

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# KAUKOLÄMMÖNJAKOKESKUKSEN VALMISTUKSEN KEHITTÄMINEN

TEKIJÄ Tessa Kumpulainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma	
Työn tekijä Tessa Kumpulainen	
Työn nimi Kaukolämmönjakokeskuksen valmistuksen kehittäminen	
Päiväys 1.5.2023	Sivumäärä/Liitteet 29/2
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Gebwell Oy	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö toteutettiin lämmitys- ja jäähdytysratkaisuihin erikoistuneelle yritykselle Gebwell Oy:lle. Aiheen valinta perustui tarpeeseen standardisoida lämmönjakokeskuksen kokoonpanoprosessi. Standardisoinnin tarkoituksena oli yhtenäistää kokoonpanotyössä toimivan henkilöstön asennustekniset toimintatavat lämmönjakokeskusten ulkomuodon yhtenäistämiseksi. Työn tavoitteena oli määrittellä Suomen standardien ja vaatimusten mukaisesti suunnitellulle vakiolämmönjakokeskukselle yrityksen oma kokoonpanostandardi, laatia ohjeistus- ja työssäoppimismateriaalia ja pohtia toiminnan kehittämismahdollisuuksia.</p> <p>Standardikokoonpanon määrittely toteutettiin seuraamalla vakiolämmönjakokeskusten kokoonpanoa, ottamalla huomioon kokoonpanoa uusille työntekijöille perehdyttävien asiantuntijoiden ehdotuksia ja huomioita kokoonpanon kehityskohteista. Lisäksi työssä on tutkittu kaukolämmönjakokeskuksen lämmityspiirin kehittämismahdollisuuksia. Kehityskohteita kartoitettiin yhteistyössä työnjohdon kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena määritelty Suomen vakiolämmönjakokeskuksen kokoonpanostandardi tulee toimimaan Gebwell Oy:ssä jatkossa kokoonpanotyössä toimivan henkilöstön toiminnan perustana. Laaditut ohjeistukset- ja työssäoppimismateriaali auttavat suoraviivaistamaan kokoonpanoprosessia ja perehdytystä. Lisäksi työn tuloksena saatu selvitys toiminnan kehittämismahdollisuuksista auttaa Gebwell Oy:ta tekemään kaukolämmönjakokeskustuotteiden kehittämiseen liittyviä ratkaisuja.</p>	
Avainsanat Kaukolämpö, kaukolämmönjakokeskus, lämmönsiirrin	

Field of Study Technology, Communication and Transport	
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering	
Author Tessa Kumpulainen	
Title of Thesis Developing the Manufacturing of District Heating Substations	
Date 1 May 2023	Pages/Appendices 29/2
Client Organisation /Partners Gebwell Oy	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The thesis was commissioned by Gebwell Oy, a company specialized in heating and cooling solutions. The topic was chosen based on the need to standardize the assembly process of heat distribution substations. The purpose of standardization was to unify the installation process of the staff working in the assembly in order to standardize the appearance of district heating substations. The aim of the work was to define an assembly standard for the Finnish district heating substations to develop guidelines and training materials, and to consider opportunities for the further development of substations.</p> <p>The standard assembly was defined by observing the assembly of standard district heating substations taking into account suggestions and observations from experts who train new employees in the assembly process and by identifying areas for development. In addition, the possibilities of developing a heating circuit of a district heating substation were investigated. The areas for development were identified in cooperation with the supervisors.</p> <p>The assembly standard defined as a result of the thesis for the Finnish district heating substations will serve as the basis for the work of the staff involved in the assembly process at Gebwell Oy in the future. The developed guidelines and training materials will help to streamline the assembly process and training. Additionally, information gathered on development areas will help Gebwell Oy make decisions related to the development of district heating substation products.</p>	
<p><b>Keywords</b></p> <p>District heating, district heating substation, heat exchanger</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	GEBWELL OY .....	7
2.1	Puhdasta energiaa .....	7
3	KAUKOLÄMPÖ .....	8
3.1	Kaukolämmön historiaa .....	8
3.2	Kaukolämmön nykyhetki.....	8
4	LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN TOIMINTAPERIAATE.....	10
4.1	Lämmönsiirtimet .....	12
4.2	Pumput .....	15
4.3	Säätö- ja mittauslaitteet .....	16
4.4	Putkistot ja liitokset.....	16
4.5	Venttiilit .....	17
4.6	Paisunta- ja varolaitteet.....	18
4.7	Lianeroitin .....	18
4.8	Paine-erosäädin .....	18
5	VALMISTUSPROSESSIN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET .....	19
5.1	Lämmönjakokeskuksen kokoonpanon standardisointi .....	20
5.2	Lämmityspiirin kehittämismahdollisuudet .....	21
5.2.1	Suomen vakio­lämmönjakokeskus.....	22
5.2.2	Ruotsin vakio­lämmönjakokeskus.....	24
6	POHDINTA.....	25
	LÄHTEET .....	27
	LIITTEET .....	29
	LIITE 1 KOKOONPANO-OHJEISTUS, VAKIOKESKUKSET .....	29
	LIITE 2 KOKOONPANOKUVA, VAKIOKESKUKSET .....	29

## KUVALUETTELO

KUVA 1. Kaukolämmön energialähteet vuonna 2022 (Energiateollisuus ry, 2023).....	8
KUVA 2. Kaukolämmön energialähteet vuonna 2012 (Energiateollisuus ry, 2023).....	8
KUVA 3. G-Power kaukolämmönjakokeskus (Gebwell Oy, 2023).....	9

KUVA 4. Kytkentäkaavio 2-piirisestä Gebwell Oy:n vakiolämmönjakokeskuksesta (Gebwell Oy, 2023).....	11
KUVA 5. Lämmönsiirrin (Wikimedia Commons 2015, CC BY-SA).....	12
KUVA 6. Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Energiateollisuus 2021).....	13
KUVA 7. Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Energiateollisuus 2021 ).....	14
KUVA 8. Virtauskaavio (Kumpulainen 2023).....	18
KUVA 9. (Kumpulainen 2023).....	22

## 1 JOHDANTO

Kaukolämpö on ollut jo pitkään Suomen käytetyin lämmitysjärjestelmä. Sen etuja ovat kustannustehokkuus, toimintavarmuus ja kilpailukykyinen hinta. Kaukolämmön hinta on ollut muihin lämmitysmuotoihin verraten suhteellisen stabiili. Kaukolämmön hyödyt korostuvat erityisesti vallitsevassa maailmantilanteessa, jossa Suomi on vahvasti mukana ympäristötavoitteiden saavuttamisessa ja on herännyt laajempaa keskustelua energiaomavaraisuuden tarpeesta.

Opinnäytetyössä on tutkittu toiminnan kehittämismahdollisuuksia toimeksiantajan Gebwell Oy:n tuotannossa havaittuihin kehityskohtiin. Gebwell Oy tekee massatuotantona valmisosia, joista kokoonpannaan tuotteita maalämpö- varaaja- ja kaukolämpötuotannoissa. Opinnäytetyö keskittyy kaukolämpötuotannossa havaittuihin ongelmakohtiin. Aihe on rajattu 2-piiristen Suomen ja Ruotsin vaatimusten ja standardien mukaan suunniteltujen vakiolämmönjakokeskusten lämmityspiireihin. Esiintyneitä kehityskohtia ovat Suomen vakiolämmönjakokeskuksen lämmityspiirin paluuputkisto-osassa havaitut laatuvaihtelut hitsauksen ja taivutuksen suhteen sekä Ruotsin vakiolämmönjakokeskuksen lämmityspiirin paluuputkisto-osasta johtuva ahdas asennustila.

Valmistusprosessin tehostamiseksi opinnäytetyössä on tuotettu Gebwell Oy:lle lämmönjakokeskuksen kokoonpanon standartoimiseksi ohjeistus, joka toimii uuden kokoonpanijan muistin tukena työtehtävän alkutaipaleella. Ohjeistuksen on tarkoitus tuoda yhtenäisyyttä kokoonpanotyössä toimivan henkilöstön toimintatapoihin ja suoraviivaistaa kokoonpanoprosessia. Ohjeistuksen liitteeksi on tuotettu vakiolämmönjakokeskuksen kokoonpanokuva, johon on merkattu sen sisältämät komponenttien ja putkisto-osien nimitykset sekä prosessikaaviomerkinnot. Näiden avulla uuden työntekijän on helpompaa oppia lukemaan kytkentäkaaviota ja hahmottaa kokonaisuutta keskustuotteesta, jonka parissa työskentelee. Opinnäytetyö sisältää myös teoriaa lämmönjakokeskuksen valmistusmateriaaleista sekä yleisimmistä komponenteista ja niiden määräyksistä.

## 2 GEBWELL OY

Gebwell Oy on vuonna 2005 Pohjois-Savossa, Leppävirralla perustettu kiinteistöjen lämmitys ja jäähdytysratkaisuihin erikoistunut yritys. Gebwell Oy:n toimialaa on suunnitella, myydä ja valmistaa kaukolämmönjakokeskuksia, pientalokeskuksia, kaukojäähdytyskeskuksia, maalämpöpumppuja, energiavaraajia sekä käyttövedenlämmittimiä. (Gebwell Oy, 2023).

Yrityksen pääkonttori sekä tuotantotilat sijaitsevat Leppävirralla. Näiden lisäksi yrityksellä on myyntikonttorit Tampereella ja Vantaalla, sekä tytäryhtiöt Ruotsissa, Gebwell Sverige AB ja Puolassa, Gebwell Sp, z o.o. Marraskuussa 2022 yhtiöitettiin omaksi tytäryhtiökseen alkusammutustuotteita valmistava Pivaset Oy. Keväällä 2022 Gebwell Group työllistää lähes 300 henkilöä. Gebwell Groupin liikevaihto oli vuonna 2021 41,5 miljoonaa euroa. (Gebwell Oy, 2023).

### 2.1 Puhdasta energiaa

Gebwell Oy:n toimintaa ohjaavia arvoja ovat asiakaslähtöisyys, innovatiivisuus, kehittymishalu, luotettavuus ja kumppanuus. "Gebwell on mukana Carbon Exit -kumppanuusverkostossa, joka on kehittänyt kokonaisvaltaisen lähiennergia ratkaisun, vastaten kuntien haasteisiin ja vieden kohti energiatehokkaampaa ja päästöttömämpää Suomea. Carbon Exit tarjoaa kunnille ratkaisun, jossa päästöttömään lämmitys- ja viilennysenergiaan siirrytään ilman alkuinvestointia ja ylläpitoa. Carbon Exit hyödyntää älykkäitä lähiennergia ratkaisuja – samalta tontilta saatavaa ilmaisenergiaa maasta, poistoilmasta ja auringosta (Gebwell Oy, 2023)."

### 3 KAUKOLÄMPÖ

Kaukolämpö on kuumaa vettä, joka kiertää kaksiputkista (meno- ja paluu) suljettua kaukolämpöverkkoa pitkin voimalaitokselta tai lämpökeskukselta asiakkaiden lämmönsiirtimiin. Kaukolämpövesi lämmittää lämmönsiirtimissä virtaavan kiinteistön käyttöveden sekä lämmitysverkon veden. Kuljettuun kerran siirtimen läpi ja lämpöä luovutettuaan kaukolämpövesi palaa takaisin voimalaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. (Loimua, julkaisuaika tuntematon).

#### 3.1 Kaukolämmön historiaa

Muuan hollantilainen keksijä Cornelius Drebbel ehdotti vuonna 1622 lämpimän veden jakeluun perustuvan verkon rakentamista. 1700- ja 1800-luvuilla Venäjällä ja Englannissa rakennettiin keskuslämmitysjärjestelmiä suurten rakennusten lämmittämiseksi. Kuitenkin vasta 1877 New Yorkilaisen keksijän Birdsill Hollyn toimesta käynnistyi ensimmäinen kaupallisesti toimiva kaukolämpöjärjestelmä, hänen perustaessaan Lockportin kaupunkiin höyrykaukolämmitysjärjestelmän. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 32).

Euroopassa kaukolämmitys alkoi Saksassa, Tanskassa ja Venäjällä. Vuonna 1893 rakennettiin Hampuriin Saksan ensimmäinen kaukolämpöjärjestelmä. Tämä oli ensimmäinen kokeilu, jossa tuotettiin yhteistuotantona sähköä ja 300 metrin etäisyydellä olevalle kaupungintalolle lämpöä. Tämä ensimmäinen yhteistuotantolaitos perustui höyryjakeluun, kuten Saksan Dresdeniin perustettu seuraava kaukolämmitysjärjestelmäkin. Tanskassa kaukolämpötoimintaa alettiin harjoittamaan vuonna 1903 Fredriksbergissä, kun jätteenpolttolaitokselta alettiin tuottaa lämpöä läheiselle sairaalle ja muille rakennuksille. Kööpenhaminaan kaukolämmitys tuli vuonna 1925. Venäjälle Pietariin rakennettiin ensimmäinen kaukolämmitysjärjestelmä vuonna 1924, jonka jälkeen myös Moskovaan vuonna 1928. Ennen toista maailmansotaa kaukolämmitys laajeni myös muihin kaupunkeihin Venäjällä, kuten myös Euroopassa muihin maihin Tsekkoslovakiaan (1922), Ranskaan (1928), Islantiin (1930) ja Sveitsiin (1934). (Kaukolämmön käsikirja 2006, 32-33).

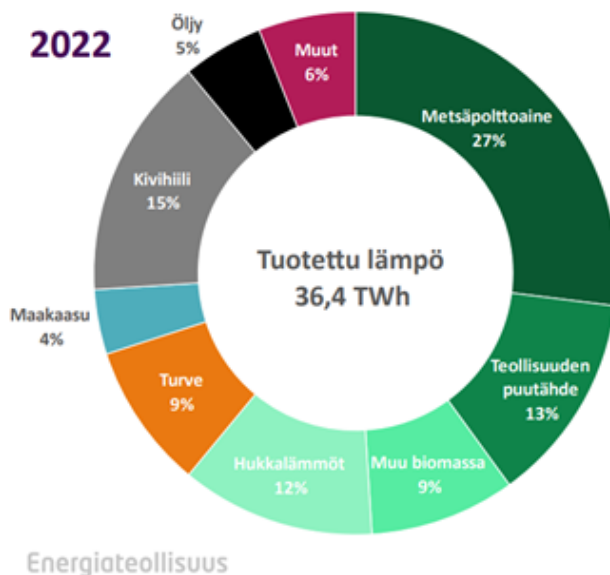
Suomeen ajatus kaukolämmityksestä oli levinnyt jo 1920-luvulla, kun Sähköinsinööriiliitossa kaavailtiin yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon kehittämistä. Vuonna 1928 perustettiin komitea laatimaan asiasta mietintöä, joka valmistui 1939. Varsinainen kehitystyö jäi kuitenkin toisen maailmansodan jalkoihin. Sodan jälkeistä sähköpulaa lievitettiin aluksi lisäämällä vesivoimaa. Kaukolämpö nähtiin yhtenä tilannetta helpottavana tekijänä. Tällöin vuonna 1940 rakennettiin Suomen ensimmäinen kokonaisen asuinalueen kattava kaukolämmitysjärjestelmä Helsingin olympiakylään. Suomessa koko kaukolämmön idea perustuu huomioon teollisuuden sähköntuotannossa syntyvästä hukkaan menevästä lauhdelämmöstä. Syntyi ajatus tämän hukkalämmön hyödyntämisestä asuntojen lämmittämiseksi. Suomessa kaukolämmityksen tarkoituksena on siis alun alkaenkin ollut sähkön ja lämmön yhteistuotanto. (Kaukolämmön käsikirja 2006, 34-35).

#### 3.2 Kaukolämmön nykyhetki

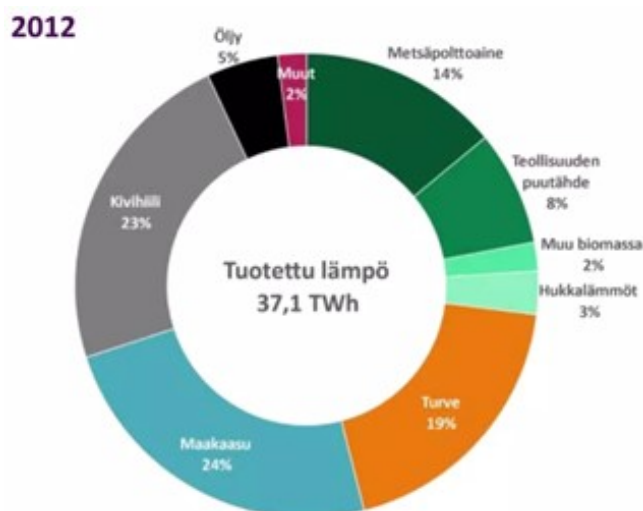
Tänä päivänä Suomi onkin maailmanlaajuisesti lämmön ja sähkön yhteistuotannon johtava maa. Lähes 80 % kaukolämmön tuotannosta perustuu lämmön ja sähkön yhteistuotantoon. Se on energiataloudellinen sekä ympäristöä säästävä tapa tuottaa lämpöä. Kun erillisessä sähköntuotannossa

saadaan polttoaineesta hyödyksi 40-50 %, yhteistuotantolaitoksessa polttoaineen energia hyödynnetään 80-90 % (Lämmitystekniikan oppikirja 2010, 143; Kaukolämmön käsikirja 2006, 37).

Kaukolämmön ja siihen liittyvän sähkön tuotannon polttoaineina voidaan käyttää mm. maakaasua, kivihiiltä, turvetta, puuta tai biokaasua. Uusiutuvien energialähteiden (kuvassa 2 esitettynä vihreän eri sävyillä) käytön osuus on kaksinkertaistunut kymmenessä vuodessa. Näin hillitään ilmastonmuutoksen etenemistä. Fossiilisten (uusiutumattomien) polttoaineiden käyttö tuottaa hiilidioksidia ilmaan, joka kiihdyttää ilmaston lämpenemistä. (Ulkoministeriön globaalikasvatusaineisto kouluille, 2023). Vertailua varten alla kaavio vuoden 2012 energianlähteiden prosenttiosuuksista. Kuvista 1 ja 2 käy myös ilmi kuinka hukkalämpöjen hyödyntäminen on kymmenessä vuodessa noussut 9 prosenttia. Hukkalämpöjä hyödyntämällä vältetään polttoaineiden käyttöä. Kaukolämmön päästöt tuotettua energiayksikköä kohden ovat laskeneet 47% kymmenessä vuodessa. Vuonna 2022 kaukolämmön tuotannon ominaispäästöt olivat noin 120 gCO<sub>2</sub>/kWh. Kaukolämmön mitattu käyttö oli 32,8 TWh vuonna 2022. (Energiavuosi 2022 Kaukolämpö 2023, 7-13).



KUVA 1. Kaukolämmön energialähteet vuonna 2022 (Energiateollisuus ry, 2023)



KUVA 2. Kaukolämmön energialähteet vuonna 2012 (Energiateollisuus ry, 2023)

#### 4 LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN TOIMINTAPERIAATE

Kaukolämmönjakokeskus yhdistää toisiopiirit eli kiinteistön lämmitys- ja lämpimän käyttöveden verkostot ensiöpiiriin eli kaukolämpöverkoston. Lämpö siirtyy asiakkaalle kaukolämpöverkosta pitkin veteen sitoutuneena lämpöenergiana asiakkaan lämmönsiirtimiin. Lämmin kaukolämpövesi kulkee lämmönsiirtimen ensiöpuolen läpi luovuttaen lämpöenergiaa toisiopuolelle. Noin 45 °C – 25 °C lämpötilaan jäähtynyt kaukolämmön paluuvesi johdetaan takaisin tuotantolaitokselle uudelleen lämmitettäväksi. (Gebwell Oy 2023; Suomalainen kaukolämmitys 2015, 18). Kuvassa 3 lämmönjakokeskus, jossa on lämmönsiirtimiä yleensä vähintään kaksi; käyttövedelle ja lämmitykselle. Lämmönsiirtimiä voi olla myös useampia.

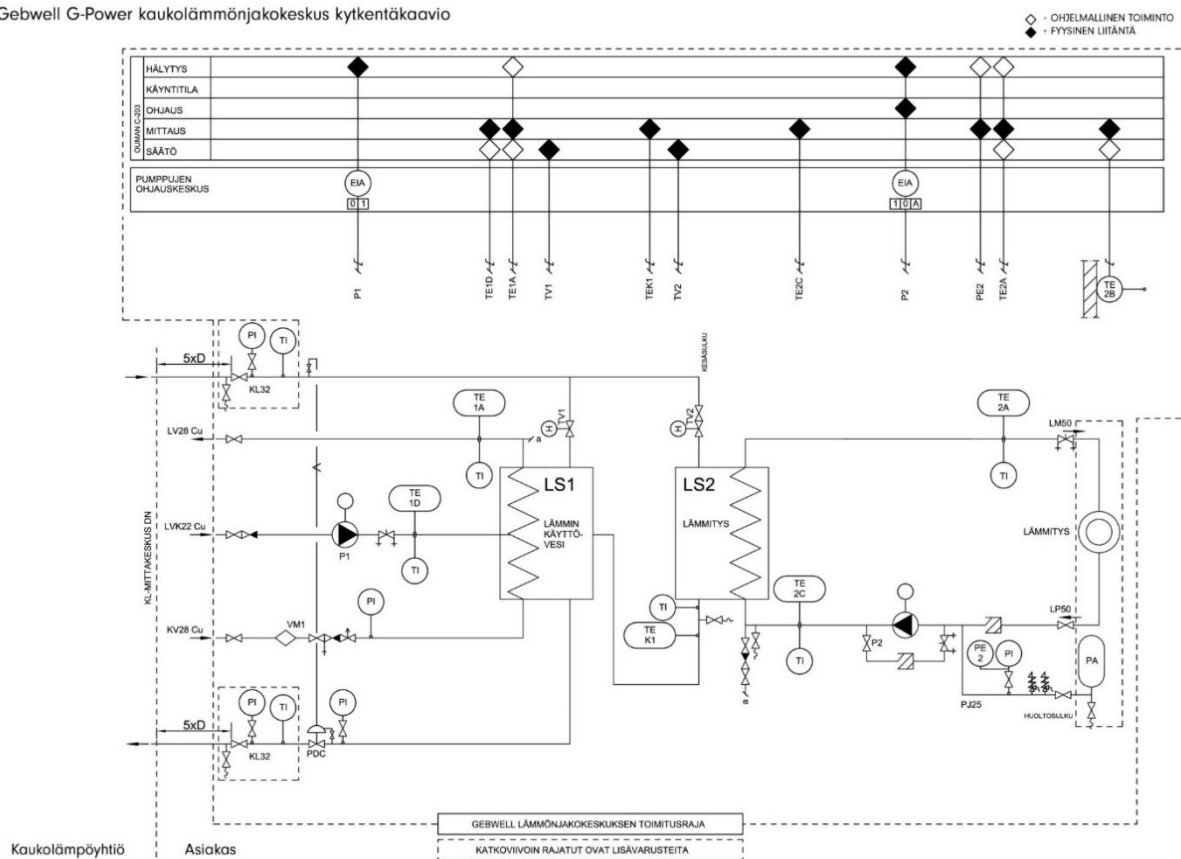


KUVA 3. G-Power kaukolämmönjakokeskus (Gebwell Oy, 2023)

Lämmitysverkoston menolämpötilaksi suositellaan mahdollisimman alhaista lämpötilaa, lämmitysverkoston hyvän säädettävyyden ja tehokkuuden tavoittamiseksi. Lämmöntuotantolaitos säätää menoveden lämpötilaa ja painetta tarpeen mukaan. Kesäisin lämpötilat ovat alhaisemmat, sillä talojen lämmitykselle ei ole tarvetta. Lämmönjakokeskus on varustettu kesäsululla, jolla voi sulkea lämmityspiirin kesän ajaksi. Kaukolämmön menoveden lämpötila on kuitenkin oltava aina vähintään 65 astetta ja enintään 90 astetta. (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1 2021, 8; Suomalainen kaukolämmitys 2015, 64). Kaukolämpövesi on väriaineella värjättyä, vuotojen huomauttamisen ja paikantamisen helpottamiseksi. Väriaine ei täytä käyttöveden laatuvaatimuksia, mutta ei ole vaarallista ihmisille tai luonnolle. (Energiateollisuus ry 2007).

Energiateollisuus ry:n julkaisussa K1 on esitelty tehdasvalmisteisten peruskyltenteisten lämmönjakokeskusten toimitusrajat laitesisältöineen. Tehdasvalmisteinen lämmönjakokeskus koostuu viimeistellyistä elektronisten ja mekaanisten laitteiden asennuksista, jotka on kuvattu Gebwell Oy:n kytkentäkaaviossa kuvassa 4.

Gebwell G-Power kaukolämmönjakokeskus kytkentäkaavio



KUVA 4. KytKentäkaavio 2-piirisestä Gebwell Oy:n vakiolämmönjakokeskuksesta

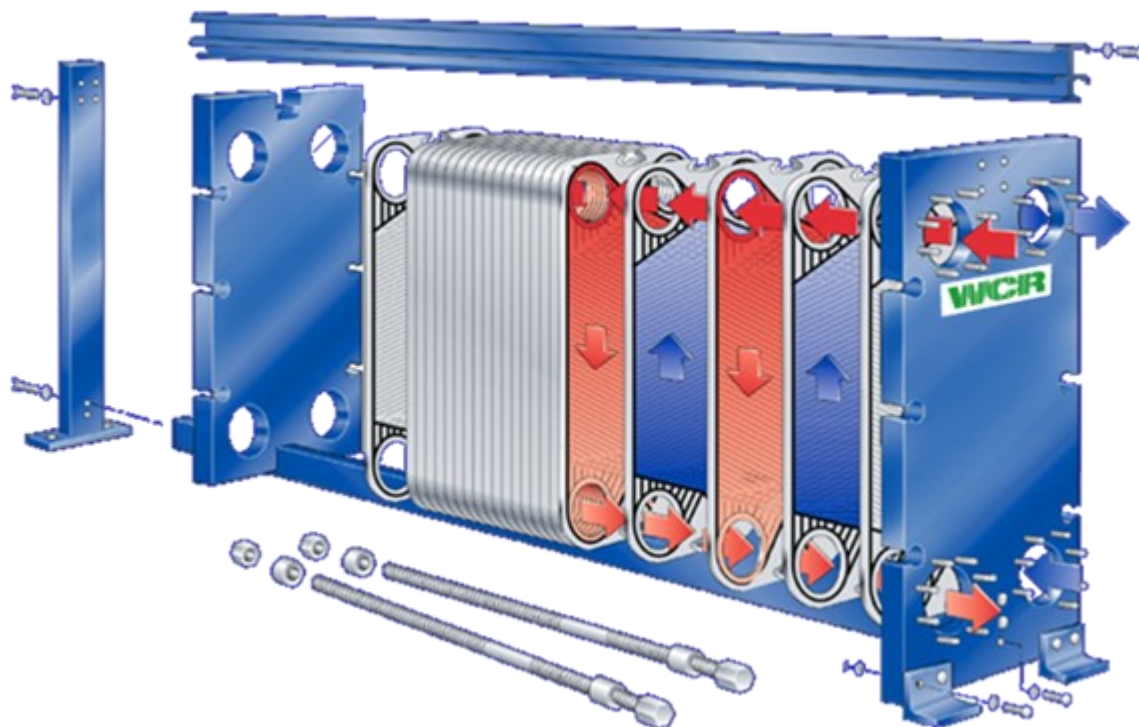
Julkaisu K1 koostaa lämmönjakokeskuksen minimivarustuksen ja vaihtoehtoisia ratkaisumalleja erilaisiin lämmitystarpeisiin. Julkaisu määrittää myös asiakaspuolen kaukolämmönjakokeskusten mitoittamiseen käytettävät arvot Suomessa. Jokaisen kiinteistön lämmönluovutusjärjestelmän lämmöntarve on yksilöllinen, näin ollen ne on mitoittettava kiinteistökohtaisesti määräysten ja ohjeiden mukaisesti. Mitoittaminen aloitetaan kartoittamalla lämmönmyyjältä suunnitteluun tarvittavat tiedot. Parhaiten toimiva lämmitysjärjestelmä saadaan, kun käytetään omaa lämmönsiirintä säätöjärjestelmään jokaiselle eri toimintatavalle omaavalle lämmityspiirille. Tarvittava ensiö- ja toisiovesivirrat saadaan lämmöntarpeesta yhdessä mitoituslämpötilojen kanssa. Lämmönsiirrinten ja muiden laitteiden valinta riippuu tarvittavasta lämpötehosta, vesivirrasta että lämmönjakokeskuksen korkeimmasta sallitusta kokonaispainehäviöstä. (Suomalainen kaukolämmitys 2015, 65-66; Energiateollisuus 2014).

K1 on aina ajantasainen ja sitä päivitetään uusien määräysten tullessa. K1 määrittää muun muassa lämmönjakokeskuksen mitoituslämpötilat sekä painehäviöt. Lämmöntoimituksen hyvän säädettävyyden varmistamiseksi lämmönjakokeskusten yli vallitsevan paine-eron tulee ylittää 60kPa. Lämpöverkon operoiminen tehdään verkon huippupisteessä vallitsevalla paine-erolla niin, että pienin verkossa vallitseva paine-ero on vähintään 60kPa. On mahdollista, että tulevaisuudessa lämmönjakokeskusten

lämmönsiirtopinta-ala kasvaa (ts. lämmönsiirrinten levymäärä lisääntyy), jolloin niiden yli vallitseva paine-ero kasvaa. Painehäviöitä muodostuu kaikissa keskuksen komponenteissa mutta suuri osa keskuksen kokonaispainehäviöistä aiheutuu sekä säätöventtiileistä, että lämmönsiirtimistä. On hyvin tärkeää, että paine-ero on riittävä säätöventtiileiden yli, jotta voidaan taata riittävä säädettävyys. K1:n mukaan suurin sallittu painehäviö käyttövesipiirin lämmönsiirtimien ensiöpuolelle on 20 kPa ja toisiopuolelle 50 kPa. Muiden piirien, kuten lämmityspiirin lämmönsiirtimien ensiö- ja toisiopuolien suurin sallittu painehäviö on 20 kPa. Lukuunottamatta säätöventtiileitä, muille varusteille sekä putkistolle käytetään suurimpana sallittuna painehäviönä 5 kPa. Näinollen säätöventtiileiden paine-eron ensiöpuolella tulisi olla vähintään 35 kPa. (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1 2021, 10, 16, 68).

#### 4.1 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirrin on laitteisto, jossa lämpöenergia siirtyy kuumemmasta fluidista kylmempään. Siirtymistä voi tapahtua johtumalla, lämpösäteilyllä tai konvektiolla. Lämpö siirtyy lämmönsiirrinelementtien läpi nesteestä toiseen yleensä johtumalla. Lämmönsiirtimiä kutsutaan usein myös lämmönvaihtimiksi, vaikka prosessissa lämpö ei "vaihdu" mihinkään. Lämmönsiirtimet voidaan luokitella useilla eri tavoilla, kuten virtaavan fluidin mukaan (kaasu, neste), virtaustavan mukaan (putkisiirrinten numeerointi läpivientien määrän perusteella), toimintatavan mukaan (regenaattorit sekä normaalit lämmönsiirtimet) tai rakenteen mukaan (kuten putki- ja levylämmönsiirtimet). (CHEM-A1120 Virtaustekniikka ja lämmönsiirto 2019, 60). Suomessa lähes kaikkien tehdasvalmisteisten lämmönjakokeskusten lämmönsiirtimet ovat juotettuja vastavirtalevylämmönsiirtimiä. Siirtimissä toteutuu ensiö- ja toisiopuolien välillä vastavirtaus, jolloin lämmittäessä siirtimelle saapuva kuuma ensiövirtaus lämmittää jo siirtimessä lämmennyttä lähtevää toisiovirtausta ja näin parantaa lämmönsiirtymää. (KL-lämpö julkaisuaika tuntematon). Kuvassa 5 on esitetty avattavan yksivetoisen levylämmönsiirtimen toimintaperiaatetta.



KUVA 5. Lämmönsiirrin (Wikimedia Commons 2015, CC BY-SA)

Levylämmönsiirrin koostuu ohuiden ruostumattomien teräslevyjen pakasta. Poimuttamalla levyt saadaan lisää lämmönsiirtopintaa. Eri siirrinmallit sisältävät eri tavoin poimutetut levyt virtauksen turbulenssin lisäämiseksi ja näin ollen optimaalisen lämmönsiirron saavuttamiseksi. Levyjen muotoilun tukipisteiden ansiosta levyt pysyvät erillään, jolloin levyjen väliin muodostuu kanavia. Näitä kanavia pitkin fluidi pääsee virtaamaan lämmönsiirtimen sisällä ja poistumaan levyjen kulmissa olevien liitäntäyhteiden kautta. Levyjä sekä levyn reikien reunoja ympäröivät tiivisteet, jotka tiivistävät virtauskanavat ja ohjaavat fluidit vaihtoehtoisin kanaviin siten, että kylmä ja kuuma virta vuorottelevat. Levyt ovat liitetty yhteen niitä tukevaan kehikkoon ja kiristetty päätylevyjen avulla. (CHEM-A1120 Virtaustekniikka ja lämmönsiirto 2019, 61.)

Lämmönsiirtimet mitoitetaan jokaiselle lämmityspiirille erikseen. Lämmönsiirtimen mitoituksessa on vältettävä muunmuassa ylimitoittamasta siirrintä, joka laskee virtausnopeuksia. Likaa alkaa kertymään kohtiin, joissa on pienin virtausnopeus. Tyypillinen virtausnopeus levylämmönsiirtimille on alle 1 m/s, sillä niiden virtauskanavat ovat erimuotoiset kuin putkilämmönsiirtimien tapauksessa, minkä vuoksi turbulenttinen virtaus ja suuret leikkausjännitykset voi saavuttaa pienemmillä virtausnopeuksilla. (Motiva, Energiatohokas lämmönsiirto 2016, 13, 21; CHEM-A1120 Virtaustekniikka ja lämmönsiirto 2019, 66)

Lämmönsiirtimen teho lasketaan yhtälöllä:

$$\Phi = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T = q_m \cdot c_p \cdot (T_m - T_p) \quad (1)$$

missä,

$\Phi$	lämmönsiirtimen teho, kW
$\rho$	tiheys, kg/dm <sup>3</sup>
$qv$	virtaama, dm <sup>3</sup> /s
deltat	lämpötilaero, K
$q_m$	massavirta, kg/s
$c_p$	ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK
$t_m$	tuloveden lämpötila, °C
$t_p$	paluuv veden lämpötila, °C

”Laskennassa käytetään sen piirin ominaislämpökapasiteettia ja lämpötilatasoja, jonka massa- tai tilavuusvirtaa käytetään. Siirtimen teho on sama ensiö- ja toisiopuolen kautta laskettaessa (Suomalainen kaukolämmitys 2015, 69).”

Lämmitysjärjestelmien lämpötilat pyritään mitoittamaan niin, että lämmönjaon- ja luovutuksen lämpöhäviöt jäävät mahdollisimmin pieniksi ja lämmitysverkon säädettävyyks hyväksi. Kuvassa 5 K1 määrittämät lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat. Kaukolämmönjako-keskuksen ilmanvaihdon- sekä lämmityspuolen siirtimet, niihin liittyvät säätöventtiilit ja muut varusteet sekä putket mitoitetaan käyttäen kaukolämmön tulolämpötilalla 90 °C laskettua kaukolämpöveden virtaamaa. Lämmitysverkon paluulämpötilan mitoitusarvo valitaan siten, että palaavan kaukolämpöveden lämpötila on enintään 33 °C. (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1 2021, 8).

Vuonna 2021 laskettiin tilojen ja ilmanvaihdon lämmityksen mitoituksen perusteena oleva kaukolämmön tuloveden lämpötila aiemmasta 115 °C lämpötilaan 90°C. Kuvassa 6 tällä hetkellä voimassa olevat mitoituslämpötilat lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimille. Mitoituslämpötilan laskeminen mahdollistaa tulevaisuudessa toimintalämpötilojen laskemisen, jolla saadaan koko energijärjestelmää tehokkaammaksi. Täten lämmönjakokeskusten lämmönsiirtimien pinta-alojen tulee kasvaa. Lämmönsiirtymisen tehokkuus heikkenee tulolämpötilan laskiessa. Tämän kompensoimiseksi pintaa-  
 laa tarvitaan lisää. Tarvittaessa on varmistettava lämmityksen säädön toimivuus myös aiemmalla mitoituslämpötilalla (115 °C), sillä kaukolämmön tulolämpötila mitoitusulkolämpötilassa tulee olemaan todellisuudessa vielä vuosia korkeampi ja täten kaukolämpöveden virtaama pienempi kuin mi-  
 hin säätöventtiili nyt mitoitetaan. (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021; Kaukolämpöasiakkaiden mitoituslämpötilojen laskeminen 2020, 17).

	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.	

KUVA 6. Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1 2021).

Ympäristöministeriön asetuksen 1047/2017 6 § mukaan lämpimän käyttöveden tulee olla koko järjestelmässä yli 55 °C. Tästä syystä järjestelmä tulee suunnitella ja mitoittaa niin, että lämmönsiirtimeltä lähtiessä veden lämpötila on vähintään 58 °C ja se saa olla enintään 65 °C (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1 2021, 9). Kuvassa 7 käyttöveden lämmönsiirtimien tämän hetkiset mitoituslämpötilat.

	LÄMMÖNSIIRTIMIEN MITOITUSLÄMPÖTILAT °C			
	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU (max)	KYLMÄ VESI	LÄMMIN VESI (min)
Käyttöveden lämmönsiirtimet	70	20	10	58

KUVA 7. Käyttöveden lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021).

Lämpimän käyttöveden lämpötila voi vaihdella johtuen lämmönsiirtimien pienestä vesitilavuudesta. Ongelman helpottamiseksi lämmönjakokeskuksiin voidaan asentaa niin sanottu tasaajasäiliö tasaämpöisen käyttöveden valmistamisen avustamiseksi (Mäkelä ja Tuunanen 2015, 89).

## 4.2 Pumput

Lämmitys- sekä käyttöveden kierto toteutetaan pumpuilla. Lämmönjakokeskuksissa käytetään keskikapoperaatteella toimivia pumppuja. Pumppuja valitessa tärkeitä tietoja ovat mitoitusvirtaama ja kokonaispainehäviö vaikeimmasta lämmityspiiristä. Haluttu virtaama ja paine-ero toteutetaan nensisijaisesti oikealla pumpun mitoituksella ja säädöllä, toissijaisesti virtaamaa kuristamalla. Melutason vuoksi yli 1500 rpm pumppuja ei suositella käytettäväksi. Sallitut enimmäisäänitasot löytyvät RakMk:n osasta C1. Pumpun valinta vaikuttaa lämmitysjärjestelmän oikeaan toimintaan. Pumput

mitoitetaan lämmönsiirtimien toiminta-arvojen mukaisilla virtaamilla. Mitoituslaskelmien mukainen nostokorkeus ja mitoitusvirtaama saavutetaan oikean tehoisella pumpulla. Myös pumpun hyötysuhde tulee ottaa laskelmissa huomioon ja on varmistettava, että pumpun toimintapiste sijaitsee sen hyötysuhteen osalta käyrästä korkeimmalla kohdalla. Lämmönjakokeskus voidaan joissain tapauksissa varmistaa varapumpulla, jos kyseessä on kriittinen toisioverkosto. Lämpimän käyttöveden kierto-pumpun tulee käydä jatkuvasti. Pumpuissa on oltava automaation lisäksi myös käsikäyttömahdollisuus (Mäkelä ja Tuunanen 2015, 77; Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021, 42).

#### 4.3 Säätö- ja mittauslaitteet

Säätöjärjestelmä koostuu säätölaitteista, kuten säätimet, toimilaitteet ja anturit. Lämmönjakokeskus voi olla yhteydessä rakennusautomaatioon tai toimia itsenäisenä lämmitysjärjestelmänä. Lämpöenergian kulutus on riippuvainen säätöjärjestelmästä ja säätölaitteiden asetuksista, joilla asiakas voi vaikuttaa käyttämäänsä tehoon. Lämmönmyyjä ei voi vaikuttaa asiakkaan säätölaitteisiin. Järjestelmäsäädöt määrittävät paluulämpötilatason, lämmönmyyjä vaikuttaa kaukolämpöveden menolämpötilaan, paine-eroon sekä painetasoon. Asiakas voi vaikuttaa lämmityksen taloudellisuuteen säätöjärjestelmään investoimalla. Säätölaitteiden tulee taata tasalämpöinen lämminkäyttövesi kaikissa suunnitelluissa käyttötilanteissa. (Mäkelä ja Tuunanen 2015, 80).

Mittaustietoa säätöjärjestelmälle luovuttavien lämpötila-antureiden on oltava pinta-antureita tai suo-jataskuihin asennettavia uppoantureita. Jos toisiopuolen huoltotoimenpiteet on mahdollista suorittaa ilman verkoston tyhjentämistä, voidaan toisiopuolelle asentaa lämpötila-anturi ilman suo-jataskua. Suojataskujen materiaalina käytetään ruostumatonta terästä EN 1.4301, haponkestävää terästä EN 1.4404 tai messinkiä. Mittauslaitteet on sijoitettava niin, että mittaustulokset ovat luotettavia. Esimerkiksi lämpötila-anturit on sijoitettava kohtaan, josta mitattu lukema kuvaa riittävän tarkasti siinä kohdassa vallitsevaa keskimääräistä lämpötilaa. Virtaaman mittauksen tarkkuus voidaan varmistaa muunmuassa 'rauhoitusputkella', eli riittävän pitkällä häiriöttömällä putkisuudella. (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021, 38).

#### 4.4 Putkistot ja liitokset

Lämmönjakokeskuksen ensiöpuolen putkien ja liitostapojen tulee kestää 120 asteen suunnittelulämpötilaa ja 1,6 Mpa suunnittelupainetta muuttumattomina. Putket mitoitetaan virtaamien mukaisesti. Meno- ja paluuputket tulee olla samaa kokoa. Putkistoissa ja liitoksissa käytetään yleisimmin terästä ja kuparia ensiöpuolella. Ensiöpuolella ei saa käyttää valurautaa. Toisiopuolella voidaan käyttää useammanlaisia putkistomateriaaleja matalampien lämpötilojen ja paineolosuhteiden vuoksi. Toisiopuolella voidaan käyttää teräksiä, kuparia ja erilaisia muovi- ja monikerrosputkia. Patterilämmityksissä käytetään terästä ja kuparia ja lattialämmityksissä muoviputkia matalampien lämpötilojen vuoksi. Venttiilien ja varusteiden tulee olla samaa putken kokoa. (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021).

Käyttöveden kanssa kosketuksissa olevista materiaaleista Ympäristöministeriö on asettanut seuraavaa " Vesilaitteisto on tehtävä sellaiseksi, että veden kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ei irtoa tai liukene veteen haitallisissa määrin terveydelle haitallisia tai vaarallisia aineita. Veden on

säilyttävä jatkuvasti laatuvaatimukset täyttävänä. Vesilaitteiston materiaaleina on käytettävä käyttö- tarkoitukseen sopivia laadultaan testattuja ja tarkastettuja materiaaleja ” (Ympäristöministeriön asetus kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistosta, 2007). Lämpimän käyttöveden putkistomateriaalina on täten käytettävä standardin SFS-EN 1057 /1/ mukaisia kupariputkia, messinkiä, ruostumatonta AISI 304 tai haponkestävää terästä AISI 316 (Ympäristöministeriön asetus kiinteistöjen vesi- ja viemärlaitteistosta, 2007). Messinkiä käytettäessä veden koskettamilta osin messinkiosat on tehtävä sinkin- kadon kestäviksi. Käytettäessä ruostumatonta tai haponkestävää terästä on muistettava hitsata suo- jakaasua käyttäen. Juurisuojatahnan käyttö ei ole hyväksyttävää sillä se sisältää asetonia, heksaa- nia, maaöljykaasua ja hiukan metanolia. Putkien puhdistus peittaamalla ei ole hyväksyttävä toimin- tatapa. Peittäus on ruostumattoman teräksen pintakäsittelyyn käytettävä menetelmä. Sitä käytetään hitsaamisesta aiheutuvan vähäkromisen oksidikerroksen poistamiseen, jolloin ruostumattoman te- räksen pintaominaisuudet palautuvat. Peittäusaine koostuu pääasiassa typpi- ja fluorivetyhapoista. (JVS-Steel Oy 2023.) Fluorivety on vahva happo, se syövyttää lasia, nahkaa ja useita metalleja. Ai- neen reagoiessa metallien kanssa voi muodostua helposti syttyvää vetykaasua. Emäkset, kalsium- oksidi, arseenitrioksidi ja vesi voivat reagoida fluorivedyn kanssa. Veden kanssa reagoiessa vapau- tuu myrkyllisiä ja syövyttäviä höyryjä. Fluorivedyn nielemisestä voi seurata vaikeita paikallisvam- moja, sokkitila ja jopa kuolema. Fluoridille altistuessa toistuvasti imeytyvän määrän ylittäessä noin kymmenkertaisesti väestön normaalin päiväannoksen, fluoridi alkaa kertyä luustoon ja nivelsiteisiin. Suuret fluoridimäärät aiheuttavat luuston heikkenemistä ja jäykkyyttä nivelissä. Pienille fluorivedyn pitoisuuksille toistuva altistuminen voi myös aiheittaa pistelyä silmissä ja kasvojen iholla sekä ärsy- tystä nenän limakalvoilla. (Työterveyslaitos 2022). Täten teräksen pintaominaisuuksien palautta- miseksi, vähäkromisen oksidikerroksen poistamiseksi soveltuva tapa on teräksen hitsaussaumojen harjaus.

#### 4.5 Venttiilit

Lämmönjakokeskuksessa sulkuventtiileinä käytetään palloventtiileitä, joiden virtausaukon tulee olla täysiaukkoisen. Sulkuventtiiliksi toisiopuolelle sopii kertasäätöventtiili, jos se on rakenteeltaan siihen soveltuva eikä säädön asetteluarvo venttiiliä sulkuna käyttäessä muutu. Venttiilit voidaan liittää put- kistoon joko hitsaamalla tai laippaliitoksien. DN20 kokoa pienempiä venttiileitä voidaan liittää en- siöpuolella kierrelitiitoksien. Toisiopuolella kierrelitiitoksille ei ole rajoitusta Suomessa. (Mäkelä ja Tuuna- nen 2015, 81).

Säätöventtiilit suositellaan sijoitettavaksi paluupuolelle, lisäksi on otettava huomioon kestävyys sekä käytön ja huollon tarpeet. Säätöventtiilien merkintöjen tulee olla luettavissa. Säätöventtiilit on varus- tettava helposti luettavalla säätöasennon osoittimella. Ensiöpuolen säätöventtiileiksi valitaan 2-tie- venttiileitä, joiden sulkupainevaatimus on 1,0 Mpa toimilaitteineen ja joiden vuotovirtaus on enin- tään 0,05 % kvs-arvosta. Säätöventtiilien täytyy kestää kaukolämpöverkossa esiintyvät, lianerotti- men suodattimen läpäisevät epäpuhtauspartikkelit. Säätöventtiilien on oltava laipallisia tai laippojen väliin asennettavia. Tasotiivisteinen ulkokierrelitiitus vastaa rakenteeltaan laippaliitosta. Kokoon DN20 asti voidaan asentaa pientalojen säätöventtiilit kierrelitiittimin. Kestäviä materiaaleja säätöventtiilin sulkupinnoissa ovat muun muassa ruostumaton teräs (esim. AISI 304) ja haponkestävä teräs (esim. AISI 316). (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021).

Yksiotehanojen nopea avattavuus ja suljettavuus johtaa suuriin ja nopeisiin lämpimän käyttöveden teho- ja virtaamavaihteluihin. Tämä asettaa huomattavat vaatimukset käyttövesisirrinten ensiöpuolen säätöventtiilin mitoitukselle, valinnalle ja viritämiselle, jotta saadaan varmistettua lämpimän käyttöveden tasainen laatu. (Mäkelä ja Tuunanen 2015, 89).

#### 4.6 Paisunta- ja varolaitteet

Paisuntajärjestelmänä tulee käyttää suljettua järjestelmää, kuten kalvopaisuntasäiliötä tai kaasutäyteistä paisuntasäiliötä. Nämä säiliöt soveltuvat paisuntajärjestelmään, jossa säiliön paine on korkeintaan 600 kPa. Paisuntaputki tulee liittää paluuputkeen pumpun imupuolelle lämmönsiirtimen ja sulkuventtiilin väliin. Jos paisuntaputki edellisestä poiketen on asennettu sulkuventtiilin verkoston puolelle, tulee vahinkokäytön estämiseksi lämmönsiirtimen puolelle ensimmäisten toisiopuolen sulkuventtiileiden väliin asentaa varoventtiili. (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021).

Lämmönjakokeskus tulee varustaa vähintään DN15 koon varoventtiilillä. Suunnitellun toimivuuden varmistamiseksi varoventtiilejä on hyvä olla kaksi kappaletta. Varoventtiili asennetaan useimmiten paisuntajohtoon tai sen liitoksen läheisyyteen. Jokaiseen varoventtiiliin liitetään ulospuhallusyhteet, jotka johdetaan 100 mm:n etäisyyteen lattiasta. Ulospuhallusputkien on oltava vähintään varoventtiilin ulospuhallusaukon kokoa. Verkoston täyttöputki tulee liittää niin, ettei liitoskohdan ja paisuntaputkessa olevan varoventtiilin välillä ole suljettavaa venttiiliä. (Mäkelä ja Tuunanen, 2015, 83. Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021).

#### 4.7 Lianeroitin

Lianerottimen tarkoitus on estää epäpuhtauksien pääsy lämmönsiittimeen. Lianerottimen tulee olla puhdistettavissa ja sen DN-koko tulee olla vähintään putken kokoa. Lianerotin sisältää suodatinverkon, jonka silmäkoon tulee olla max. 1,0 mm. Lianerotinta suositellaan käytettäväksi lämmönsiirtimen kaukolämmityksen tulo- ja lämmityspaluujohtossa. (Mäkelä ja Tuunanen 2015, 82).

#### 4.8 Paine-erosäädin

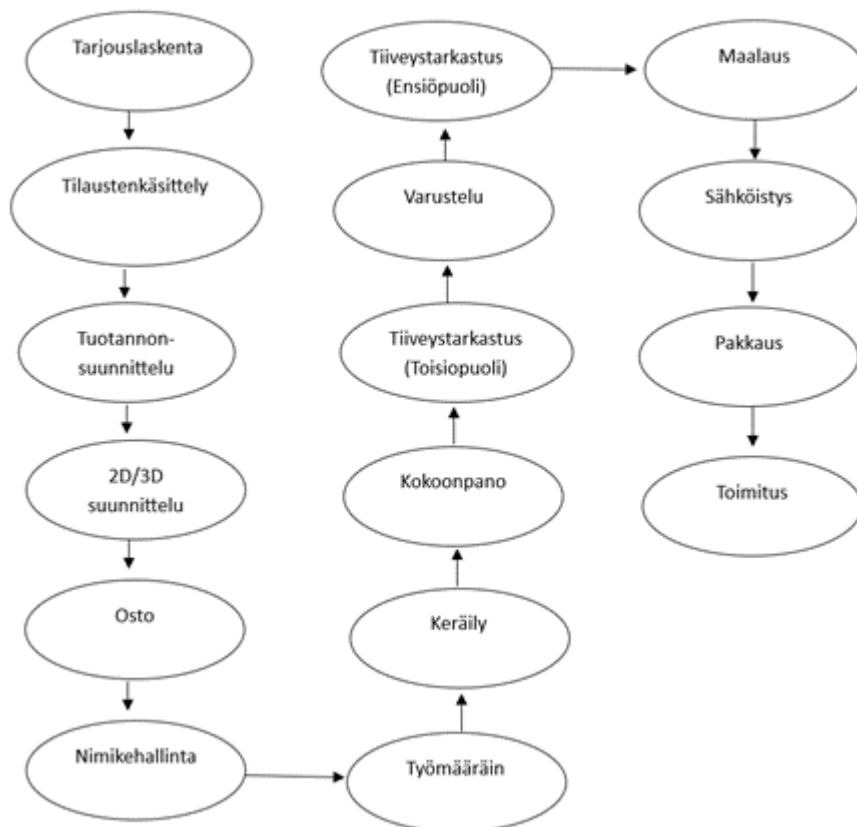
Kaukolämmityksen paine-eron vaihdella enemmän kuin 4 baria suositellaan käytettäväksi paine-erosäädintä. Lämmönmyyjän ilmoittaessa jo suunnitteluvaiheessa paine-erosäätimen tarpeesta, se kuuluu tällöin lämmönjakokeskukseen. Paine-eron säätölaitteet on mitoitettava niin, että paine-ero on säädettävissä noin 1,5 bariin riippuen säätöventtiilin mitoituksesta. Paine-erosäätö kohdistetaan koko lämmönjakokeskukselle. Paine-erosäädin mitoitetaan laskien lämmönjakokeskuksen virtaamat paine-erojen ollessa pienimmillään ja suurimmillaan (esim. kesä- ja talvitilanne). Venttiilin DN-koko ja jousi valitaan siten, että paine-eron rajaaminen noin 1,5 bariin on mahdollista suurimman paine-eron aikana. Valitun säätöventtiilin auktoriteetti ja paine-erosäätimen aiheuttama painehäviö tarkastetaan pienimmän paine-eron aikaisella virtaamalla, paine-eroventtiilin ollessa täysin auki (Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1, 2021; Mäkelä ja Tuunanen 2015, 82).

## 5 VALMISTUSPROSESSIN KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET

Lämmönjakokeskuksen tilaus käy läpi monta vaihetta ennen varsinaisen valmistuksen aloittamista. Kuvassa 8 on kuvattu lämmönjakokeskuksen tilauksen etenemistä Gebwell Oy:ssä. Tarjouslaskenta laskee lämmönjakokeskukselle tarvittavat pumput, lämmönsiirtimet ja muut tarvittavat komponentit, sekä mitoittaa ne yksilöllisesti tarpeen mukaan. Tarpeet vaihtelevat kiinteistökohtaisesti riippuen siitä, mihin lämmönjakokeskusta tullaan hyödyntämään.

Tilausten käsittelyssä tilaus viedään sähköiseen järjestelmään ja tilaus dokumentoidaan sähköisesti. Tilausten käsittelyssä tehdään työmääräin, jonka jälkeen tilaus välitetään tuotannon suunnitteluun. Tuotannon suunnittelussa työ ajoitetaan tuotantoon, jolloin saadaan arvioitua toimitusaika. Prosessi etenee tästä ostoon sekä 2D-suunnitteluun, tarvittaessa isompien ja haastavampien kokonaisuuksien osalta 3D-suunnitteluun sekä nimikehallintaan. Nimikehallinta tekee tilauksille rakenteen suunnittelun pohjalta toiminnanohjausjärjestelmään.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään vakiolämmönjakokeskusten valmistusprosessin toiminnankehittämismahdollisuuksiin. Vakiolämmönjakokeskuksen valmistus alkaa osavalmistuksella eli valmistetaan massatuotantona suurempia määriä samaa osaa. Näistä valmisosista kokoonpannaan yksilöity lämmönjakokeskus.



KUVA 8. Virtauskaavio (Kumpulainen 2023)

## 5.1 Lämmönjakokeskuksen kokoonpanon standardisointi

Aihe valikoitui opinnäytetyön osaksi suorasta tarpeesta ohjeistusten laadintaan pienempien lämmönjakokeskusten ohjeistuksien ja kokoonpanon standardimenetelmien puutteesta. Standardikokoonpanon määrittely toteutettiin seuraamalla vakiolämmönjakokeskusten kokoonpanoa, ottamalla huomioon kokoonpanoa uusille työntekijöille perehdyttävien asiantuntijoiden ehdotuksia ja huomioita kokoonpanon ongelmakohdista ja kehityskohteista. Osissa uusien työntekijöiden kokoonpanemissa keskuksissa on havaittu esimerkiksi asennusteknisiä virheitä, visuaalisia laatuvirheitä kuten huolimaton kitin käsittely tai huolimattomasti tehtyjä hammputliitoksia. Myös seuraavissa työvaiheissa on havaittu toisinaan ongelmia aikaisemman kokoonpanovaiheen aikana, kuten valmiin keskuksen asettaminen liian pienelle kuormalavalle tai kiristämättä jääneet liitokset, jotka aiheuttavat logistiikan ongelmia sekä koeponnistuksien epäonnistumisia. Tämänkaltaiset huolimattomuusvirheet aiheuttavat hukkaan menevää työaikaa useammalta työntekijältä ja saattavat aiheuttaa viivästyksiä toimitusprosessiin. Koko valmistusprosessin aikana on huolehdittava, että lämmönjakokeskuksen mukana kulkevat keskuskohtaiset dokumentit, jotta valmistusprosessin joka osassa on keskuksista nopeasti toimitettavissa keskuksen tiedot. Dokumenttien kadotessa saattaa aiheutua suurikin selvitystyö siitä, mille tilaukselle keskus on. Lisäksi on tärkeää säilyttää tilauksen kaikkien komponenttien dokumentit, jotta ne saadaan toimitettua lämmönjakokeskuksen mukana asiakkaalle.

Ohjeistuksessa on painotettu kokoonpanovaiheen lopputarkastuksen suorittamista huolellisesti. Kokoonpanon lopputarkastuksessa varmistetaan, että kaikki kytkentäkaavioon merkityt komponentit ovat asennettu keskukseseen ja että ne ovat asennettu virtaussuuntineen oikein oikealla kiristysmomentilla. Tarkastuksessa varmistetaan putkilinjojen oikeaoppinen asennus ja suoruus. Lopuksi kerätään mahdolliset huomiot mekaanisista ja/tai visuaalisista virheistä ja ohjeistetaan korjaamaan ne. Huolimattomasta tarkastuksesta voi aiheutua toimintahäiriöitä, reklamaatioita ja taloudellista tappiota. Keskustuote tulee tarkastaa jokaisen työvaiheen jälkeen oman työnsä osalta. Lopputarkastus suoritetaan ennen pakkausta, jolloin on haastavampaa lähteä korjaamaan esimerkiksi kokoonpanossa sattunutta virhettä, jos se on jäänyt aiemmin huomaamatta. Huolella suoritettu lopputarkastus tuo mukanaan tasaisen hyvälaatuisia tuotteita, joka vaikuttaa suoraan asiakastytyväisyyteen.

Koska prosessia voi olla vaikea tulkita pelkästä kirjallisesta ohjeesta, on sen havainnollistamiseksi siihen lisätty myös kuvat jokaisesta kokoonpanoprosessin vaiheesta. Kokoonpano-ohjeistuksen liitteenä on 3D-kuva lämmönjakokeskuksesta, johon on nimetty vakiokeskuksen komponentit prosessi-kaaviomerkinnein. Kytkentäkaavion lukeminen helpottuu, kun vakiokeskuksen kytkentäkaavion sisältämien komponenttien kaaviomerkinneet on tarkastettavissa ohjeesta.

Liitteen 1 KOKOONPANO-OHJEISTUS, VAKIOKESKUKSET on suunnattu uusille työntekijöille, jotka aloittavat yksinkertaisimpien kaukolämmönjakokeskusten kokoonpanosta. Kohderyhmä valikoitui vasta-aloittaneisiin, sillä on havaittu, että aloittelevilla työntekijöillä on usein toistuvia kysymyksiä tai virheitä kokoonpanovaiheessa. Lisäksi on havaittu, että valmiissa lämmönjakokeskuksissa on ollut runsaasti vaihtelua eriävistä toimintatavoista johtuen. Vaihtelu on näkynyt lämmönjakokeskusten ulkonäössä. Jos on esimerkiksi tilattu kolme samanlaista ja samat komponentit sisältävää keskusta,

eri toimintatavoista johtuen niiden ulkoasu on voinut olla erilainen. Tästä syystä asiakkaat ovat voineet ajatella niiden eroavan myös toiminnallisuuksiltaan.

Ohjeistuksen tarkoitus on toimia muistin tukena kokoonpanotyöskentelyn alkuvaiheessa. Se säästää kouluttajan aikaa yleisimpien ongelmakohtien selvityksessä kirjallisesta ohjeesta, joka on helposti työntekijöiden saatavilla. Lisäksi sen tarkoitus on pitkällä aikavälillä vähentää vaihtelua valmiiden lämmönjakokeskusten ulkonäössä, kun toimintatavat ovat kaikilla työntekijöillä yhtenäisemmät. Liite 2 KOKOONPANOKUVA, VAKIOKESKUKSET sisältää 3D-kuvan vakiokeskuksesta, jonka tarkoituksena on helpottaa uusien työntekijöiden tietotulvaa työskentelyn alkuvaiheessa, kun uusia termejä ja muistettavia asioita on paljon. Komponenttien nimet ja prosessikaaviomerkinnot ovat helppo tarkistaa mukana kulkevasta ohjeistuksesta.

Gebwell Oy:n nettisivuille on lisätty opinnäytetyön tekoaikana myös artikkeli, jossa on kerrottu kytkentäkaaviota hyödyntäen kaukolämmönjakokeskuksen sisältämistä komponenteista ja niiden tehtävistä. Kokoonpano-ohjeistus ja artikkeli yhdessä mahdollistavat keskustuotteeseen tutustumisen helposti ja auttavat uutta työntekijää saamaan nopeasti käsityksen keskustuotteesta, jonka parissa he työskentelevät. Kokoonpano-ohjeistus ja artikkeli tukevat toisiaan, sillä esimerkiksi 3D-kuva helpottaa kytkentäkaavion tulkitsemista, kun siitä on tarkastettavissa milta komponentit ja niiden prosessikaaviomerkinnot näyttävät.

## 5.2 Lämmityspiirin kehittämismahdollisuudet

Opinnäytetyössä selvitetään mahdollisuuksia kehittää lämmityspiirin valmistusprosessia. Suomen ja Ruotsin vakiomallit ovat muotoutuneet toisistaan poikkeaviksi erilaisten tarpeiden ja vaatimusten johdosta. Messingistä valetun valmisosan hyödyntämistä on pohdittu jo aiemmin Gebwell Oy:n toimesta ja aihetta on toivottu tutkittavan lisää tässä opinnäytetyössä. Valuosaa voisi hyödyntää pienin alkuinvestoinnein sekä Suomen että Ruotsin vakiokeskuksiin.

Messinkiseoksia on erilaisia, sisältäen kuparia, sinkkiä ja useimmiten myös lyijyä. Seoksilla jokaisella on erilaisia ominaisuuksia esimerkiksi vahvuudessa, sitkeydessä, korroosionkestävyydessä, työstettävyydessä, lämmön ja sähkönjohtavuudessa. Messinki kestää korroosiota paremmin kuin rauta ja useat teräkset, vähentäen täten huolto- ja korjaustarpeita. Messingin materiaalihinta on useissa tapauksissa kalliimpi kuin muilla vaihtoehtoisilla materiaaleilla, mutta usein hintaero voidaan voittaa takaisin jo valmistus- ja työstövaiheessa. Messinkiosiin voidaan valamalla oikeinlaisilla muoteilla saada aikaan monia piirteitä ja rakenteellisia ominaisuuksia, mitkä muista materiaaleista rakennettuihin kokonaisuuksiin vaatisivat esimerkiksi hitsausta ja muuta mekaanista työstämistä. Esimerkiksi putkiliitokset tai kierrelitiitokset voidaan messinkiosaan valaa suoraan. Koska messinki ei ole yhtä luja materiaalia kuin rauta, vaativat messinkiliitokset enemmän huolellisuutta kiristysmomentin suhteen.

### 5.2.1 Suomen vakiolämmönjakokeskus

Suomen vakiolämmönjakokeskuksen lämmityspiirin paluuputkisto-osan (tästä eteenpäin LJP-putkisto) valmistuksessa on ilmennyt toistuvasti samoja virheitä, jotka ovat aikaa vieviä korjata kokoonpanovaiheessa. Virheitä ovat vinoon hitsatut liittimet ja putken virheellinen taivutuskulma. Hitsattujen liittimien vinous johtuu pääasiallisesti huolimattomuudesta valmistusprosessissa. Osien positiointi tulee varmistaa aina osien väliaikaisen pistehitsauksen jälkeen vatupassia ja suorakulmaa käyttäen. Putkisto-osan hitsausvirhe tapahtuu, kun hitsattava liitin on pistehitsattu vinoon ennen kehäkoneella hitsausta. Apuna liittimen suoraan saamiseen pistehitsatessa toimisi tarkoitukseen tehty jig. Gebwell Oy:llä oli samanaikaisesti opinnäytetyöni kanssa selvityksessä mahdollinen laipoituskoneen hankinta, jolloin liittimiä ei ole tarvetta enää hitsata. Laipoituskoneen ansioista putkiin saataisiin tehtyä laipointus liittimiä varten. Tällä hetkellä Gebwell Oy ostaa putkea valmiiksi laipoitettuna. Laipoituskone tekisi jigihankinnan turhaksi. Laipoituskonehankinnan toteutuessa messinkistä valuosaa lämmityspiirissä käyttäen ei vakiotapauksissa tarvittaisi yhtäkään hitsisaumaa.

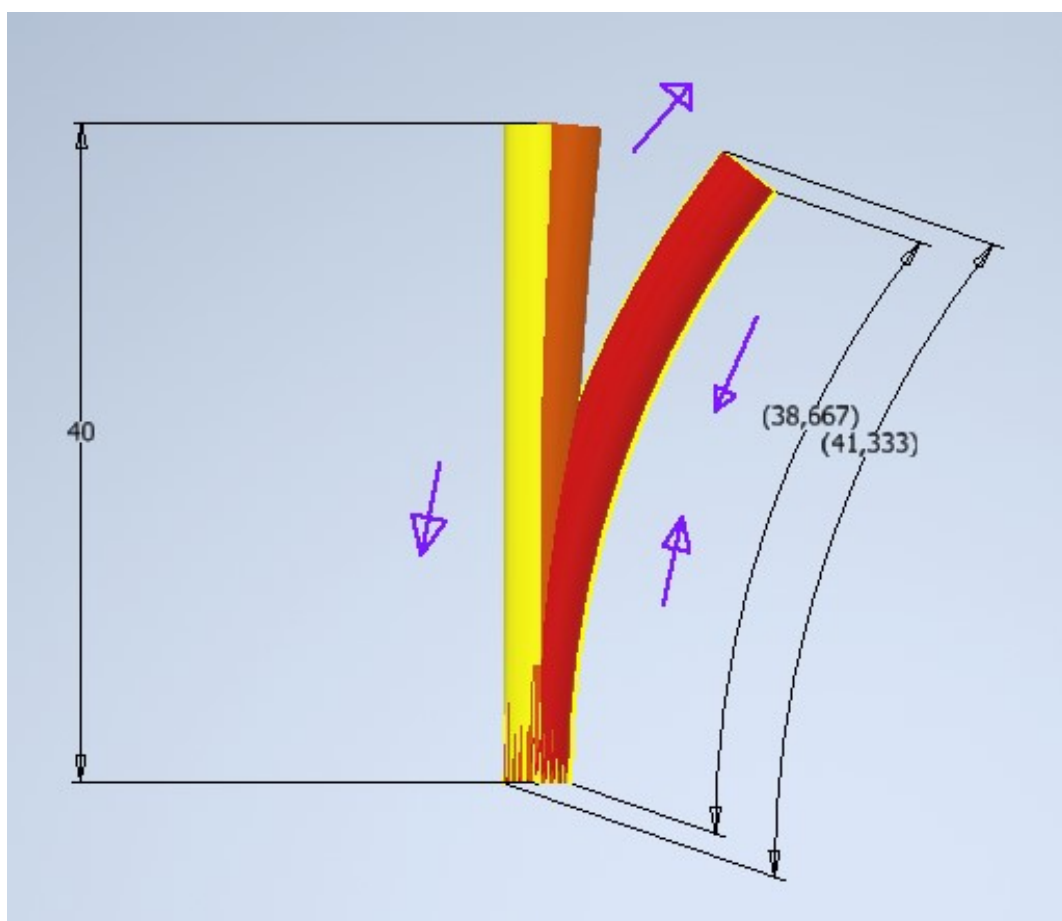
Suomen LJP-putkenosaan hitsataan nippakoneella neljä nippaa; tyhjennykselle lämpömittarille, täytöntönttiiliryhmälle sekä ilmauskoneelle. Valuosassa olisi nämä tarvittavat nipat jo valmiina, joten poraukset sekä hitsaukset jääväisivät Suomen osan tapauksessa tällöin pois. Mitä vähemmän hitsaumoja tehdään, vähenee myös hitsausvirheiden ja huollontarpeen mahdollisuus. Lisäksi mikäli Gebwell Oy päätyy hankkimaan laipoituskoneen, Suomen LJP-putkisto-osa voitaisiin toteuttaa ainoastaan kaksi putken taivutusta vaativalla putkella yhdessä messinkiosan kanssa. Ei siis tarvetta yhdellekkään hitsisaumalle.

Valuosaa voitaisiin hyödyntää myös Suomen vakiolämmönjakokeskuksen lämmityspiirin meno-putken (tästä eteenpäin LJM-putkisto) osalta. Nykyään LJM-putkeen hitsataan nipat lämpömittaria sekä -anturia varten ja putkiaihio taivutetaan kahdesta kohtaa. Valuosassa tarvittavat nipat olisivat valmiina ja putken taivutus jäisi osin kokonaan pois. Lämmönsiirtimestä riippuen putkilähtöjen välit vaihtelevat ja joissakin tapauksissa putkien linjakoosta riippuen menoputki vaatii yhden taivutuksen.

Putken virheellinen taivutussäde voi osin johtua teräksen materiaalin vaihtelusta. Teräs pyrkii palautumaan taivutuksen jälkeen takaisin alkuperäiseen muotoonsa elastisen alueen verran. Teräksen palautuminen plastisen muutoksen jälkeen riippuu materiaalin vetolujuudesta, materiaalin seinämävahvuudesta, taivutettavan materiaalin lämpötilasta, käytetyistä työkaluista ja taivutuksen tyypistä. Myös osan jäähtymisellä on vaikutusta taivutuksen jälkeiseen palautumiseen. Taivutettaessa materiaalin molekyylit ovat ulkopuolella taivutusta rasituksessa ja sisäpuolella kompressiossa. Näiden vaikutuksesta tapahtuu teräksen palautumista. (The Fabricator 2014). Teräksen laatu vaihtelee eräkohtaisesti. Palautumista voitaisiin ennakoida mittaamalla jokaisesta erästä palautumisaste ja ylitaivuttaa putkia tuon palautumisprosentin verran. Tämä taas veisi enemmän työaikaa, josta koituu lisäkustannuksia.

Kuvassa 9 on havainnollistettu taivutuksen elastista ja plastista osaa. Kuvassa keltainen putki on alkuperäinen, taivuttamaton putki. Putkea voidaan taivuttaa elastisen osan verran putken muuttamatta pysyvästi muotoaan. Havainnollisuuden vuoksi esimerkiksi oranssin putken myötörajaa kuvataan taivutukseen. Elastisen muutoksen, keltaisen ja oranssin putken välin jälkeen siirrytään plastisen muodonmuutoksen vyöhykkeelle, jolloin putki muuttaa pysyvästi muotoaan. Kun taivuttava

voima poistetaan tuloksena on muotoaan muuttanut, taipunut putki. Plastisen taipumisen jälkeenkin putkessa on jäljellä elastista taipumista, jolloin taivutusvoiman poistuessa tapahtuu elastisen osuuden palautuminen. Putki ei siis jää plastisenkaan taivutuksen jälkeen täsmälleen taivutettuun kulmaan, vaan putki palautuu hieman. Plastisen muodonmuutoksen jälkeen tapahtuva palautuminen on hankala täsmällisesti määrittää ylitaivuttamista varten, koska putkissa on materiaalivahvuuksissa ja metallin seoksissa pieniä eräkohtaisia eroja. Putken kaarteessa olevat molekyylit jäävät jännityksen alle puristukseen ja ulkokaarteessa olevat molekyylit puolestaan jännitykseen. Tämä aiheuttaa taivutuksen jälkeen putken palautumista, koska voimat yrittävät päästä tasapainoon. Nuolet ja mitat kuvaavat molekyyliden puristusta ja venymistä taivutuksen aikana. Kun taivutusvoima poistuu puristuksessa ja venytyksessä olevat molekyylit pyrkivät palautumaan ja putki suoristumaan.



KUVA 9. (Kumpulainen 2023)

Mahdollista on myös virheellisesti suoritettu putken taivutus. Kehitysmahdollisuutena ongelmaan on aiemmin Gebwell Oy:n toimesta pohdittu messinkisen valuosan käyttöä. Ratkaisua aiheeseen ei tällöin tullut, joten tätä toivottiin tutkittavaksi lisää. Valuosalla putkea saataisiin passattua kokoonpanossa suoraan, vaikka se olisikin taivutettu tai palautunut taivutuksen jälkeen hieman vinoon viitearvosta. Lisätuna valuosan käyttö vähentäisi hitsaustarvetta.

Korjattava putki on lämmitettävä ja muotoiltava uudestaan. Lopuksi myös paikkamaalattava uudelleen. Tapauskohtaisesti tähän on arvioitu kuluvan työaika noin 15-20 minuuttia viallista osaa kohden. Viallisen taivutuksen omaavia osia on arviolta keskimäärin noin 100 kappaletta vuodessa. Näin ollen korjauksen kustannuksiksi on arvioitu noin 1167 euroa vuodessa. Tarjouskyselyitä on tehty

kotimaisiin valutuotteita valmistaviin yrityksiin. Nykyinen toimintamalli on kaikki kustannukset huomiottaen kustannustehokkaampi tapa.

### 5.2.2 Ruotsin vakiolämmönjakokeskus

Ruotsin 2-piirisen vakiokeskuksen lämmityksen paluuputkisto on nykyiseltään epäkäytännöllisen muotoinen jyrkän taivutuksen takia. Se ei mahdu pyörimään kehähitsauskoneella, joten vaatii kaksi käsin hitsattavaa saumaa, supistukselle ja liittimelle. Tämä vie enemmän työaikaa ja mahdollistaa hitsausvirheitä, kun putkea on hitsatessa liikutettava käsin. Lisäksi ongelmakohtana on lämmönsiirtimen ja LJP-putken välisen tilan ahtaus. Tämän takia joillakin lämmönsiirrintyypeillä, tila on niin ahdas, että lämmönsiirtimen eriste joudutaan asentamaan ennen LJP-putkea. Putken asentamisen jälkeen eristettä ei saa enää pois. Tämä on epäkäytännöllistä myös laitteen mahdollisen huollon kannalta. Jos lämmönsiirrintä olisi tarvetta huoltaa, olisi tieltä purettava LJP-putki edestä pois, ennen kuin pääsee käsiksi lämmönsiirtimeen.

Ratkaisuna edellä mainittuihin ongelmakohtiin on pohdittu muun muassa valuosan käyttöönottoa ja mitä hyötyjä sillä saavutettaisiin. Valuosan etuna tulisi putken taivutussäteen loiveneminen joka mahdollistaa hitsauksen kehäkoneella. Samalla myös ongelma lämmönsiirtimen eristeen suhteen katoaa. Kehäkoneen käyttö putkirakenteen valmistuksessa helpottaa hitsareiden työskentelyä sekä säästää työaikaa. Lisäksi hitsausvirheiden todennäköisyys pienenee kun putken kääntäminen voidaan suorittaa koneellisesti ja tarkasti, ilman käsin kääntämisen tarvetta.

## 6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli lämmönjakokeskusten kokoonpanon standardisointi, ohjeistus- ja työssäoppimismateriaalin laatiminen, sekä valmistusprosessin kehitysmahdollisuuksien kartoittaminen. Aiheeseen tutustuttiin seuraamalla kokoonpanoprosessia ja tutustumalla kokoonpanon perehdytyksestä vastuussa olevien henkilöiden huomioihin aiheesta. Oman tutkimuksen ja havaintojen, sekä perehdyttäjien huomioiden perusteella ohjeistuksista koottiin Wordin avulla pdf-tiedosto, sekä Autodesk Inventor Professional 2021 -ohjelman avulla vakiokeskuksen 3D-mallin pohjalta tehty dwg-tiedosto. Dwg-tiedosto muutettiin pdf-muotoon, jotta se olisi helposti käytettävissä kaikilla laitteilla ja tulostettavissa paperiversiona.

Opinnäytetyössä laaditut ohjeistukset ja materiaalit eivät kirjoitushetkellä ole vielä käytössä, joten tuloksia on tässä vaiheessa mahdotonta arvioida luotettavasti. On kuitenkin odotettavissa, että laaditut ohjeistukset auttavat suoraviivaistamaan kokoonpanoprosessia ja huolella noudatettuna auttavat välttymään virheilä, jotka johtuvat puutteellisesta ohjeistuksesta. Pitkällä aikavälillä odotettu tulos on kokoonpanijoiden toimintamallien yhtenäistyminen jo heti työsuhteen alusta alkaen.

Toisena osana opinnäytetyötä tutkittiin toiminnan kehitysmahdollisuuksia toimeksiantajan Gebwell Oy:n tuotannossa havaittuihin kehityskohtiin. Kehitysmahdollisuuksia tutkittiin saatujen tarjousten perusteella tehdyn kustannusvertailun kautta sekä arvioimalla kehitysmahdollisuuksien hyötyjä sekä haittoja. Kehitysmahdollisuuksina opinnäytetyössä tutkittiin Suomen vakiolämmönjakokeskuksen kokoonpanon ja lämmityspiirin valmistuksen tehostamista. Kehitysmahdollisuutena on Gebwell Oy:n toiveesta tutkittu messinkiosan käyttöä. Messinkiosan todettiin tuovan hyötyjä Suomen, että Ruotsin vakiolämmönjakokeskusten lämmityspiirien valmistus- ja kokoonpanovaiheisiin. Kustannusvertailun kautta messinkiosan käyttöönotto todettiin kuitenkin kannattamattomaksi. Suomen vakiokeskuksen lämmityksen paluupiiri tulisi kustantamaan messinkiosaa käyttäen 4,40 euroa enemmän joka lämmönjakokeskukselta. Arvio nykyisistä korjauskustannuksista vuodessa ei kata lisääntyvää materiaaliulua. Ruotsin LJP-putkiosan kehitystarpeeksi ilmeni putken pidentäminen asennustilan lisäämiseksi. Asennustilan kasvu helpottaa ja siten nopeuttaa kokoonpanoprosessia ja myöhemmin mahdollisia huoltotoimenpiteitä. Kustannusarvio osoitti, että muutos on taloudellisesti kannattava tehdä.

Opinnäytetyön teoreettiseen osuuteen löytyi runsaasti tutkimustietoa suomen kielellä, mikä helpotti kirjoitusprosessia. Kirjallisten lähteiden lisäksi sain paljoa tietoa ja apua myös useilta Gebwell Oy:n työntekijöiltä. Haasteita toi opinnäytetyön sirpaloituminen useampaan pieneen tutkittavaan osuuteen. Aihe olisi tullut määritellä ja rajata tarkemmin jo suunnitteluvaiheessa. Lisäksi olisi ollut hyödyllistä kartoittaa ohjaavaihtoehtoja laajemmin vastaamaan opinnäytetyön tarkoitusta ja tavoitteita, jolloin aihe olisi pysynyt alkuperäisen suunnitelman mukaisena ja paremmin toimeksiantajan ajatusta vastaavana. Työskentely olisi tullut myös aikatauluttaa tarkemmin suunnitteluvaiheessa. Haasteita aikataulussa pysymiseen toi esimerkiksi se, että aihe sisälsi kustannusarvioiden tekoa, joka taas edellytti tarjouspyyntöjen tekemistä. Tarjouspyyntöjen vastausajat vaihtelevat, mikä olisi tullut ottaa huomioon jo suunnitelmaa tehdessä.

Vaikka aiheen rajaamisessa ja aikatauluissa oli haasteita, tuloksena saatiin kuitenkin standardisoitua vakiolämmönjakokeskuksen kokoonpano, laadittua ohjeistus- ja työssäoppimismateriaalia ja toiminnan kehitysmahdollisuuksia. Taivutusten ja hitsausvirheiden osalta selkeää ratkaisua ei löytynyt, mutta jo edellä luetellut tulokset tehostavat yrityksen toimintaa. Hitsausvirheisiin ei paneuduttu työssä tarkemmin, sillä yritys on mahdollisesti ottamassa käyttöön laipoituskoneen, joka poistaisi nykyiset ongelmat.

Jatkotutkimuksia ajatellen voisi olla tarpeellista tehdä standardisointia ja ohjeistuksia lämmönjakokeskuksen keräilyvaiheeseen yhteistyössä keräilijöiden kanssa. Vakiolämmönjakokeskuksilla ei ole Gebwell Oy:llä käytössä olevassa toiminnanohjausjärjestelmässä tuote-rakenteita, eli yksityiskoh- taista tietoa siitä, mitä valmisosia ja komponentteja lämmönjakokeskus sisältää. Tämä johtuu siitä, että komponentit ja linjakoot on mitoitettava kiinteistökohtaisesti, kaikki keskuksella ovat siis poik- keavia toisistaan ja olisi aikaa vievää manuaalisesti lisätä joka keskukselle tuoterakenne koodeineen. Keräilijöillä on täten arvokasta hiljaista tietoa, josta olisi hyvä koostaa ohjeet mahdollisten uusien työntekijöiden keräilytyöhön perehdyttämisen helpottamiseksi.

## LÄHTEET

- A1120 Virtaustekniikka ja lämmönsiirto 2019. Aalto-yliopiston luentomateriaali. Pdf-tiedosto. CHEM-A1120 Virtaustekniikka ja lämmönsiirto, Virtaustekniikka ja lämmönsiirto pruju 2019.pdf. Viitattu 21.4.2023
- Benson, S. (2014). Bending Basics: The hows and whys of springback and springforward. Haettu 25.4.2023 osoitteesta The Fabricator:  
<https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/bending/bending-basics-the-hows-and-whys-of-springback-and-springforward>
- Energiatehokas lämmönsiirto, Motiva 2016
- Energiateollisuus ry 2007. ET-kaukolämpökansio 3/3 Viitattu 22.3.2023 osoitteesta: Microsoft Word - suos-KK3-07\_luonnos 250607.doc (energia.fi).
- Energiateollisuus ry 2006. Kaukolämmön käsikirja. Helsinki: Kirjapaino Libris Oy.
- Energiateollisuus ry 2023. Verkkojulkaisu. Päivitetty 26.01.2023. Energiavuosi 2020 Kaukolämpö. Viitattu 31.3.
- Energiateollisuus ry 2023. Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021. Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2021 (fortum.fi). Viitattu 29.3.2023.
- Energiatehokas lämmönsiirto, Motiva 2016
- Gebwell Oy 2023. Yrityksen tiedot. Gebwell Oy:n verkkosivusto: Meistä (gebwell.fi). Viitattu 3.4.2023.
- Gebwell Oy 2023. G-Power - Kaukolämmönjakokeskus. Gebwell Oy:n verkkosivusto: G-Power® - kaukolämmönjakokeskus (gebwell.fi). Viitattu 11.4.2023.
- Harju, Pentti 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Anjalankoski: Solverpalvelut Oy.
- JVS-Steel Oy 2023. Peittaus. JVS-Steel Oy:n verkkosivusto: Peittaus - JVS-Steel. Viitattu 24.4.2023.
- Kaukolämpöasiakkaiden mitoituslämpötilan laskeminen 2020. AFRY Finland Oy. Pdf-tiedosto. Julkaistu 12.08.2020. KL-asiakkaiden mitoituslämpötilan laskeminen (energia.fi). Viitattu 21.4.2023
- KL-Lämpö 2023. KL-Lämpö Oy:n verkkosivusto: Lämmönsiirrinpalvelut. Parempaa energiatehokkuutta lämmönsiirtimien puhdistus-, huolto- ja varaosapalveluilla | KL-Lämpö Oy (kl-lampo.com). Viitattu 21.4.2023
- Loimua, julkaisuaika tuntematon. Miten kaukolämpö toimii? Verkkojulkaisu. Kaukolämpö - Loimua. Viitattu 02.04.2023.
- Mäkelä, Veli-Matti & Tuunanen, Jarmo 2015. Suomalainen kaukolämmitys. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- The Brasses, properties & applications. Copper Development association, 2005. ([https://www.nationalbronze.com/pub-117---the-brasses\\_whole\\_web-pdf.pdf](https://www.nationalbronze.com/pub-117---the-brasses_whole_web-pdf.pdf) s,8,15). Viitattu 10.4.2023.le
- Työterveyslaitos 2022. OVA-ohjeet, Fluorivety ja fluorivetyhappo. Verkkojulkaisu. Päivitetty 12.8.2023. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet: Fluorivety ja fluorivetyhappo (ttl.fi). Viitattu 24.4.2023
- Ulkoministeriö 2023. Ulkoministeriön globaalikasvatusaineisto kouluille. Verkkojulkaisu. Energia ja ilmastonmuutos - Maailma 2030. Viitattu 31.3.2023.



## LIITTEET

LIITE 1 KOKOONPANO-OHJEISTUS, VAKIOKESKUKSET

LIITE 2 KOKOONPANOKUVA, VAKIOKESKUKSET

Liitteet ovat toimeksiantajan Gebwell Oy:n sisäistä tietoa.