrattuna lämmön tuotanto kasvoi 0,4 TWh. Suosituimmat lämmönlähteet kaukolämmityksen tuotannossa olivat metsäpolttoaine,

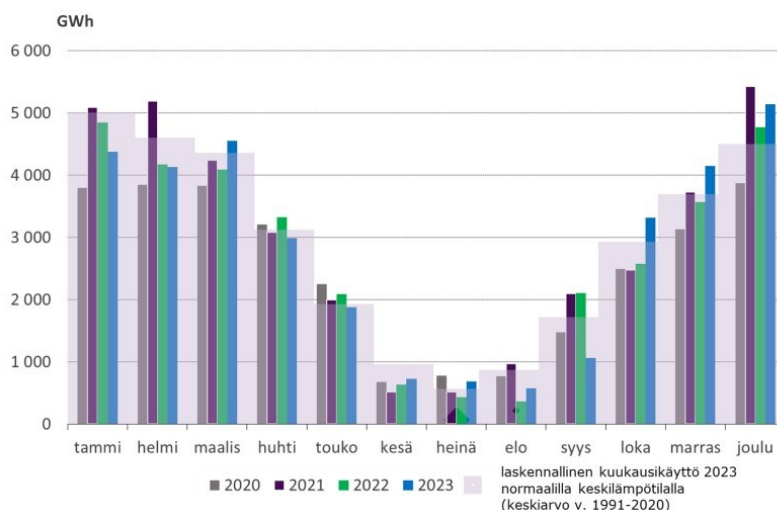


hukkalämpö (sisältäen myös lämpöpumput) sekä teollisuuden puutähte. Biomassalla tuotetun lämmön osuus oli yli puolet lämmöntuotannosta. Kuvassa 8 on esitetty Vantaan Energian ja koko Suomen kaukolämmitykseen tuotetun lämmön määrä energialähteittäin. [13.]



Kuva 8. Vasemmallä Suomessa tuotetun lämmön määrä energialähteittäin kaukolämmitykseen, ja oikealla Vantaan Energian tuotetun lämmön määrä energialähteittäin kaukolämmitykseen vuonna 2023 [13; 14].

Kaukolämpöä tarvitaan vuoden jokaisena päivänä, mutta sen tarve vaihtelee voimakkaasti ulkolämpötilan mukaan, mikä näkyy kulutuksessa suurina eroina eri vuodenaikojen välillä. Lämmöntarpeessa on myös huomattavissa eri vuosien välillä merkittäviä eroja, jotka näkyvät alla olevassa kuvassa 9. [9, s. 41; 13.]

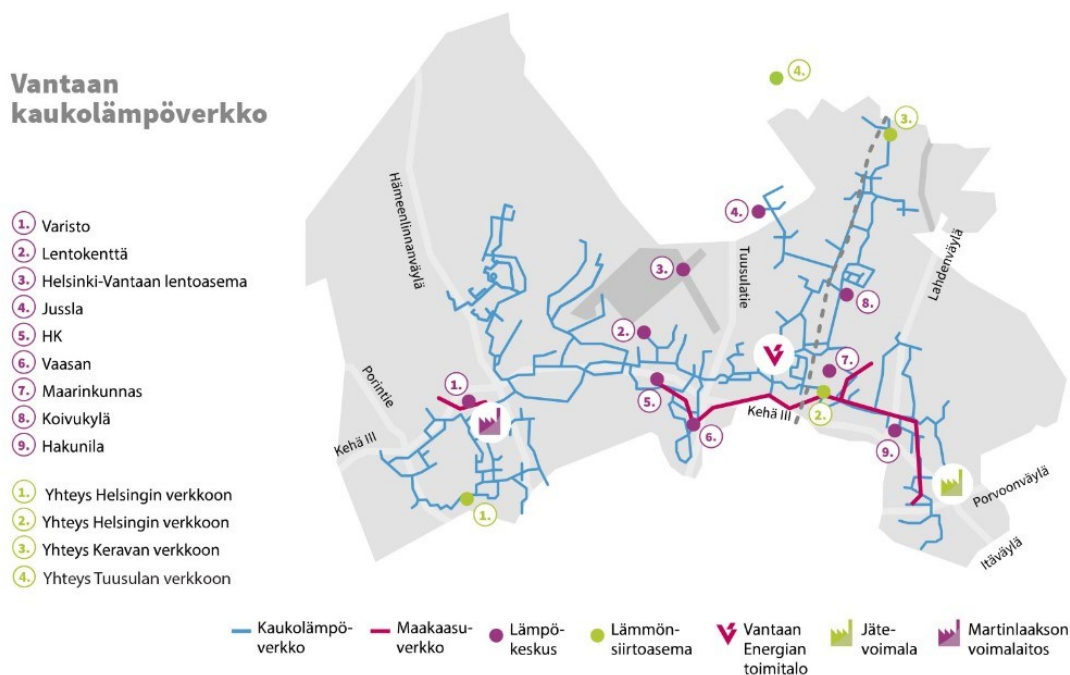


Kuva 9. Kaukolämmön tarve eri kuukausina ja vuosina [13].

Kesäaikana kaukolämpöä tarvitaan pääasiassa käyttöveden lämmityksessä ja lämmön tarve kasvaa, kun rakennukset alkavat käyttämään patteri- ja ilmanvaihtolämmitystä ulkolämpötilan laskiessa. Kaukolämmön tarve kasvaa talvikuu-kausina, jopa yli viisinkertaiseksi verrattuna kesään. [9, s. 41; 11, s. 59, 90; 13.]

### 3.4 Kaukolämpö Vantaalla

Kaukolämmön tuotannosta sekä jakelusta vastaa Vantaan alueella Vantaan Energia Oy. Lämpöä jaetaan kaupungin asukkaille sekä yrityksille noin 600 km kattavan kaukolämpöverkon avulla. Kuvassa 10 on esitetty Vantaan alueen kaukolämpöverkon sijainti kartalla koostetusti. [15; 16.]



Kuva 10. Vantaan Energia Oy:n kaukolämpöverkko Vantaalla vuonna 2018 [15].

Vantaan Energia tuottaa kaukolämpöä luvussa 2 mainittujen päätoimipisteiden (Martinlaakson voimalaitos, jätevoimala) avulla sekä niiden tukena käytetään viittä lämpökeskusta, jotka turvaavat lämmönjakelua. Vantaan Energia tarjosi vuonna 2023 pääkaupunkiseudun edullisinta kaukolämpöä asiakkailleen. [2.]

### 3.5 Kaukolämmön tulevaisuus Suomessa

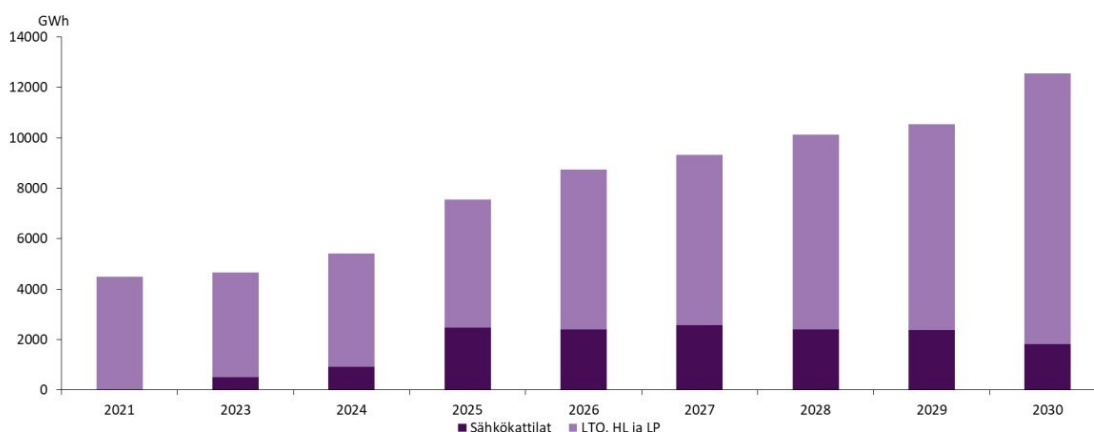
Kaukolämmön tuotantoa ohjaavat niin kansalliset kuin EU:n tavoitteet. Valtioneuvoston julkaisemassa ”Hiilineutraali Suomi 2023- kansallinen ilmasto- ja energiastategiassa” tavoitteeksi on asetettu Suomen olevan hiilineutraali vuonna 2035 ja siirtyä hiilinegatiiviseksi mahdollisimman nopeasti tämän jälkeen. EU:n tavoitteet edellyttävät taas vuoteen 2030 mennessä päästövähennyksiä, jotka ovat merkittävämpiä kuin nykyisillä toimilla saavutetaan. Lisäksi EU:n ilmastolakiin on kirjattu ilmastoneutraaliustavoite vuoteen 2050, minkä tavoitteena on, että kasvihuonekaasujen nettopäästöjä ei enää aiheuteta. Tulevaisuudessa rahoitukset suuntautuisivat päästöjä vähentäviin teknologioihin sekä innovaatioihin, mikäli tavoitteissa pysytään ja ilmastolakiin ei tehtäisi muutoksia. [17, s. 12, 15.]

Suomessa kaukolämmön tuotanto on siirtynyt ilmastoystävällisempään suuntaan, kun päästöjä on vähennetty sekä lisäksi fossiilisten polttoaineiden tuotannosta on luovuttu lähes kokonaan. Vuonna 2023 uusiutuvan energian osuus oli yli kaksinkertaistunut verrattuna vuoteen 2010. Kaukolämmön tuotannosta yli 60 % on jo päästötöntä, ja tulevaisuudessa fossiilisten polttoaineiden osuus tullaan korvaamaan vaihtoehtoisilla tuotantomenetelmillä. [13; 18.]

Tulevaisuudessa kaukolämmön tuotantotapoina tullaan näkemään myös yhä enemmän lämpöpumppuja sekä hybridiratkaisuja, joissa osa lämmöstä tuotetaan ilman polttoon perustuvaa tuotantoa. Lämpöpumppujen avulla saadaan esimerkiksi hyödynnettyä teollisuuden ylijäämälämpöä ja datakeskusten sekä jätevesien lämpöjä. Hybridiratkaisut taas hyödyntävät kaukolämmön lisäksi yhtä tai useampaa lämmönlähdettä, kuten esimerkiksi maalämpöä tai aurinkolämpöä. Hybridiratkaisun tarkoituksena on siis yhdistellä eri lämmönlähteitä ja täten kiinteistö pystyy suojautumaan eri lämmönlähteiden hintavaihtelulta sekä takaamaan samalla toimitusvarman lämmityksen kiinteistöön. [13; 18; 19.]

Tulevaisuudessa kaukolämmössä hyödynnettävien lämpövarastojen merkitys myös kasvaa merkittävästi, kun eri energialähteiden saatavuudet vaihtelevat. Lämpövarasto voi toimia päivä-, viikko tai kausivarastona, mikä tuo joustoa sekä tasapainoa kaukolämpöjärjestelmään. Lämmön varastoinnissa pienemmät lämpövarastot ovat usein erilaisia säiliövarastoja, jotka on sijoitettu teollisuus- ja laitosalueille. Isommat lämpövarastot voidaan toteuttaa esimerkiksi suurissa maanalaisissa luolatilissa. [20.]

Sähkökattilat ovat myös yleistyneet viime vuosina ja niiden rinnalla LTO:n (=lämmöntalteenoton), HL:n (=hukkalämmön) ja LP:n (=lämpöpumpun) on arvioitu korvaavan pääosan jäljellä olevasta fossiilisista polttoaineista kuvan 11 mukaisesti. Vuonna 2023 sähkökattiloiden avulla tuotettiin lämpöä 710 GWh. [13.]



Kuva 11. Kaukolämmön tuotannon sähköistyminen [13].

Energiateollisuus arvioi, että vuonna 2030 sähkökattiloiden sekä niiden rinnalla toimivien LTO, HL, ja LP tuottaisi lämpöä noin 12 000 GWh. Sähkökattilat tuottavat sähköstä lämpöä, joka sidotaan vesisäilöön. Vesisäiliöstä pystytään purkamaan varastoitu lämpöenergia kaukolämpöverkkoon. [13; 21.]

Suomen kaukolämpöverkko on jo pitkälti rakennettu, ja se kattaa kaupungeissa sekä suuremmissa taajamissa käytännössä koko lämmitykseen taloudellisesti liitettävissä olevat alueet. Verkoston pituus oli vuonna 2021 noin 16 000 kilometriä, ja täydennysrakentamista tehdään vuosittain noin 250–500 km. Lisäksi vanhoja johtoja saneerataan vuosittain noin 50–70 km. Suomen kaukolämpöverkko on suhteellisen hyvässä kunnossa, sillä noin puolet rakennetuista johtoista on rakennettu viimeisen 25 vuoden aikana ja vanhimmat ovat 50–60 vuoden ikäisiä. Verkoston kuntoa sekä saneeraustarvetta seurataan muun muassa systemaattisella vika- ja käyttökeskeytysseurannalla sekä lämpökamerakuvauksilla. Uusimpien rakennettavien kaukolämpöjohtojen käyttöikä on noin 100 vuotta. [10.]

Suomen kaukolämpöverkossa on kuitenkin menossa siirtymävaihe, vaikka verkoston kunto on suhteellisen hyvässä kunnossa. Tavoitteena on alentaa tulevaisuudessa kaukolämpöverkon lämpötiloja, mikä parantaisi lämmön siirron ja jakelun hyötysuhdetta sekä samalla mahdollistaisi eri vaihtoehtoja

lämmönhankinnassa. Lisäksi yhteistuotantolaitokset pystyisivät tuottamaan enemmän sähköä, kun lämmöntarve verkostossa pienenesi. [9, s. 563; 11, s. 8–9.]

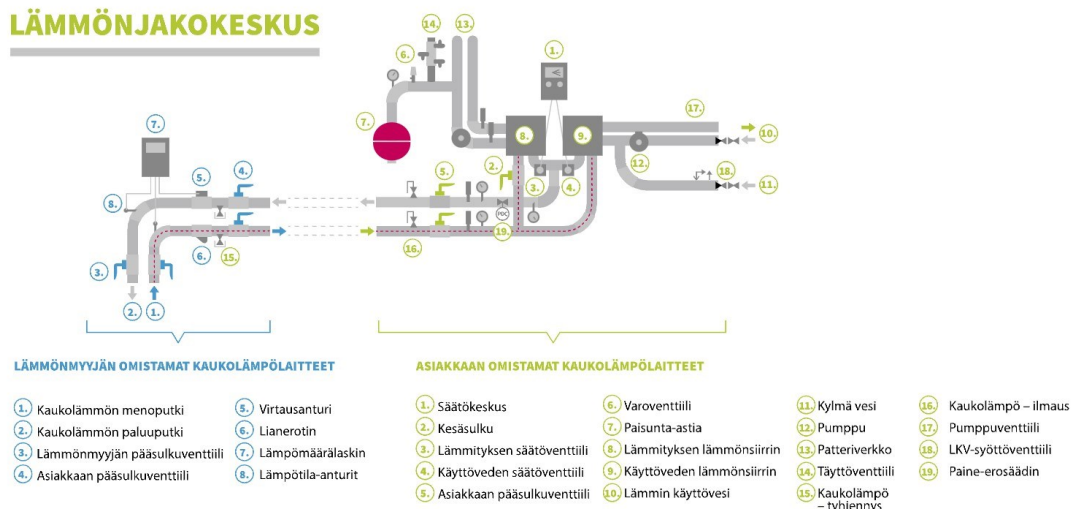
Uudisrakennuksen lämmitysjärjestelmissä on käytetty vuodesta 2022 lähtien uusia mitoitusarvoja, jotka alentavat kaukolämmön tuloveden lämpötilan vanhasta 115 °C:sta 90 °C:seen. Kaukolämmön tulolämpötila saattaa olla myös matalampi, ja LVI-suunnittelijan tulee tarkistaa mitoituslämpötilat lämmönmyyjältä. Uuteen lämpötilaan voidaan siirtyä, kun asiakkaiden lämmitysjärjestelmät on päivitetty ajan tasalle. Paluulämpötilan osalta tavoiteltu lämpötila on noin 30–35 °C, ja tulevaisuudessa olisi mahdollista hyödyntää paluuvettä kylmäkoneiden jäähdytyksessä. [9, s. 563; 11, s. 8–9.]

## **4 Lämmönjakohuone**

### **4.1 Yleistä**

Lämmönjakohuone toimii yleensä lämmönluovutuspaikkana, jossa lämmönmyyjä luovuttaa lämpöenergian asiakkaalle. Lämmönjakohuoneessa on asiakkaan sekä lämmönmyyjän omistamat kaukolämmityslaitteet, jotka ovat esitettynä kuvassa 12. Kaukolämpö johdetaan kiinteistön lämmönjakohuoneeseen liittymisjohtoa pitkin, josta kaukolämpövesi kulkeutuu kiinteistön lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimille. [22, s. 10, 18; 23.]

## LÄMMÖNJAKOKESKUS



Kuva 12. Lämmönjakuhuoneesta löytyvät kaukolämpölaitteet [23].

Lämmönjakokeskus on laitekokonaisuus, joka liitetään käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin sekä lämmönmyyjän mittauskeskukseen. Kuvassa 13 on esitetty lämmönjakokeskus, joka koostuu lämmönsiirtimistä, pumppauslaitteista, ensiöpuolen ja mahdollisesti toisiopuolen säätölaitteista, venttiileistä ja varusteista sekä tarvittavasta putkistoista. Pientalon lämmönjakokeskukseen kuuluu myös edellä esitettyjen lisäksi lämmitysverkoston paisuntasäiliö. [11, s. 2.]



Kuva 13. Lämmönjakokeskus [24].

Lämmönjakokeskuksessa on omat lämmönsiirtimet käyttövedelle, lämmitykselle sekä ilmanvaihdolle, joissa kaukolämpövesi luovuttaa lämpöä [25]. Lämmönsiirtimillä lämpö siirtyy talon omiin vesikiertojärjestelmiin, jota kutsutaan epäsuoraksi kytkennäksi. Epäsuoralla kytkennällä tarkoitetaan sitä, että kaukolämpövesi ei luovuta suoraan lämpöä lämmönkulutuskojeissa kuten ilmastokojeissa tai pattereissa. [9, s. 43.]

Asiakkaan kiinteistössä olevat kaukolämmityslaitteet voidaan jakaa ensiö- ja toisiopuoleen. Ensiöpuoleen kuuluu kaikki laitteet ja putkistot, joissa kaukolämpövesi virtaa tai joihin kaukolämpöverkoston paine vaikuttaa. Toisiopuoleen kuuluu puolestaan putkistot sekä laitteet, joissa asiakkaan lämmönsiirtimissä lämmitettävä vesi virtaa tai joihin sen paine on vaikutuksissa. [26.]

Mittauskeskuksen avulla mitataan lämmönjakokeskuksessa asiakkaan kaukolämpölaitteiden läpi kiertävän veden määrää sekä lasketaan kaukolämpöenergian kulutusta kiinteistössä. Mittauskeskuksen muodostavat lämpötila-anturit, virtausanturi sekä lämpömäärälaskin. [26.]

## 4.2 Lämmönjakokeskuksen käyttöikä ja sen uusinta

Tyypillinen käyttöikä lämmönjakokeskuksen laitteille on noin 20–25 vuotta, mutta monet sen osat kuten pumput ja säätölaitteet toimivat vuorokauden ympäri ja niiden elinikä saattaa jäädä lyhyemmäksi noin 10–15 vuoteen. Lämmönjakokeskuksen toimivuutta sekä kuntoa suositellaan seuraamaan säännöllisesti, ja täydellistä katselmusta laitteille kehoitetaan yli 20 vuoden käyttöiän jälkeen. [27; 28.]

Lämmönjakokeskuksen osia ei kannata korjata jatkuvasti, ja on suositeltavaa uusida kokonaisuutena koko lämmönjakokeskus, jos laitteiden käyttöikä on yli 15 vuotta. Lämmönjakokeskuksen uusintaan kannattaa valmistautua jo hyvissä ajoin, jotta uusinta voidaan suorittaa ennakoivasti ja suunnitelmallisesti. Lämmönjakokeskuksen kuntotarkastuksia tekevät energia- ja kaukolämpöyritysten tarkastajat, lämpöurakoitsijat, LVI-suunnittelijat ja laitevalmistajat. [28; 29.]



Asiakkaalla on muutama vaihtoehto, jos lämmönjakolaitteiston uusinta tulee ajankohtaiseksi. Asiakas voi valita niin sanotun avaimet käteen -palvelun, jossa energiayhtiö suorittaa vanhan laitteiston purkamisen aina uuden laitteiston käyttöönottoon asti. Riippuen energiayhtiöstä asiakkaalla saattaa olla mahdollisuus investoida lämmönjakokeskus kiinteistön omaksi tai valita kuukausihintainen palvelu. Mikäli asiakas valitsee kuukausihintaisen palvelun, niin lämmönjakolaitteiston omistus sekä huolto ja ylläpito jää energiayhtiön vastuulle. Toisessa vaihtoehdossa kiinteistö omistaa laitteiston ja sen ylläpito sekä korjaus jää kiinteistön omalle vastuulle. [30; 31; 32.]

Asiakkaalla on myös mahdollisuus uusaa lämmönjakokeskus kertaluontoisena investointina, jossa omistus sekä huolto- ja ylläpitovastuu jää asiakkaalle. Riippuen rakennustyypistä kertaluontoinen investointi maksoi kirjoitushetkellä pientalolle 6 000–8 000 €, rivitalolle, 10 000–15 000 € ja kerrostalolle 15 000–25 000 €. Asiakas itse valitsee energiayhtiön yhteistyökumppaneista lämpöuraakoitsijan, joka suorittaa lämmönjakolaitteiston uusinnan. Esimerkiksi Vantaan Energian verkkosivuilta löytyy lista näistä yhteistyösopimuksen solmineista ja kiinteistön kaukolämpöyönjohtajan (KKL) pätevyuden saaneista lämpöuraakoitsijoista. Lisäksi on suositeltavaa, että asiakas kilpailuttaa tarjoukset vähintään viiden yhteistyösopimuksen solmineen lämpöuraakoitsijan kesken, jotta asiakas saa parhaan mahdollisen tarjouksen. [27; 30; 31; 32.]

Lämmityslaitteiston uusinnan yhteydessä rakennukselle tehdään lämmöntarpeen selvitys sekä lämmönjakokeskus mitoitetaan tarpeenmukaisesti. Näin saadaan selville kiinteistön nykyaikainen lämmitystehontarve, jonka avulla vältetään laitteiden ylimitoitukselta ja samalla turhilta kustannuksilta. Mitoituksen tarkoituksena on käyttää mahdollisimman matalaa lämpötilaa rakennuksen sisäisessä lämmitysverkossa. Turhan korkeat lämpötilat johtavat useasti epätasaisesti toimivaan lämmönjakoon sekä energiahukkaan. Uudet lämmönjakolaitteet säästävät rahaa energialaskuissa, kun ne toimivat mahdollisimman tehokkaasti, ja täten energiakulutus sekä tehontarve jää mahdollisimman pieneksi. [29.]

### 4.3 Lämmönsiirtimet ja niiden toimintaperiaate

Lämmönsiirtimiä hyödynnetään lämmönsiirrossa kahden nesteen välillä, kun halutaan lämmittää tai jäähdyttää toista nestevirtaamaa. Lämmönsiirrin eli lämmönvaihdin on tärkeä komponentti kaukolämmityksessä, kun halutaan siirtää kaukolämmön lämpöenergiaa talon omiin kiertopiireihin. Lämmönjakokeskuksessa on yleensä ainakin kaksi lämmönsiirrintä, joista toinen on käyttövedelle ja toinen lämmitykselle. Lämmönsiirtimet mitoitetaan erikseen omille lämmityspiireilleen, ja niille lasketaan tarvittavat mitoitustehot. Lämmönsiirtimen tehon laskennassa voidaan hyödyntää kaavoja 1–4. [22, s. 19, 68; 33.]

Lämmönsiirtimien tehon laskenta:

$$\phi = kA LMTD = m' c_p (T_m - T_p) \quad (1)$$

$k$  on siirtimen lämmönsiirtoluku ( $\text{W}/\text{m}^2, \text{K}$ ) tai ( $\text{W}/\text{m}^2, ^\circ\text{C}$ )

$A$  on lämmönsiirtopinta-ala ( $\text{m}^2$ )

$LMTD$  on logaritminen lämpötilaero siirtimen yli

$m'$  on ensiöpuolen veden massavirta ( $\text{kg}/\text{s}$ )

$c_p$  on veden lämpökapasiteetti ( $\text{J}/\text{kg } ^\circ\text{C}$ )

$T_m$  on ensiöpuolen menoveden lämpötila ( $^\circ\text{C}$  tai  $\text{K}$ )

$T_p$  on ensiöpuolen paluuveden lämpötila ( $^\circ\text{C}$  tai  $\text{K}$ ).

Logaritminen lämpötila  $LMTD$ :

$$LMTD = \frac{(T_m - T_{pm}) - (T_p - T_{pp})}{\ln\left(\frac{T_m - T_{pm}}{T_p - T_{pp}}\right)} \quad (2)$$

$T_m$  on ensiöpuolen menoveden lämpötila ( $^\circ\text{C}$  tai  $\text{K}$ )

$T_p$  on ensiöpuolen paluueden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$  tai K)

$T_{pm}$  on toisiopuolen menoveden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$  tai K)

$T_{pp}$  on toisiopuolen paluueden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$  tai K).

Siirtimen lämpötilahyötysuhde:

$$\eta = \frac{T_m - T_p}{T_m - T_{pp}} \quad (3)$$

$T_m$  on ensiöpuolen menoveden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$  tai K)

$T_p$  on ensiöpuolen paluueden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$  tai K)

$T_{pp}$  on toisiopuolen paluueden lämpötila ( $^{\circ}\text{C}$  tai K).

Lämmönsiirtoluku  $k$  voidaan määrittää puhtaalle siirtimelle yhtälöstä:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_p} + \frac{1}{\alpha_s} + \frac{s}{\lambda}} \quad (4)$$

$\alpha_p$  on ensiöpuolen lämmönsiirtokerroin ( $\text{W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$ )

$\alpha_s$  on toisiopuolen lämmönsiirtokerroin ( $\text{W}/\text{m}^2, ^{\circ}\text{C}$ )

$s$  on levynpaksuus (m)

$\lambda$  on levyn lämmönjohtuvuus ( $\text{W}/\text{m}, ^{\circ}\text{C}$ ).

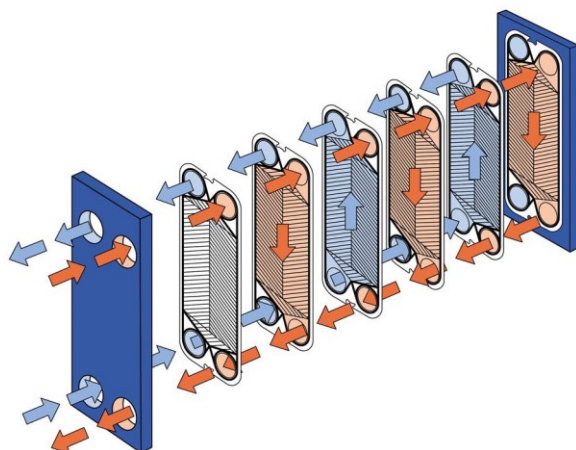
Nykyaikaisessa lämmönjakokeskuksessa yleisimmäksi lämmönsiirtimeksi on muodostunut juotetut levylämmönsiirtimet, joka on esitetty kuvassa 14. Lämmönsiirintyyppin etuina ovat kestävyys, suuri tehoalue kokoon verrattuna sekä niiden keveys. Lämmönsiirtopinnat on valmistettu tässä siirintyyppissä ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä. Juotetut levylämmönsiirtimet muodostuvat lämmönsiirtopinnoista ja puhtaasta kuparilevyistä, joiden määrään

vaikuttaa tarvittava lämpöteho sekä mitoituslämpötilat. Levypakassa on vuorotellen lämmityspinta ja kuparilevy, jotka ovat samalla kuviolla tehtyjä. Lämmönsiirtimen valmistusvaiheessa kupari sulatetaan lämmönsiirtopintojen väliin, jossa se hakeutuu lämmönsiirtopintojen yhteyskohtiin muodostaen lukemattomia juotospisteitä. Juotospisteet pitävät sisäisesti siirintä kasassa sekä samalla ne muodostavat virtauskanavat. Juotoksen jälkeen levypakkaa ei voi enää avata eikä yleensä korjata. [22, s. 70.]



Kuva 14. Vasemmalla levypakka avattuna ja oikealla kovajuotettu levylämmönsiirrin [34; 35].

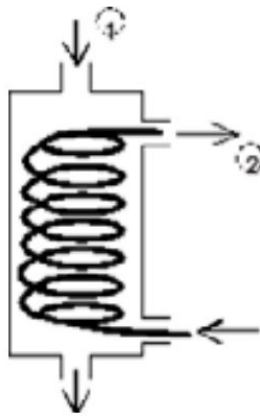
Vanhemmissa lämmönjakokeskuksissa on kuitenkin kytkettynä erilaisia lämmönsiirtimiä, jotka eroavat toisistaan lämpöteknisesti sekä ulkonäöllisesti. Lämmönsiirtimet toimivat kuitenkin yleensä vastavirtaperiaatteella, jossa vesivirrat kulkevat toisiaan vastaan, riippumatta siitä minkälainen materiaali tai lämmönsiirintyyppi on kyseessä. Kuvassa 15 on esitetty vastavirtaperiaatteella toimiva levylämmönsiirrin. [22, s. 68–69.]



Kuva 15. Tiivisteellinen levylämmönsiirrin [36, s. 90].

Yläpuolella olevassa kuvassa 15 näkyy tiivisteellisen levylämmönsiirtimen toimintaperiaate, jossa punainen väri kuvastaa jäähtyvää virtausta ja sininen lämpivää virtausta. Tiivisteellisen levylämmönsiirrin toimintaperiaate on hyvin samanlainen, kuin juotetun levylämmönsiirtimen sillä erolla, että juotetussa siirtimessä ei ole tiivisteuria (kuvassa 15 esitetty mustalla) eikä päätylevyjä, jotka kiristävät levypakan yhdessä kiristystankojen kanssa. Tiivisteellisen levylämmönsiirtimen virtauskanavat ovat myös suurempia levyissä, mikä johtaa suurempaan lämmönsiirtotehoon. Tiivisteellisiä levylämmönsiirtimiä käytetään poikkeustapauksissa pelkästään teollisuuslaitoksilla, sillä tiivisteiden elastisuus heikkenee suhteellisen nopeasti ja niitä joudutaan vaihtamaan säännöllisesti. [22, s. 70–71; 36, s. 90–91.]

Kierukkalämmönsiirtimiä on vielä laajalti käytössä kaukolämpöasiakkailla, mutta tämän lämmönsiirrintyyppin toimitus on melkein kokonaan loppunut, kun juotetut levylämmönsiirtimet tulivat markkinoille. Kierukkalämmönsiirtimien kierukka on tyypillisesti valmistettu kuparista, jonka ympärillä on teräsputki. Rajoittavana tekijänä kupariputkissa on eroosiokorroosio, joka aiheutuu liian suurista virtausnopeuksista. Kupariputkissa kriittinen virtausnopeus on 1 m/s, jonka ylittäminen aiheuttaa putkistossa paljaita teräväreunaisia syöpymiskohtia [37, s. 6]. Kuvassa 16 on esitetty kuparikierukkalämmönsiirtimen toimintaperiaate. [22, s. 72.]



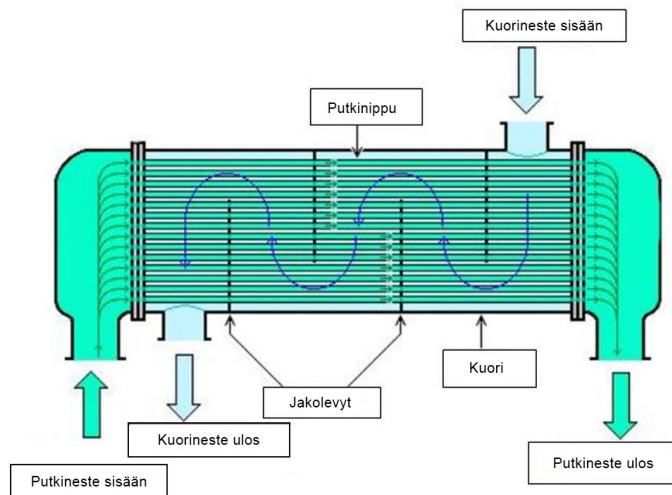
- 1 Ensio tulo (kaukolämpö tulo)
- 2 Toisio meno (lämmin käyttövesi)

- Käyttöveden kierukkalämmönsiirtimessä käyttövesi virtaa kupariputkessa ja kaukolämpövesi vaipan puolella.
- Lämpöjohtoverkoston kierukkalämmönsiirtimessä lämpöjohtovesi virtaa vaippapuolella ja kaukolämpövesi kierukassa.



Kuva 16. Kuparikierukkalämmönsiirrin [22, s. 72].

Suoraputkisiirtimet ovat myös poistuneet lähes kokonaan asiakkaiden käytöstä, eikä niitä enää asenneta kaukolämmityskäyttöön. Suoraputkisiirtimien huonoina puolina on niiden suuri tilantarve, paino sekä heikko kaukolämmön jäähdytyskyky verrattuna muihin edellä mainittuihin lämmönsiirtimiin. Alla olevassa kuvassa 17 on esitetty suoraputkisiirtimen toimintaperiaate. [22, s. 72.]

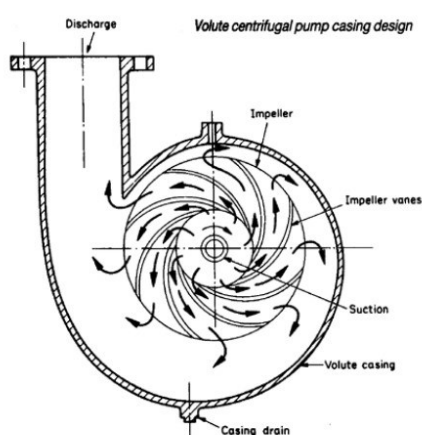


Kuva 17. Suoraputkisiirtimen toimintaperiaate [22, s. 72].

Suoraputkisiirtimet olivat suosiossa 1960- ja 1970-luvuilla, mutta niiden rinnalle on tullut paljon parempia lämmönsiirinvaihtoehtoja, kuten juotetut levylämmönsiirtimet. [22, s. 72.]

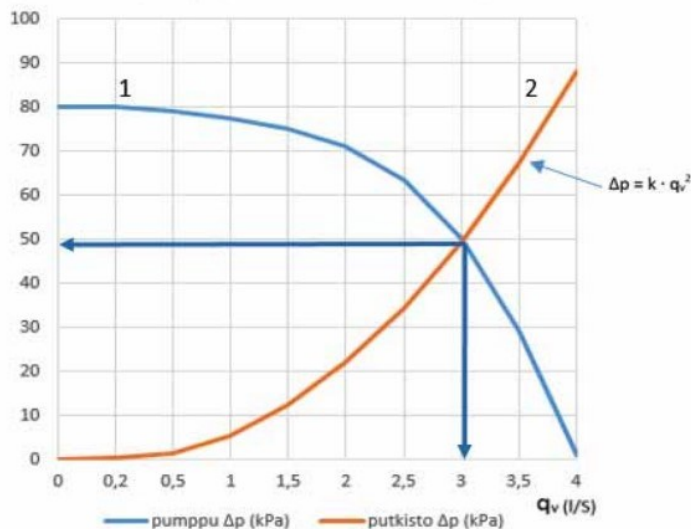
#### 4.4 Pumput ja niiden valinta

Kiertovesipumppuja hyödynnetään nestevirtojen siirtämiseen, niin käyttöveden kiertojohdossa kuin lämmityspiireissä, joiden avulla saavutetaan tarvittava virtaama sekä nostokorkeus. Kaukolämpökäyttöön tarkoitettut pumput ovat yleensä keskipakopumppuja, joiden pyörimisnopeus tulisi olla maksimissaan 1500 r/min, koska pyörimisnopeuden ylittyminen voi johtaa sallitun melutason ylittymiseen rakennuksessa. Kuvassa 18 on tyypillisen keskipakopumpun rakenne esitettynä. [22, s. 77.]



Kuva 18. Keskipakopumpun rakennekuva [38].

Pumpun mitoitusta ja valintaa varten tarvitaan kyseisen lämmityspiirin mitoitusvirtaama sekä kiertopiirin kokonaispainehäviö vaikeimman lämmityksen mukaan. Vaikeimmalla lämmityksellä tarkoitetaan putkistoa, johon vaikuttaa suurimmat kertavastusten aiheuttamat painehäviöt ja kitkapainehäviöt. Kertavastuksia ovat muun muassa putkistokäyrät, venttiilit ja lianerottimet. Valitulla pumpulla tulee saavuttaa tarvittava nostokorkeus kyseisellä virtauksella, mikä on saatu mitoituslaskelmista. Pumpun valinnassa voidaan hyödyntää mitoitusohjelmaa tai käyrästäjä, mutta sen toimintapiste tulee olla hyötysuhteen osalta käyrästäjän korkeimmalla kohdalla. Oikeanlaisella mitoituksella ja pumppuvalinnoilla lämmitysjärjestelmät toimivat moitteettomasti. Kuvassa 19 on esitetty pumpun ominaiskäyrä, josta saadaan selville tarvittava nostokorkeus sekä virtaama. [22, s. 77, 93.]



Kuva 19. Pumpun ja putkiston ominaiskäyrä [22, s. 78].

Yläpuolella olevassa kuvassa 19 y-akselilla saavutetaan pumpun nostokorkeus (m, kPa, bar) ja x-akselilla lämmitysjärjestelmän vesivirta  $\text{dm}^3/\text{s}$ . Sininen (numero 1) käyrä kuvastaa pumpun ominaiskäyrää. Putkiston ominaiskäyrä oranssi (numero 2) kuvaa vaikeimman piirin virtauksia vesivirran funktiona. Kun ominaiskäyrät ja toimintapiste (ominaiskäyrien leikkauspiste) on selvillä, voidaan valita sopiva pumppu käyttökohteeseen. [22, s. 77–78; 39.]

#### 4.5 Lämpimän käyttöveden kiertajohto

Lämpimän käyttöveden kiertajohto eli LVK on järjestelmä, jossa lämmin käyttövesi kiertää jatkuvasti, ja sen avulla varmistetaan jatkuva lämpimän käyttöveden saatavuus koko kiinteistössä. LVK-järjestelmän tarkoituksena on ylläpitää tasalämpöistä lämpimän käyttöveden lämpötilaa sekä samalla lyhentää veden saannin odotusaikaa eri vesikalusteilla kiinteistössä. [11, s. 15, 36; 40.]

Uudisrakennuksissa ylläpidetään vähintään  $55\text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilaa koko käyttöveden järjestelmässä, mutta kuitenkin maksimissaan  $65\text{ }^\circ\text{C}$ :n lämpötilaa, jonka avulla ehkäistään legionellabakteerien kasvua putkistoissa [41]. Vanhojen rakennusten osalta hyväksytään kuitenkin  $50\text{ }^\circ\text{C}$ :n paluulämpötila lämmönsiirtimelle, jos se liitetään kaukolämpöön tai lämmönjakokeskuksen uusinnassa

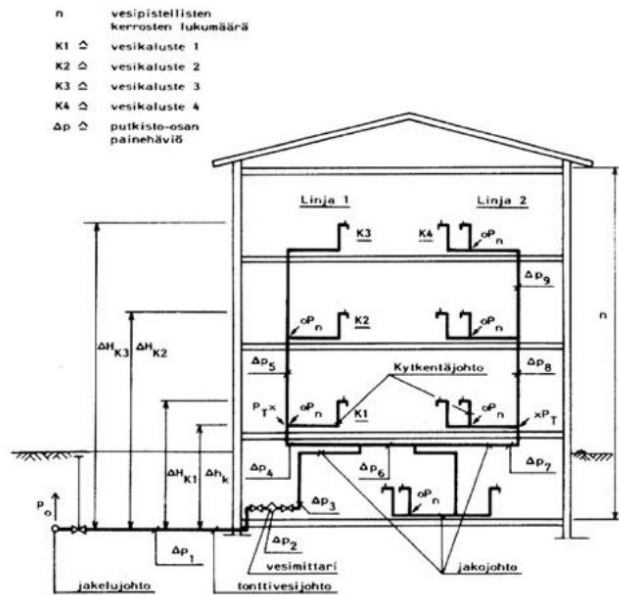


käyttövedenjärjestelmää ei uusita. Vanhoissa rakennuksissa tulee kuitenkin olla korkeampi paluulämpötila, jos se on lämpöteknisesti mahdollista toteuttaa. Tästä syystä lämmönjakokeskuksen käyttöveden lämmönsiirtimet mitoitetaan nykyään siten, että kylmä vesi lämmitetään 10 °C:sta vähintään 58 °C:seen, jotta käyttövesijärjestelmässä saavutetaan yli 55 °C:n lämpötila. Tyypillisimmät putkimateriaalit käyttövesiverkostossa ovat kupari, ruostumaton teräs sekä muoviset putket PP, PE-X, PE ja monikerrospotket eli komposiittiputket. [11, s. 9, 23, 59–60; 40.]

#### 4.6 LVK-mitoitus

LVK-mitoituksen perustana on verkostossa tapahtuvat lämmönluovutukset, jotka lasketaan kiertojohdolle sekä menojohdolle. Lämmönluovutuksiin vaikuttaa putkiston lämpöhäviöt ja vanhemmissa kiinteistöissä kiertojohtoon mahdollisesti liitetyt lämmönluovuttimet. Uudisrakennuksen lämpimän käyttöveden kiertojohdossa ei saa kuitenkaan olla liitettynä lämmönluovuttimia eikä lattialämmitystä. Lämpöhäviöiden kautta eri osuuksille voidaan määrittää vesivirrat ja valitaan sopivat putkikoot. Vesivirtojen avulla voidaan myös määrittää pumppu, jonka ominaiskäyrä vesimäärän kasvaessa on mahdollisimman jyrkästi laskeva. [11, s. 9, 59–60; 40.]

Käyttövesiverkoston mitoituksessa suunnittelijat hyödyntävät Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D1 liitettä 2, joka toimii suunnittelijoiden mitoitusohjeena. Mitoitusohjeesta löytyy kuvan 20 mukainen kuva, jota tarvitaan mitoituslaskentaa suorittaessa. Mitoituksessa on myös tärkeää huomioida eri putkimateriaalien aiheuttamat rajoitteet sekä esimerkiksi kytkentäjohtojen maksimipituuudet. Kupariputkissa rajoitteena on maksivirtausnopeus 1 m/s, jota ei tulisi ylittää, ja putkessa tulisi käyttää mitoituksessa virtausnopeutta 0,5 m/s. [11, s. 9, 59–60; 40; 42.]



Kuva 20. Vesijohtojen sijoitus rakennuksessa [42].

Mitoituksessa selvitetään vesipisteiden määrä sekä niille valitaan mitoitusohjeen taulukosta sopiva normivirtaama. Normivirtaamat summataan yhteen ja niiden pohjalta määritetään kullekin jakojohdo-osuudelle omat putkikoot, siten että mitoitusvirtaamalla virtausnopeus olisi enintään 2 m/s. Jakojohdon mitoitusvirtaamassa laskenta suoritetaan vaikeimman normivirtaaman kautta eli kaukaisin vesipiste, johon vaikuttaa suurimmat painehäviöt. Virtaaman tulisi olla vesipisteellä vähintään 70 %, mutta kuitenkin maksimissaan 150 % vaikeimmasta normivirtaamasta. Vesikalusteen kytkentäjohtoille valitaan myös mitoitusohjeen taulukosta sopivat normivirtaamat, ja valitaan sopivat putkikoot sekä mitoitusvirtaamat niiden pohjalta. Kytkentäjohtoissa putken pituudet sekä virtausnopeudet aiheuttavat paineiskuja, minkä takia eri putkimateriaaleille on maksimipituudet sekä virtaamat. Tyypillinen virtausnopeus on maksimissaan 3 m/s kytkentäjohtoissa. Painehäviöt kytkentäjohtoille saadaan laskettua, kun tiedetään käytettävät putkimateriaalit ja niiden putkikoot sekä mitoitusvirtaamat. [42.]

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöiden laskennassa voidaan käyttää kaavoja 5–7 [43, s. 45].

$$Q_{lvk,kierto} = (\rho_{lvk,kiertohäviö} L_{lvk} + \rho_{lvk,lämmitys} n_{lämmityslaite}) \frac{t_{lvk,pumppu}^{365}}{1000} \quad (5)$$

$Q_{lvk,kierto}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviö (kWh)

$\rho_{lvk,kiertohäviö}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteho (W/m)

$L_{lvk}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pituus (m)

$\rho_{lvk,lämmitys}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden ominaisteho (W/kpl)

$n_{lämmityslaite}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohtoon kytkettyjen lämmityslaitteiden lukumäärä (kpl)

$t_{lvk,pumppu}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohdon pumpun käyttöaika (h/vrk)

Edellä olevasta kaavasta saadaan muokattua.

$$P_{lvk,kierto} \frac{t_{lvk,pumppu}^{365}}{1000} = \quad (6)$$

$$\left( \rho_{lvk,kiertohäviö} L_{lvk} + \rho_{lvk,lämmitys} n_{lämmityslaite} \right) \frac{t_{lvk,pumppu}^{365}}{1000}$$

$$P_{lvk,kierto} = \rho_{lvk,kiertohäviö} L_{lvk} + \rho_{lvk,lämmitys} n_{lämmityslaite} \quad (7)$$

Lämpimän käyttöveden kiertojohdon mitoitusvirtaaman voidaan laskea, kun tunnetaan lämpöhäviöt sekä jakojohdo-osuuksien virtaamat. Lämpimän käyttöveden kierron virtaaman voidaan laskea kaavoilla 8–9. [42; 43, s. 70.]

$$\Phi_{lvk,kiertohäviö} = \rho_v c_{pv} q_{v,lvk,kierto} (T_{lvk} - T_{lvk,kierto\ paluu}) \quad (8)$$

$\Phi_{lvk,kiertohäviö}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohdon lämpöhäviöt (kW)

$\rho_v$  on veden tiheys (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$c_{pv}$  on veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kg K)

$q_{v,lvk,kierto}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohdon mitoitusvirta ( $m^3/s$ )

$T_{lvk}$  on lämpimän käyttöveden lämpötila ( $^{\circ}C$ )

$T_{lvk,kierto\ paluu}$  on lämpimän käyttöveden kiertojohdon paluuveden lämpötila ( $^{\circ}C$ ).

Kaavasta saadaan johdettua lämpimän käyttöveden kiertojohdon mitoitusvir-  
taama:

$$q_{v,lvk,kierto} = \frac{\Phi_{lvk,kiertohäviö}}{\rho_v c_{pv} (T_{lvk} - T_{lvk,kierto\ paluu})} \quad (9)$$

Kiertovesiputkien mitoituksessa tulee huomioida myös putkistoissa tapahtuvat lämpöhäviöt, joita pyritään minimoimaan eristämällä putket vähintään  $1\ m^2K/W$ :n lämpövastuksella. Tarvittava eristekerroksen paksuus putkien ympärillä saadaan aikaiseksi noin 50 mm:n kerroksella, jonka lämmön johtavuus on maksimissaan  $0,05\ W/(m^{\circ}K)$ . Tyypillisesti eristemateriaalina käytetään alumiinilaminaatilla päällystettyä kivivillakourua, jonka ympärillä on suojaava muovikuori. Suunnittelijan tehtävänä on kuitenkin määritellä rakennukseen sopiva eristemateriaali ja sen paksuus, siten että ne täyttävät vähimmäisvaatimukset [44]. [11, s. 59–60.]

## 5 TA-SCOPE osana tarkastustoimintaa

### 5.1 Yleistä

Kaukolämmön tarkastustoiminnan tavoitteena on varmistaa, että kaukolämpöasiakkaalle tarjotaan korkealaatuinen sekä turvallinen lämmitysjärjestelmä. Tavoitteena on myös toteuttaa tehokas kaukolämpöverkko, jossa kaukolämmön meno- ja paluuveden välinen jäähtymä olisi mahdollisimman suuri. [11, s. 13, 44.]

Tarkastustoiminnassa suoritetaan laadunvalvontaa, jossa varmistetaan, että asennettavat kaukolämpölaitteet vastaavat LVI-suunnittelijan laatimia piirustuksia ja että ne on asennettu asianmukaisesti. Kaukolämpölaitteet asennetaan

sekä suunnitellaan ”Rakennusten kaukolämmitys, määräyksen ja ohjeet K1/2021” mukaisesti sekä noudattaen erityisesti lämmönmyyjän omia ohjeistuksia. K1 toimii määräys- ja ohjekokoelmana kaikille kaukolämmön suunnittelijoille ja lämpöurakoitsijoille sekä tarkastajille, jotka toimivat vesikaukolämpöön liitettävän tai liitetyn rakennuksen parissa. Tällä hetkellä on hyvin vähän viranomais-ten ohjeistuksia ja lainsäädäntöä rakennusten lämmityksen tekniselle toteutukselle, ja K1:n tarkoituksena on luoda yhteiset pelisäännöt kaikille toimialalla toimiville tahoille. Yhtenäiset vaatimukset varusteille ja laitteiden toiminnalle helpottavat suunnittelijan sekä urakoitsijan työtä. Samalla yhtenäiset vaatimukset mahdollistavat kustannustehokkaan valmistuksen tehdasvalmisteisissa lämmönjakokeskuksissa. [11, s. 44–49; 45; 46.]

## 5.2 Kaukolämmöntarkastukset

Kaukolämmön tarkastustoiminta voidaan jakaa kaukolämmityssuunnitelmien tarkastamiseen sekä käyttöönotto- ja lopputarkastuksiin. Riippuen rakennuksesta kyseessä voi olla joko uudiskohde tai saneeraus, mutta rakennuksella tulee olla joka tapauksessa kaukolämmityssuunnitelma, joka on osa rakennuksen LVI-suunnitelmaa. [11, s. 44–49; 45; 46.]

LVI-suunnittelijan tehtävänä on täydentää kaukolämmityssuunnitelmasta seuraavat tiedot:

- asemapiirros
- laitteiden ja putkien sijoituskuva sekä huoltoreitti
- lämmitystekniset tiedot -taulukko
- laitteiden mitoitus tiedot
- kytkennät
- lämmityspiirien toiminta-arvot
- säätö- ja ohjausprosessien toimintakuvaukset. [11, s. 44–45.]

Rakentamisprosessin edetessä laitetoimittaja, lämpöurakoitsija sekä säätöurakoitsija tekevät lisäyksiä ja tarkennuksia kaukolämmityssuunnitelmaan. Uudiskohteissa LVI-suunnittelija lähettää lämmönmyyjän tarkastajalle suunnitelmat,

joissa ilmenee kaukolämpöön liitettävän rakennuksen lämmitystekniset mitoitus-tiedot sekä asennussuunnitelmat siltä osin kuin ne liittyvät kaukolämpölaitteiden valintaan tai asennukseen. Tarkastaja huolehtii siitä, että suunnitelmat on laadittu K1:n ja lämmönmyyjän ohjeistuksien mukaisesti. Tarkastaja puuttuu mahdollisiin puutteisiin, jolloin suunnitelmat lähetetään takaisin LVI-suunnittelijalle korjattavaksi. Puutteita voi olla esimerkiksi väärin laadittu kytkentäkaavio ja väärät lämpötilat käyttöveden tai lämmityksen piireissä. Kun suunnitelmat on hyväksytty, lämpöurakoitsija voi valita rakennukseen sopivat kaukolämpölaitteet mitoitusien pohjalta. Kun laitetiedot ovat selvillä, niin lämpöurakoitsija voi lisätä laitetiedot kaukolämpösuunnitelmaan ja lähettää uudet kuvat tarkastettavaksi. Mikäli muita muutoksia ei ole tehty, tarkastaja voi hyväksyä kuvat, jolloin lämpöurakoitsija voi tilata tarvittavat kaukolämpölaitteet rakennukseen. [11, s. 44–45; 44; 46; 47.]

Uudiskohteessa edetään taulukon 1 mukaisesti laitteiden asennuksesta aina lopputarkastukseen saakka. Lämmönmyyjä voi ulkoistaa tarkastustoimintaa halutessaan, mutta esimerkiksi Vantaan Energia tekee itse suunnitelmien tarkastamisen sekä käyttöönotto- ja lopputarkastukset. [11, s. 46; 45; 46.]

Taulukko 1. Kaukolämpölaitteiden käyttöönottoprosessi [11, s. 46].

Toimenpide	Dokumentit	Toteuttaja
Laitteiden asennus ja toimintatarkastus		Lämpöurakoitsija
Laitteiden käyttöönotto, käyttöönottotarkastus	Asennusvalvonta-pöytäkirja	Lämmönmyyjä, auktorisoitu lämpöurakoitsija tai muu palveluntarjoaja
Lämmöntoimituksen aloitus	Aloituseroilmoitus	Lämmönmyyjä
Säätölaitteiden viritys ja säätölaitteiden toimintakoe	Virityspöytäkirja	Laitetoimittaja (valtuutettu säätölaitteurakoitsija)
Loppukäyttäjän koulutus		Lämpöurakoitsija
Laiteasennusten valmistuminen, toimintakoe, lopputarkastus	Valmistumispöytäkirja	Lämmönmyyjä, auktorisoitu lämpöurakoitsija tai muu palveluntarjoaja

Tarkastaja katsoo käyttöönotto- ja lopputarkastuksessa taulukon 2 mukaisesti siihen kuuluvat osat ja tarkistaa, että niissä ei ole puutteita. Tarkastus saatetaan joutua suorittamaan uudelleen myöhempänä ajankohtana, jos puutteita löytyy tarkastuksien aikana. Tarkastuksista laaditaan aina käyttöönotto- tai lopputarkastuspöytäkirja, jossa ilmenee mahdolliset puutteet ja muut huomautukset. Kun tarkastukset ja muut tarvittavat kokeet on suoritettu hyväksytysti, kuten toimintakoe, ja lämpöurakoitsija on valmis luovuttamaan laitteet, dokumentit jäävät asiakkaan haltuun. Pöytäkirjat osoittavat, että kaukolämpölaitteille on suoritettu vaaditut tarkastukset sekä lopputarkastuksen jälkeen laitteet ovat toimintavalmiita, ja että ne täyttävät kaikki vähimmäisvaatimukset. [11, s. 46–49.]

Taulukko 2. Käyttöönotto- ja lopputarkastuksen tarkistuslista kaukolämpötarkastajalle [11, s. 46–48].

<b>Käyttöönottotarkastus</b>	<b>Lopputarkastus</b>
Liitosten tiiviystarkastus	Asennusvalvontapöytäkirjassa mainittujen virheiden ja puutteiden korjaukset
Sijoitus- ja huoltotilat	Käyttö- ja huoltotilat
Lämmönsiirtimet (kilpiarvot)	Siirtimien toiminta
CE-merkki ja vaatimustenmukaisuusvakuutus	Säätölaitteiden toiminta
Säätöventtiilit (kilpiarvot)	Paine- ja lämpömittarit sekä hälytykset
Kytkenä, ensiö ja toisio	Lämmöneristykset
Paisunta- ja varolaitteet	Laitteiden ja putkien merkintä
Venttiilit yms. varusteet ja niiden liitokset	Laitoksen toimintakaavio (laitetilassa)
Ilmanpoistot ja tyhjennykset	Käyttö- ja huolto-ohjeet (laitetilassa)
Paine- ja lämpömittarit	Säätö- ja virityspöytäkirjat
Säätölaitteet ja lämpötila-anturit	Lämmitys- ja ilmanvaihtokoneiden toiminta
Putkikoot ja materiaalit	Laitetilan ilmanvaihto, viemärointi ja vesipiste
Laitteiden ja putkien tuenta	Laitetilan valaistus ja viestiyhteydet
Lämpölaajenemisen huomiointi	Huoltoreitti laitetilaan
Pumppauslaitteet	Käytön opastus
Lämmitys- ja ilmanvaihtokoneet	
Lämpöenergiamittarin sähkösyöttö	

Saneerauskohteissa voidaan käyttää vanhoja kaukolämmityssuunnitelmia apuna mitoituksessa, mikäli esimerkiksi yksi lämmönsiirrinpaketti vaihdetaan uuteen. Saneerauskohteille ei suoriteta ennakkotarkastusta vaan pelkästään lopputarkastus taulukon 2 mukaisesti, ja lopputarkastuksen yhteydessä



suoritetaan myös toimintakoe, jolla varmistetaan uuden laitteiston toimivuus. Tarkastuksesta laaditaan tarvittavat dokumentit, jotka luovutetaan myöhemmin asiakkaalle taltiointia varten. [11, s. 43; 27; 45.]

### 5.3 Virtausten ja paine-erojen mittalaite

TA-SCOPE on monipuolinen mittaus- ja säätölaite, joka on esitelty kuvassa 21. Sen avulla saadaan mitattua lämmitys- ja jäädytysverkostojen virtaamia, lämpötiloja, paine-eroja sekä tehoja. Mittalaite soveltuu etenkin verkostojen tasapainotukseen, vianetsintään, pumpun nostokorkeuden optimointiin sekä helposti suoritettaviin mittauksiin eri puolella verkostoja. Saatuja mittauksia pystytään dokumentoimaan laitteeseen ja katsomaan näyttöyksiköstä tai vaihtoehtoisesti siirtämään tarvittaessa myös tietokoneelle, jossa niitä voidaan analysoida tarkemmin. [48.]



Kuva 21. TA-SCOPE:n kantokassu vasemmalla, keskellä näyttöyksikkö, oikealla Dps-Visio [48].

TA-SCOPE koostuu yläpuolella olevista mittauslaite- ja mittausvarusteista, joiden avulla pystytään suorittamaan tarvittavat mittaukset. Dps-Visio on paineeroanturiyksikkö, jonka avulla mitataan painetta venttiilin mittayhteistä ennen ja

jälkeen venttiilin kuristuksen. Virtausmittauksessa Dps-Visio liitetään mitattavaan venttiiliin, ja syötetään venttiilin esisäätoarvo näyttöyksikköön, jota vastaavat kv-arvot on ohjelmoitu mittariin. Kv-arvo on virtausvakio, joka ilmaisee saavutettavissa olevaa virtausta venttiilin läpi, ja Dps-Visio laskee virtausmittauksessa paine-eron ja kv-arvon perusteella virtaaman venttiilille [49]. Virtausmittauksia voidaan suorittaa kaikille väliaineille eri lämpötila-alueilla sekä virtaamalla, kunhan kinemaattinen viskositeetti otetaan huomioon laskennassa. [48; 50.]

#### 5.4 Virtauksen laskenta

Virtauksen laskentaa varten tarvitaan kv-arvo, paine-ero tulo- ja vastapaineen välillä sekä aineen tiheys [49]. Laskennassa voidaan hyödyntää kaavoja 10–11.

Nesteiden virtausvakioiden laskenta:

$$kv = Q * \sqrt{\frac{1bar}{\Delta p} * \frac{p}{1000 \frac{kg}{m^3}}} \quad (10)$$

Q on tilavuusvirtaus (m<sup>3</sup>/h)

Δp on painehäviö (bar)

p on nesteen tiheys (kg/m<sup>3</sup>).

Virtausnopeus nesteille:

$$Q = kv * \sqrt{\frac{1000 * \Delta p}{p}} \quad (11)$$

Q on tilavuusvirtaus (m<sup>3</sup>/h)

kv on virtausvakio (m<sup>3</sup>/h)

Δp on painehäviö (bar)

$\rho$  on tiheys ( $\text{kg/m}^3$ ).

## 5.5 Käytännön hyödyt

Kaukolämmön tarkastustoiminnassa TA-SCOPEa voidaan hyödyntää apuna, lopputarkastuksen yhteydessä ja siinä suoritettavan toimintakokeen aikana. Toimintakokeen aikana tarkistetaan muun muassa ensiö- ja toisiopuolen meno- ja paluulämpötilat. Lämpötilat tulevat lämpötila-antureilta säätölaittekeskukselle, josta tarkastaja voi katsoa lämpötilalukemia. [11, s. 46–50.]

Mikäli tarkastuksen aikana huomataan esimerkiksi, että lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpötila on uudiskohteessa alle  $55\text{ °C}$ , voidaan suorittaa tarkistusmittaus TA-SCOPElla kiertojohtoon. Mitattua lämpötilalukemaa voidaan verrata säätökeskuksen lukemiin sekä LVI-suunnittelijan laatimaan mitoitusarvoon, ja mitattua virtaamalukemaa voidaan verrata LVI-suunnittelijan mitoitusarvoon. Lisäksi saatuja lämpötilalukemia voidaan verrata virityspöytäkirjaan, jonka laatii säätölaitteurakoitsija. Säätölaitteurakoitsijan vastuulla on säätää ja virittää kaukolämpölaitteistot LVI-suunnittelijan mitoitustietojen mukaisesti. Näiden pohjalta voidaan tehdä alustava johtopäätelmä siitä, onko kyseessä esimerkiksi anturivika vai säätövirhe. [11, s. 46–50.]

Tulevaisuudessa TA-SCOPE toimii tarkastajan apuvälineenä, jota voidaan käyttää tilanteissa, jossa halutaan varmistaa virtaama, lämpötila tai paine toisiopuolen verkostosta. TA-SCOPE ei tule olemaan osana jokapäiväistä tarkastustoimintaa, sillä mittauksien suorittaminen verkostoihin ei kuulu tarkastajan tehtäviin. Lämpötilat saadaan varmistettua säätölaittekeskuksen näytöltä, mikä on tarkastustoiminnalle kiinnostavaa tietoa. Tarkastaja ei pysty varmistamaan toisiopuolen virtaamaa ilman erillistä mittausta verkostoon, ja tarkastajan pitää luottaa siihen, että säätöurakoitsija on suorittanut säädöt asianmukaisesti.

## 6 Asiakaskohteiden tarkastelu

### 6.1 Yleistä

Tässä luvussa tarkastellaan opinnäytetyössä tehtyjä virtausmittauksia lämpimän käyttöveden kiertojohdoille. Mittaukset suoritettiin TA-SCOPE:n avulla, ja tarkoituksena oli selvittää, vastaavatko mittaustulokset rakennuksen LVI-suunnittelijan esittämiä mitoitusarvoja. Mittaukset suoritettiin Vantaan Energian kaukolämpöasiakkaiden kohteissa, lopputarkastuksien yhteydessä. Lisäksi virtaama (l/s) muutettiin virtausnopeudeksi (m/s), jonka muunnoksessa käytettiin venttiilin nimellishalkaisijaa sekä verkosta löytyvää laskinta, ja tietoja hyödynnettiin taulukoissa 4 ja 5 [51].

### 6.2 Kaukolämpöasiakkaiden mittaustulokset

Asiakaskohteet on nimetty aakkoskirjaimin A–K, joista on esitettyä rakennustyyppi, lämmitystilavuus ja mahdollinen huoneistojen lukumäärä. Lisäksi kohteista on kerrottu rakennuksen tiedoissa, onko asiakaskohde uudisrakennus vai saneerauskohde, lukuun ottamatta kohdetta A, johon tehtiin tarkistuskäynti. Taulukossa 3 on esitetty asiakaskohteiden lähtötiedot ja taulukossa 4 on esitetty opinnäytetyössä saadut mittaustulokset. Mittaustuloksia tarkastellaan vielä tarkemmin luvussa 6.3.

Taulukko 3. Asiakaskohteiden lähtötiedot [44].

		Asiakaskohde										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Rakennuksen tiedot	Kerrostalo		x		x		x	x	x	x	x	x
	Rivitalo			x								
	Toimisto	x										
	Muuraken- nus					x						
	Uudis- raken- nus				x	x	x	x		x	x	x
	Sanee- raus		x	x					x			
	Lämmi- tystila- vuus (m <sup>3</sup> )	20 802	13 584	8 960	12 980	13 069	14 577	23 917	48 460	13 900	9 555	6 243
Huo- neisto- jen lu- ku- määrä		48	30	49		60	103	191		36	23	
Esisäästöarvo	Mitoi- tus vir- taama (l/s)	0,18	1,48	0,86	0,32	0,15	0,33	1,23	0,62	0,72	0,57	0,44
	Venttiili (STAD)	32	50	25	32	32	32	50	40	40	40	32
	Ventti- lin asento (kierr.)	0,9	4	4	2,3	1,5	1,9	3,1	2,5	3,2	2,5	2,5
	Neste (vesi)	x										

Taulukossa 4 mittaustulokset on jaettu ajanhetkille 1 ja 2, mistä on kerrottuna asiakaskohteen virtaama, virtausnopeus, paine ja prosenttiosuus mitoitusvirtaamasta. Lisäksi kahdesta kohteesta on esitetty lämpötilat.

Taulukko 4. Mittaustulokset [44, 51].

		Asiakaskohde										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Ajanhetkellä 1	Vir- taama (l/s)	0,2	1,04	0,53 9	0,44 9	0,15	0,22 5	1,11	0,47 8	0,69 3	0,56 4	0,37 9
	Prosent- tiosuus mitoitus virtaa- masta (%)	112	70	63	140	100	69	91	77	96	99	86
	Paine (Pa)	14 635	1 343	5 095	5 715	2 590	2 867	3 143	3 562	3 114	4 943	3 105
	Lämpö- tila				58,1			56,6				
	Virtaus- nopeus (m/s)	0,3	0,5	1,1	0,6	0,2	0,3	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5
Ajanhetkellä 2	Vir- taama (l/s)		1,46	0,79 4	0,44 6	0,15 1	0,08 8	1,16	0,48 6	0,72 1	0,55 7	0,37 4
	Prosent- tiosuus mitoitus virtaa- masta (%)		99	92	139	100	27	94	78	100	98	85
	Paine (Pa)		3 800	11 044	5 639	2 619	448	3 381	3 676	3 371	4 819	3 019
	Virtaus- nopeus (m/s)		0,7	1,6	0,6	0,2	0,1	0,6	0,4	0,6	0,4	0,5

### 6.3 Tulosten tarkastelu

Asiakaskohteissa alkuperäisten mitattujen virtaamien lukemat olivat kahdeksassa kohteessa alle mitoitusarvojen (B, C, F, G, I, J, K), ja kahdessa kohteessa yli mitoitusarvojen (A ja D) ja yhdessä kohteessa (E) oli tasan mitoitusarvon, ilman huojuntaa. Kohteissa (B) ja (C) lämpöurakoitsija teki uudet säädöt pumpun sekä linjasäätöventtiin avulla alkuperäisten mittausten jälkeen. Kohteissa päästiin huomattavasti parempiin tuloksiin, ja säädön jälkeen virtaamat olivat hyvin lähellä LVI-suunnittelijan asettamia mitoituksia.

TA-SCOPE:n näyttöyksiköstä voi tarkastella virtaaman suhdetta mitoitusarvoon, joka ilmaistaan näytöllä prosentiosuutena. Taulukossa 5 on esitetty kohteiden lopulliset mittaustulokset, jossa kohteet on jaettu eri prosentiosuuksien väleille, jotta kokonaisuutta on helpompi analysoida.

Taulukko 5. Virtaaman suhde mitoitusarvoon.

	0–60 %	61–80 %	81–89 %	90–100 %	101–110 %	111–130 %	131–170 %
<b>A</b>						x	
<b>B</b>				x			
<b>C</b>				x			
<b>D</b>							x
<b>E</b>				x			
<b>F</b>	x	x					
<b>G</b>				x			
<b>H</b>		x					
<b>I</b>				x			
<b>J</b>				x			
<b>K</b>			x				



Kuten taulukosta 5 voidaan nähdä, kuusi kohdetta asettuu 90 ja 100 %:n väliin, mitä voi pitää erittäin hyvänä tuloksena. Kyseisten kohteiden lämpimän käyttöveden kiertojohton virtaamat vastaavat hyvin lähelle LVI-suunnittelijan asettamia mitoituksia. Kun virtaamat ovat lähellä mitoitusarvoja, verkosto toimii optimaalisesti. Kahdessa kohteessa virtaamat ylittivät mitoitusarvot, jolloin lämpimän käyttöveden kiertojohto ei toimi optimaalisesti. Jos virtaamat ovat paljon suurempia kuin mitoitusarvot, pumppu saattaa olla ylimitoitettu tai säädetty väärin, mikä johtaa siihen, että pumppu tekee tarpeettoman paljon työtä ylläpitääkseen virtaamaa. Tästä aiheutuu energiahukkaa ja pumppu saattaa vaurioitua ennen aikaisesti. Liian alhaiset virtaamat suhteessa mitoitusarvoihin aiheuttaa myös verkostossa ongelmia. Liian alhainen virtaama muun muassa alentaa painetta ja samalla kavitaation sekä pumppuvikojen riski kasvaa. [39.]

Kohteissa (D ja G) suoritettiin lämpötilanmittaus TA-SCOPElla ja todennettiin, että lämpötilat ovat K1-määräysten mukaiset. Muissa kohteissa lämpötilat katsottiin säätölaitekeskukselta, ja ne täyttivät myös K1:n mukaiset lämpötilamääräykset. Kohde (F) oli ainoa näistä kaikista asiakkaiden kohteista, joka ei täyttänyt K1:n ja lämmönmyyjän mukaisia vaatimuksia, ja sinne suoritettiin uusi lopputarkastus. Tässä opinnäytetyössä ei päästy osallistumaan uusittuun lopputarkastukseen. [11, s. 59–60.]

Lämpimän käyttöveden verkostossa kupariputkille oli asetettu maksimivirtaukseksi 1 m/s, jota ei saa ylittää missään osassa verkostoa. Maksimivirtauksen ylitys aiheuttaa eroosiokorroosiovaaran putkistossa, minkä takia mitoitusarvona käytetään 0,5 m/s. Taulukossa 6 tutkitaan virtausnopeuksia ja katsotaan, tuleeko jossakin asiakaskohteessa suurempia tai yhtä suuria kuin 1 m/s, vaikka verkossa ei olisi käytössä kupariputkia. Taulukosta 4 on otettu ajanhetkestä 1 ja ajanhetkestä 2 suurempi virtausnopeusarvo taulukkoon 6. [11, s. 59.]

Taulukko 6. Virtausnopeuden tarkastelu.

		Virtausnopeus, (m/s)										
		0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1≤
Asiakaskohde	A				x							
	B								x			
	C											x
	D							x				
	E			x								
	F				x							
	G							x				
	H					x						
	I							x				
	J					x						
	K						x					

Taulukosta 6 voidaan nähdä, että yksi kohde (C) ylittää sallitun virtausnopeuden kupariputkelle, mutta on kuitenkin todennäköistä, että kyseisessä asiakaskohdeessa on käytössä muita putkimateriaaleja kuin kupariputket. Jos tarkastellaan taulukkoa 5 voidaan nähdä, että kyseinen kohde on 90 ja 100 %:n välillä mitoitusravosta, ja tämän perusteella voisi tehdä edellä mainitun johtopäätöksen. Asiakaskohdeessa voi kuitenkin olla käytössä kupariputkia ja sen todentaminen vaatisi lisäselvitystä, sillä insinööriyöhön ei ole kirjattu kohteiden putkimateriaaleja.

#### 6.4 Yhteenveto kohteista

Opinnäytetyössä suoritettiin virtausmittaukset Vantaan Energian kaukolämpöasiakkaiden kohteisiin, joista seitsemän oli uudisrakennuksia, kolme saneerauskohtetta ja yksi tarkistuskäynti. Yleisesti ottaen virtausmittaukset onnistuivat suunnitellusti, mutta yhden mittauksen aikana venttiilin esisäätöarvo syötettiin

virheellisesti näyttöyksikköön. Virhe kuitenkin havaittiin virtausmittauksen aikana, ja venttiilin esisäätöarvo korjattiin sekä suoritettiin uusi virtausmittaus. Lisäksi toinen lämpimän käyttöveden kiertojohto kohteessa (D) hylättiin mittaustuloksista, johtuen liian pienestä paine-erosta. Saadut virtausmittaustulokset vaikuttivat muuten olevan todenmukaisia, mutta mittaukseen liittyy aina eri tekijöistä aiheutuneita epävarmuuksia, jotka johtuvat mittalaitteesta, mittaajasta ja ympäristöstä. [52, s. 63.]

Mittaustuloksien perusteella kuudessa kohteessa päästiin 90 ja 100 %:n välille mitoitusarvosta, jota voi pitää erittäin hyvänä tuloksena. Muissa kohteissa virtaamien säädöissä olisi parantamisen varaa, jotta päästäisiin lähemmäksi mitoitusarvoa. Samalla pystyttäisiin ennaltaehkäisemään pumppuvaurioita, johtuen liian pienistä tai suurista virtaamista. Lisäksi taulukon 6 perusteella todettiin yhdessä asiakkaan kohteessa olevan suurempi virtausnopeus kuin kupariputkille olisi sallittu, ja putkimateriaalin todentaminen vaatisi lisäselvitystyötä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa virtausmittaukset vähintään kymmeneen kaukolämpöasiakkaan kohteeseen, mikä saavutettiin työn aikana. Virtausmittausten määrä oli kuitenkin suhteellisen pieni, ja niiden perusteella on haastavaa tehdä yleisiä johtopäätelmiä kaukolämpöasiakkaiden LVK:n virtaamien säädöistä. Kaukolämpöasiakkaiden LVK:n säädöistä saisi paremman käsityksen, jos tutkimusta jatkettaisiin esimerkiksi osana tarkastustoimintaa tai tämän opinnäytetyön pohjalta uutena opinnäytetyönä.

## **7 Yhteenveto**

Tämän insinöörityön tarkoituksena oli tehdä tutkimus Vantaan Energian kaukolämpöasiakkaiden LVK:n virtaamien säädöistä, joiden tuloksia verrattiin LVI-suunnittelijan laatimiin mitoitusarvoihin. Työn tarve oli lähtöisin Vantaan Energian energiapalvelut-yksikön halusta kehittää omaa liiketoimintaansa/tarkastustoimintaansa ja saada samalla karkea arvio kaukolämpöasiakkaiden LVK:n virtaamien säädöistä.

Insinööriyössä lähdettiin liikkeelle tutustumalla rakennuksiin, joissa lämmitysmuotona hyödynnetään kaukolämpöä. Työssä esitettiin tarvittavat kaukolämmityslaitteet sekä niiden toimintaperiaatteet. Kaukolämmityslaitteiden esittely toimi pohjustuksena sille, kuinka lämmin käyttövesi lämmitetään kaukolämmitteisessä rakennuksessa sekä mitä vaatimuksia LVK:n mitoitukselle on asetettu.

Tässä työssä käsiteltiin 11:tä Vantaan Energian kaukolämpöasiakaskohdetta, joihin suoritettiin lopputarkastuksen yhteydessä virtausmittaukset LVK:lle. Mitatuista kohteista säädöt olivat kuudessa kohteessa erinomaisella tasolla, ja yhdessä kohteessa ylitettiin kupariputkelle asetettu maksimivirtausnopeus. Tutkimusta voitaisiin jatkaa esimerkiksi osana tarkastustoimintaa tai uutena insinöörityönä tämän työn pohjalta, jotta saataisiin parempi käsitys Vantaan Energian kaukolämpöasiakkaiden LVK:n virtaamien säädöistä.

Tulevaisuudessa TA-SCOPE on tarkastajan yksi työkalu, jota tarkastaja voi hyödyntää halutessaan. TA-SCOPE:n avulla tarkastaja voi suorittaa mittauksia toisiopuolen verkostoihin ja todentaa, onko säädöt tehty LVI-mitoitusten mukaisesti. Tarkastustoiminnan kannalta oleellista tietoa on muun muassa ensiö- ja toisiopuolen lämpötilat, ja niiden vakaa toiminta.

## Lähteet

- 1 Tilinpäätös ja toimintakertomus. 2022. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://vantaanenergia.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20230404154343/Tilinpaaatoskirja-2022-FINAL.pdf>>. Luettu 19.1.2024.
- 2 Vantaan Energia yleisesitys. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <[https://vantaanenergia.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20230905151458/Vantaan\\_Energia\\_Yleisesitys\\_FI\\_2023-compressed-final.pdf](https://vantaanenergia.s3.eu-west-1.amazonaws.com/uploads/20230905151458/Vantaan_Energia_Yleisesitys_FI_2023-compressed-final.pdf)>. Luettu 19.1.2024.
- 3 Vantaan Energian vastuullisuuspolitiikka. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/vastuullisuusnosto/vantaan-energian-vastuullisuuspolitiikka/>>. Luettu 28.1.2024.
- 4 Kuusakoski kehitti jälleen kierrätysprosessiaan. Verkkoaineisto. Kuusakoski Oy. <<https://www.kuusakoski.com/fi/finland/ajankohtaista/2021/kuusakosken-uusi-rejektilaitos-kaynnistyi---kuusakoski-kehitti-kierratysprosessiaan/>>. Luettu 28.1.2024.
- 5 Jätevoimala ja Uusiolan alue. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/energiantuotanto/jatevoimala-ja-uusiolan-alue/>>. Luettu 27.1.2024.
- 6 Vantaan Energian energiatuotanto. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/energiantuotanto/>>. Luettu 27.1.2024.
- 7 Korkealämpölaite. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/energiantuotanto/hiilinegatiivinen/korkealampotilalaitos/>>. Luettu 28.1.2024.
- 8 Turpeen käyttö energiantuotannossa loppuu Vantaalla vuonna 2021. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/turpeen-kaytto-energiantuotannossa-loppuu-vantaalla-vuonna-2021/>>. Luettu 28.1.2024.
- 9 Koskelainen, Lasse; Saarela, Rauli; Sipilä, Kari; Takkunen, Kaarina & Nuorikivi, Arto. 2006. Kaukolämmön käsikirja. Energiateollisuus ry.
- 10 Kaukolämpöverkot. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/kaukolampoverkot/#collapse-header-39212>>. Luettu 29.1.2024.
- 11 Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/wp->

- content/uploads/2016/08/Julkaisu\_K1\_2021\_Rakennusten\_kaukolammitus\_Maaraykset\_ja\_ohjeet\_pdf-1.pdf>. Luettu 29.1.2024.
- 12 Kaukolämpöjohtojen suunnittelu- ja rakentamisohjeet. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/SuositusL11\\_2013\\_KI-johtojen\\_suunnittelu-\\_ja\\_rakentamisohjeet\\_paivitetty\\_20180130.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2023/08/SuositusL11_2013_KI-johtojen_suunnittelu-_ja_rakentamisohjeet_paivitetty_20180130.pdf)>. Luettu 1.4.2024.
  - 13 Energiavuosi 2023 kaukolämpö. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023\\_ennakkograafit.pdf](https://energia.fi/wp-content/uploads/2024/01/Kaukolampovuosi-2023_ennakkograafit.pdf)>. Luettu 29.1.2024.
  - 14 Vantaan Energia lyhyesti. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/lyhyesti/>>. Luettu 14.4.2024.
  - 15 Sähkön- ja kaukolämpöverkot Vantaalla. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2018/sahko-kaukolampoverkot-vantaalla/>>. Luettu 29.1.2024.
  - 16 Energian toimintavarmuus. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/ykv/ykv-2018/energian-toimitusvarmuus-2/>>. Luettu 29.1.2024.
  - 17 Hillineutraali Suomi 2035 – kansallinen ilmasto- ja energiastrategia. 2022. Verkkoaineisto. Työ- ja elinkeinoministeriö. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164321>>. Luettu 20.2.2024.
  - 18 Kaukolämpö ja kaukojäähdytys. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/energiatietoa/energiantuotanto/kaukolampo-ja-jaahdytys/>>. Luettu 21.2.2024.
  - 19 Hybridilämmitys: Mitä se on ja miten se toimii. Verkkoaineisto. Högforst GST. <<https://hogforsgst.com/fi/blogi/hybridilammitys-mita-se-on-ja-miten-se-toimii/>>. Luettu 21.2.2024.
  - 20 Varastot. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<https://energia.fi/energia-politiikka/biodiversiteettikartta/toimenpiteet-luonnon-monimuotoisuuden-edistamiseksi/varastot/>>. Luettu 21.2.2024.
  - 21 Sähkökattila. Verkkoaineisto. Tampereen Energia. <<https://www.tampereenenergia.fi/tampereen-energia/energia/energiantuotanto-tampereella/sahkokattila/>>. Luettu 22.2.2024.
  - 22 Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen, Jarmo. 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

- 23 Lämmönjakokeskuksen hankkiminen. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/lampo/lammonjakokeskus/>>. Luettu 24.2.2024.
- 24 GST-lämmönjakokeskus. Verkkoaineisto. Högfors GST. <<https://hogforsgst.com/fi/tuote/gst-lammonjakokeskus/>>. Luettu 24.2.2024.
- 25 Lämpöä kotiin keskitetysti. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa\\_kotiin\\_keskitetysti\\_Kaukolampo.pdf](https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf)>. Luettu 24.2.2024.
- 26 Kaukolämpölaitteet. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/lammitys/nykyisille-asiakkaille/kaukolampolaitteet>>. Luettu 24.2.2024.
- 27 Veteleekö lämmönjakokeskus viimeisiään. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/lampo/lammonjakokeskuksen-uusiminen/>>. Luettu 1.3.2024.
- 28 Ohjeita kaukolämpölaitteiden käyttäjille. Verkkoaineisto. Fortum Oyj. <[https://www.fortum.fi/kaukolammon\\_abc/#/article/6/page/1](https://www.fortum.fi/kaukolammon_abc/#/article/6/page/1)>. Luettu 1.3.2024.
- 29 Lämmönjakokeskuksen uusinta kannattaa tehdä suunnitelmallisesti. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/energiatehokas\\_taloyhtio/lammitys/lammonjakokeskuksen\\_uusinta\\_kannattaa\\_tehda\\_suunnitelmallisesti](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/energiatehokas_taloyhtio/lammitys/lammonjakokeskuksen_uusinta_kannattaa_tehda_suunnitelmallisesti)>. Luettu 1.3.2024.
- 30 Lämmönjakolaitteiden uusinta. Verkkoaineisto. Fortum Oyj. <<https://www.fortum.fi/yrityksille-ja-yhteisoille/lammitys-ja-jaahdytys/kaukolampo/uusi-kaukolampolaitteet>>. Luettu 1.3.2024.
- 31 Lämmönjakokeskukset taloyhtiölle. Verkkoaineisto. Helen Oy. <<https://www.helen.fi/taloyhtiot/lammitys/energiatehokas-lammitys/lammonjakokeskukset>>. Luettu 1.3.2024.
- 32 Älykäs lämmönjakokeskus palveluna. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/lampo/alykas-lammonjakokeskus-palveluna/>>. Luettu 1.3.2024.
- 33 Lämmönsiirrinpalvelut. Verkkoaineisto. KL-Lämpö Oy. <<https://www.kl-lampo.com/lomake/palveluratkaisut/voimalaitosten-palvelut/lammonsiiirrinpalvelut/159>>. Luettu 8.4.2024.
- 34 Opposing Currents. Verkkoaineisto. HPAC. <<https://www.hpac-mag.com/features/opposing-currents/#>>. Luettu 17.3.2024.

- 35 CB20-60H. Verkkoaineisto. Alfa Laval Nordic Oy. <<https://shop.alfalaval.com/fi-fi/kayttoveden-lammitys--c004/cb20-60h--1268771->>. Luettu 17.3.2024.
- 36 Kapanen, Mika. 2019. Välilliset jäähdytysjärjestelmät. Verkkoaineisto. Suomen kylmäyhdistys ry. <[https://www.kylmaextra.fi/files/127/Valilliset\\_Jaahdytysjarjestelmat\\_2019.pdf](https://www.kylmaextra.fi/files/127/Valilliset_Jaahdytysjarjestelmat_2019.pdf)>. Luettu 17.3.2024.
- 37 Kaunisto, Tuija; Latva, Martti; Peltö-Huikko, Aino & Salonen, Noora. 2022. Kiinteistöjen kupariputkien korroosio. Verkkoaineisto. Suomen Vesilaitosyhdistys ry. <[https://www.vvy.fi/site/assets/files/5264/kiinteistojen\\_kupariputkien\\_korroosio\\_kirjallisuusselvitys.pdf](https://www.vvy.fi/site/assets/files/5264/kiinteistojen_kupariputkien_korroosio_kirjallisuusselvitys.pdf)>. Luettu 17.3.2024.
- 38 Energiatehokas pumppausjärjestelmä. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <[https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas\\_pumppausj\\_rjestelm\\_.pdf](https://www.motiva.fi/files/2419/Energiatehokas_pumppausj_rjestelm_.pdf)>. Luettu 18.4.2024.
- 39 Tärkeää huomioida pumppujen valinnassa ja mitoituksessa. Verkkoaineisto. Grundfos. <<https://www.grundfos.com/fi/learn/ecademy/all-courses/the-extended-course-on-basic-pump-principles/important-considerations-when-selecting-and-sizing-a-pump>>. Luettu 18.4.2024.
- 40 Lämpimän käyttöveden kiertojohto. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/8-lampiman-kayttoveden-kiertojohto>>. Luettu 1.4.2024.
- 41 Veden lämpötila. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/vesi-ja-viemarilaitteistot-opas/6-veden-lampotila>>. Luettu 1.4.2024.
- 42 Vesilaitteiston mitoitusohjeet D1/2007 liite 2. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. <<https://talotekniikkainfo.fi/vesilaitteiston-mitoitusohjeet-d12007-liite-2>>. Luettu 1.4.2024.
- 43 Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2018. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81\\_75E1\\_4CA0\\_B208\\_B0ACB60A267F-133692.pdf](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-ja-lammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf)>. Luettu 7.4.2024.
- 44 Tietokanta. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Vantaan Energia Oy.
- 45 LVI-suunnittelijat. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/lampo/ammattilaiset/lvi-suunnittelijat/>>. Luettu 7.4.2024.



- 46 Kaukolämpötarkastukset. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/lampo/kaukolampoonliittyminen/kaukolampotarkastukset/>>. Luettu 7.4.2024.
- 47 Lämpöurakoitsijat. Verkkoaineisto. Vantaan Energia Oy. <<https://www.vantaanenergia.fi/lampo/ammattilaiset/lampourakoitsijat/>>. Luettu 7.4.2024.
- 48 TA-SCOPE. Verkkoaineisto. IMI Hydronic Engineering. <<https://www.imi-hydronic.com/fi/product/ta-scope>>. Luettu 14.4.2024.
- 49 Fluidiikkalaskuri. Verkkoaineisto. Burkert Finland Oy. <<https://www.burkert.fi/fi/asiakaspalvelu-ja-varaosat/dokumentaatio-lisaetietoa/sanasto/fluidiikkalaskuri>>. Luettu 14.4.2024.
- 50 Lähttilä, Mikko. 2024. Tekninen päällikkö, IMI Hydronic Engineering. Sähköposti 10.4.2024.
- 51 Pipe velocity calculator. Verkkoaineisto. The Calculator. <<https://www.the-calculator.co/others/Pipe-Velocity-Calculator-627.html>>. Luettu 22.4.2024.
- 52 Hiltunen, Erkki; Linko, Linnea; Hemminki, Sari; Hägg, Margareta;. 2011.Laadukkaan mittaamisen perusteet. Verkkoaineisto. MIKES. <<https://publications.vtt.fi/pdf/MIKES/2011-J4.pdf>>. Luettu 18.4.2024.