



# Osateholle mitoitetun lämpöpumpun integrointi lämmitysjärjestelmään

Lämpöpumppu latentilla lämpövarastolla

Antti Virta

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2020

Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-Talotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Talotekniikan koulutusohjelma  
LVI-Talotekniikka

VIRTA ANTTI:

Osateholle mitoitettun lämpöpumpun integrointi lämmitysjärjestelmään  
Lämpöpumppu latentilla lämpövarastolla

Opinnäytetyö 96 sivua, joista liitteitä 9 sivua  
Toukokuu 2020

---

Työ tehtiin osana SMART CASE NZEB -tutkimushanketta, joka toteutetaan TAMK:n ja MUAS:n sekä yhteistyöyritysten välillä. Hankkeessa tutkitaan energiajärjestelmien optimointia sekä kehitetään uutta joustavaa lämpöpumpputeknologiaa. Hankkeeseen liittyy MUAS:n kehittämän lämpöpumpun testaaminen TAMK:n L-talon lämmitysjärjestelmässä.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia miten MUAS:n kehittämä lämpöpumppu latentilla lämpövarastolla integroidaan L-talon lämmitysjärjestelmään siten, että pumppu parantaa rakennuksen energiatehokkuutta sekä lämpöpumpun testaamiseen tarvittavat olosuhdevaatimukset täyttyvät. Lisäksi työssä esitellään uuden lämpöpumpun kehitysprosessia.

Lämpöpumpun mahdollista hyödyntämistä järjestelmässä tutkittiin L-talon taloautomaatiikan historiatietojen avulla. Näistä seurattiin rakennuksen lämpöpumppujen käyntijaksoja ja verkoston lämpötilojen vaihtelua. Historiatietojen perusteella todettiin, että uudella lämpöpumpulla voitaisiin vähentää rakennuksen lämpöpumppujen lyhyitä käyntijaksoja ja tätä kautta pidentää laitteiston käyttöikää, pienentää rakennuksen ottotehopiikkejä sekä parantaa energiatehokkuutta.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin alustavat suunnitelmat lämpöpumpun integroinnille L-talon lämmitysjärjestelmään, sekä ideoita lämpöpumppulaitteiston käytön kehittämiseen. Lisäksi loppudokumentaation ja asennetun laitteiston huolellisen käyttöönoton tärkeys tuli selkeästi ilmi työtä tehdessä.

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Building Services Engineering  
HVAC Systems

VIRTA ANTTI:

Integration of partially dimensioned heat pump to heating system  
Heat pump with latent heat storage

Bachelor's thesis 96 pages, appendices 9 pages  
May 2020

---

This thesis is done as a part of a research project called SMART CASE NZEB. The purpose of this collaboration research project between MUAS and TAMK was to study the optimized use of buildings' heat and energy systems, and the role of energy storages in energy efficient building solutions and to develop new, more flexible heat pump systems.

The aim of this thesis was to study how the new heat pump with latent heat storage developed by MUAS is integrated to L-building's heating system so that the heat pump works as a functional part of the heating system. In addition, the L-building's heating system works as a testing platform for the heat pump as planned. This thesis also displays parts of the development process of the heat pump.

The L-building's own heat pumps' operation behavior and system temperatures were studied through the L-building's BAS history data. According to the data it looks possible to use the new heat pump to reduce on/off cycles of the building's heat pumps and this way expands their lifetime, lower power peaks and enhance energy efficiency.

The outcome of this thesis is tentative plans for integrating the new heat pump, and new ideas for developing the smart use of heat pumps. In addition, the importance of final documentation in building projects was noticed.

---

Key words: heating systems, heat pump

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	SMART CASE NZEB .....	8
	2.1 SMART CASE NZEB .....	8
	2.2 SMART CASE NZEB Fin .....	9
	2.3 SMART CASE NZEB Ger .....	10
3	LVI-TEKNIikka JA ENERGIATEHOKKUUS .....	12
	3.1 Energiankäytön ohjaus.....	12
	3.2 Energian loppukäyttö .....	13
	3.3 Sähköntuotanto ja kysyntäjousto.....	15
	3.4 Talotekniikan rooli energiankäytössä .....	15
4	RAKENNUSAUTOMAATIO .....	18
	4.1 Rakennusautomaatio yleensä .....	18
	4.2 Rakennusautomaation edut .....	18
	4.3 Rakennusautomaation energiansäästöpotentiaali .....	19
	4.4 Rakennusautomaation toiminnot.....	22
	4.4.1 Mittaus .....	22
	4.4.2 Ohjaus .....	23
	4.4.3 Sääto .....	24
	4.4.4 Raportointi .....	25
5	LÄMMITYS .....	27
	5.1 Rakennusten lämmitys.....	27
	5.2 Kiinteistön lämmöntuotanto .....	28
	5.2.1 Aluelämmitys .....	28
	5.2.2 Lämpöpumppu.....	29
	5.2.3 Aurinkolämmitys .....	31
	5.3 Keskuslämmitys .....	32
	5.4 Lämmön varastointi.....	32
	5.5 Lämmön siirto.....	35
	5.6 Lämmityksen sääto .....	38
6	TAPAUSTUTKIMUSKOHD E TAMK L-TALO .....	42
	6.1 TAMK L-talo .....	42
	6.2 Lämmitysjärjestelmä .....	43
	6.3 Lämmön- ja käyttövedentuotanto .....	44
	6.4 Lämmönjako .....	47
	6.5 Rakennusautomaatio .....	53
	6.6 L-talo testiympäristönä .....	54

7	LÄMPÖPUMPPU INTEGROIDULLA LÄMPÖVARASTOLLA .....	55
7.1	Lämpöpumpun kehittämisen tarkoitus.....	55
7.2	Toimintaperiaate ja edut.....	56
7.3	Lämpöpumpun kehitystyö .....	58
7.3.1	Lähtökohdat.....	58
7.3.2	Mittaussuunnitelma.....	58
7.3.3	Laboratoriokytkenän toteutus .....	58
7.3.4	Pumpun ohjaus.....	59
7.3.5	Latentti lämpövarasto .....	60
7.4	Seuraavat vaiheet .....	61
8	LÄMPÖPUMPUN KYTKEMINEN LÄMMITSJÄRJESTELMÄÄN .....	62
8.1	Lähtökohdat .....	62
8.2	Kytkevävaihtoehdot.....	65
8.2.1	Käyttöveden lämmitys .....	65
8.2.2	Käyttöveden varaajan lämmitys.....	66
8.2.3	Kytkeä tilalämmitysverkoston .....	71
8.3	Kytkenän valinta ja perusteet .....	74
8.4	Lämpöpumpun käyttö.....	77
8.5	Kytkeä varten laadittavat suunnitelmat.....	78
8.6	Lämpöpumpun käyttöönotto TAMK:ssa. ....	81
9	POHDINTA .....	82
	LÄHTEET.....	84
	LIITTEET .....	88
	Liite 1. Teräksisten lämpöjohtojen mitoitusdiagrammi.....	88
	Liite 2. Lämmityksen kytkentäkaavio L-talo.....	89
	Liite 3. Lämmityksen säätökaavio L-talo .....	90
	Liite 4. Lämmitys 1.krs .....	91
	Liite 5. Toimintaselustus .....	92
	Liite 6. Työselitys .....	93

## 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin osana Tampereen ja Münchenin ammattikorkeakoulujen välistä SMART CASE NZEB -tutkimushanketta. Hanke tutkii energiajärjestelmien optimoitua käyttöä, sekä energiavarastojen roolia energiatehokkaissa rakennusratkaisuissa.

Hankkeeseen liittyy yhteistyökumppanin suunnitteleman lämpöpumpun, jossa on sisäänrakennettu latenttilämpövarasto, testaus TAMK:n L-rakennuksessa. Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia, miten lämpöpumppu integroidaan L-talon lämmitysjärjestelmään ja miten lämmitysjärjestelmän ohjaus toteutetaan, jotta lämmitysjärjestelmä toimii mahdollisimman tehokkaasti ja lämpöpumpun testaamiseen saadaan suunnitelmien mukaiset olosuhteet. Lisäksi opinnäytetyössä esitellään lämpöpumpun kehitysprosessia.

Työn alussa käsitellään rakennusten lämmitysjärjestelmien roolia energiankulutuksessa, sekä esitellään syitä, miksi tutkimushankkeita tarvitaan nykypäivänä ja minkälaista potentiaalia energiatehokkuuden saralla on saavutettavissa. Seuraavaksi esitellään lämmitysjärjestelmän ja siihen liittyvän talotekniikan perusasioita. Viimeisessä osuudessa esitellään tapaustutkimuskohde, perehdytään L-talon lämmitysjärjestelmään, tehdään katsaus lämpöpumpun kehitystyöhön sekä tutkitaan lämpöpumpun latentilla lämpövarastolla käyttömahdollisuuksia L-talossa.

Rakentamisen asetukset ohjaavat nykyään uusiutuvien energiamuotojen käyttöön ja matalalämpöjärjestelmiin, jolloin erilaiset lämpöpumput ovat asetukset huomioiden erinomainen valinta rakennuksen lämmöntuotantomuodoksi. Asetusten tavoite on pienentää kasvihuone- ja pienhiukkaspäästöjä, lisätä energiatehokkuutta sekä uusiutuvien energiamuotojen käyttöä. Toteutuessaan nämä rakentamista ohjaavat asetukset lisäävät huomattavasti sähkötehontarvetta (Heljo, ym. 2016).

Kysyntäjouston ja energiansäästön haasteisiin vastaamaan kehitetään ja testataan energian- ja sähkönvarastointiteknologiaa, kuten lämpövarastoja ja akustoja. Energian varastointi mahdollistaa joustavamman omatuotannon sekä osatoenergian kulutuksen ajoittamisen edullisimpiin ajankohtiin. Varastointiteknologian lisäksi energian omatuotantoon käytettävien laitteiden kehittäminen ja jo olemassa olevan tekniikan käytön ja ohjauksen optimointi on tärkeitä keinoja kysyntäjouston ja energiatehokkuuden edistämiseksi.

## 2 SMART CASE NZEB

### 2.1 SMART CASE NZEB

Tiukentuneen energiapolitiikan lisäksi sähkötehon kysyntä on lisääntynyt. Sähköntuotantotavat ovat muuttuneet kulutuksen vaihteluun vastaamaan kykenevästä polttoaineiden poltosta tuuli- ja aurinkosähkön myötä säästä riippuvaiseksi. Tämä johtaa siihen, että sähkönkäyttäjiltä edellytetään kysyntäjoustoa. Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkäytön ohjaamista siten, että sähkön käyttö ajoittuu pienen kulutuksen ja edullisten tuntien ajalle, sekä tehontarpeen rajoittamista energiajärjestelmän kulutushuippujen aikana. Kysyntäjoustoa tarvitaan energiajärjestelmän resurssitehokkuuden, luotettavuuden ja kustannustehokkuuden turvaamiseksi. (Repomäki & Salomaa.) Kysyntäjoustopon keinoja ovat energian varastointi, sekä tehopiikkien rajoittaminen.

Study and test of smart control and storage of energy for nearly zero energy buildings -tutkimushanke (SMART CASE NZEB) toteutetaan yhteistyötahojen kanssa aikavälillä 1.8.2018 - 30.9.2021. Hankkeen tutkimusorganisaatioina toimivat Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK) ja Munich University of Applied Sciences (MUAS). Hankkeessa on lisäksi mukana yhteistyöyrityksiä Suomesta ja Saksasta. Hankkeen tavoitteena on saada uutta osaamista energiajärjestelmien optimoinnista ja energiavarastojen roolista energiatehokkaissa rakennusratkaisuissa.

Hankkeen pääasiallinen tutkimusstrategia on tapaustutkimus. Tapaustutkimukset toteutetaan sekä mallinnetussa ympäristössä että todellisessa käyttöympäristössä. Testiympäristönä Suomessa toimii TAMK:n pääkampuksen liikuntahallirakennus, L-Talo.

Hanke on jaettu neljään päävaiheeseen: A Konsepti, B kehitys, C testaus ja analysointi testiympäristössä sekä D analysointi ja tulokset. Molemmat osapuolet ottavat kantaa kaikkiin tutkimuksen vaiheisiin. Hankkeen vaiheet esitellään vastuualueittain tarkemmin seuraavissa kappaleissa.



Tutkimushankkeen tarkoituksena on saada uutta osaamista rakennusten energijärjestelmien tehokkaasta käytöstä sekä energiavarastojen roolista energiatehokkaissa rakennusratkaisuissa. Esim. mitkä ovat olennaiset optimoitavat näkökulmat, hinta, kustannustehokkuus tai sähkötehon kulutus. Myös tekoälyn hyödyntäminen optimoinnissa, esim. sääolosuhteiden, tilankäytön ja energiankäytön ennustaminen on yksi tutkimuskysymyksistä. Näiden lisäksi etsitään vastauksia sähkö- ja lämpövarastojen mitoitusperiaatteisiin ja miten varastojen käytöllä voidaan optimoida energiakulutusta sekä lisätä kysyntäjoustoa. Myös paikallisesti tuotetun energian optimaalista käyttöä rakennuksessa pohditaan.

## **2.2 SMART CASE NZEB Fin**

Tämä opinnäytetyö liittyy suomen vastuualueilla kehitys- ja testausvaiheisiin B ja C. Työn tavoitteena oli tutkia, miten lämpöpumppu integroidaan L-talon lämmitysjärjestelmään. Kytkentä- ja ohjausperusteiden löytämiseksi L-talon lämmitysjärjestelmän toimintaa tarkasteltiin ja sitä kautta selvitettiin lähtötietoja lämpövaraston suunnitteluun.

Ensimmäisessä vaiheessa A kuvattiin testiympäristön eli L-talon ominaispiirteet, terminen kuorma ja energiantarve. Tapaustutkimuksen kohderakennuksesta tehtiin IDA-ICE- ja MATLAB -mallit. Lisäksi kartoitettiin energiankäytön ja sähkö- ja lämpöenergiamarkkinoiden ominaispiirteitä Suomessa sekä nykyaikaisia rakennusautomaatiojärjestelmiä ja niiden energianhallintaominaisuuksia.

Vaiheessa B tutkitaan sähköenergiavarastojen mitoittamista ja varastojen aktiivista hyödyntämistä energijärjestelmän osana, sekä sähköenergiavarastojen mahdollisuutta toimia osana kysyntäjoustoa. Lisäksi tutkitaan mallinnetussa ympäristössä energiankäytön ja omatuotannon optimointia, lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien tarkoituksenmukaista yhteiskäyttöä sekä rakennusautomaatiikan mahdollisuuksia järjestelmien yhteiskäytön ohjaamiseksi. Lisäksi karakterisoidaan tapaustutkimusympäristön L-talon lämmitysjärjestelmä latentin lämpövaraston suunnittelua varten.

Testaus- ja analysointivaiheessa C tehdään testiympäristön järjestelmien kuvaus ja toiminnan analysointi. Tässä vaiheessa myös suunnitellaan ja tehdään testiympäristöön lisättävien järjestelmien asennustyöt, sekä testataan uudet järjestelmät ja liitetään ne rakennusautomaatiojärjestelmän mittaus- ja ohjaustoimintoihin. Lisäksi tutkitaan testiympäristön energian omatuotannon ja käytön optimointia mallinnetussa ympäristössä.

Viimeisessä vaiheessa D analysoidaan älykkäiden energianhallintajärjestelmien ja energiavarastojen optimoidun käytön vaikutuksia mm. kokonaisenergiankulutukseen ja energiatehokkuusprofiiliin, sähkö- ja lämpöenergiankulutukseen ja tehoprofiileihin sekä kustannustehokkuuteen ja hiilijalanjälkeen.

### **2.3 SMART CASE NZEB Ger**

Opinnäytetyö liittyy myös Saksan vastuualueiden näkökulmasta vaiheisiin B ja C. Opinnäytetyö esittelee lämpöpumpun kehitystyötä. Opinnäytetyöprosessin aikana osallistuttiin lämpöpumpun suunnitteluun, rakentamiseen ja testaamiseen laboratorio-olosuhteissa.

Vaiheessa A kuvataan tyypillisen saksalaisen, ei asuinkäytössä olevan rakennuksen ominaispiirteet, terminen kuorma ja energiantarve vertailtavaksi Suomen tilanteeseen. Tämän lisäksi kuvataan sähkö- ja energiamarkkinoiden ominaispiirteitä Saksassa ja tehdään Design Builder -malli tapaustutkimuksen kohteesta, sekä raportoidaan nykyaikaisen rakennusten automaatiojärjestelmien tilanteesta Saksassa.

Vaiheessa B kuvataan latentin lämpövaraston lämpökäyttäytyminen, lämpösäilytys sekä toimintalämpötilat, ja määritellään kriteerit laitteen ohjaukselle. Näiden lisäksi mallinnetaan latentinlämpövaraston lämpökäyttäytyminen, testataan latentin lämpövaraston suorituskyky, suunnitellaan ja toteutetaan tarvittavat muutokset lämpöpumpppusykliin lämpövaraston lisäämiseksi, sekä toteutetaan lämpöpumpun ja lämpövaraston ohjausmenettely. Lisäksi määritellään tarvittava instrumentointi lämpövarastolla varustetun lämpöpumpun kytkemiseksi L-talon lämmitysjärjestelmään.

C-vaiheessa testataan ja analysoidaan lämpövarastolla varustettua lämpöpumpua, optimoidaan lämpövaraston käyttöä, sekä osallistutaan tapaustutkimuksen kohderakennuksen uuden laitteiston asennusten suunniteluun.

Viimeisessä, eli D-vaiheessa analysoidaan testirakennukseen asennetun lämpöpumpun suorituskykyä, lämpövaraston vaikutusta lämpöpumpun kykyyn käyttää uusiutuvaa energiaa, ja vertaillaan toteutunutta energiansäästöä kustannuksiin.

### 3 LVI-TEKNIikka JA ENERGIATEHOKKUUS

#### 3.1 Energiankäytön ohjaus

Maapallon ilmasto muuttuu jatkuvasti. On todisteita siitä, että lämpötila maapallolla on eri ajanjaksoina ollut sekä korkeampi että matalampi kuin tänä päivänä (Wong 2016, 5). Tällä hetkellä ihmiskunnan ilmakehään päästämät kasvihuonekaasut lämmittävät maapalloa (Nevanlinna 2008, 45). Tutkijat ovat huolissaan, että luonnollisen lämpötilan vaihtelun tai vaihtelevuuden sijasta ilmaston nopea lämpeneminen ihmisen toiminnan seurauksena vaikuttaa merkittävästi maapallon ilmaston vakauteen (Litiu 2017, 29).

Ihmisen aiheuttaman ilmastonmuutoksen rajoittamiseksi maailman hallitukset ovat sopineet YK:n ilmastonmuutosta koskevasta puitesopimuksesta. Tämän ns. Pariisin sopimuksen tavoitteena on hillitä ilmaston lämpenemistä. Sopimuksen osapuolilta odotetaan ajan myötä kiristyviä toimia päästöjen vähentämiseksi, ilmastonmuutokseen sopeutumiseksi, teknologian kehittämiseksi ja ilmastorahoituksen lisäämiseksi. (Ympäristöministeriö.)

Vuonna 2009 lainsäädäntöön liitetyt EU:n ilmasto- ja energiankäytön tavoitteet vuodelle 2020 ovat seuraavat: -20 % kasvihuonekaasupäästöihin, 20 % EU:ssa käytetystä energiasta tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä ja 20 %:n parannus energiataloudellisuudessa. (Euroopan komissio a.) 2030 climate and energy framework puolestaan sisältää EU:n laajuiset tavoitteet vuosille 2021-2030, jotka ovat vähintään - 40 % kasvihuonepäästöihin verrattuna 1990 vuoteen, vähintään 32 % energian loppukulutuksesta tuotetaan uusiutuvilla energialähteillä ja vähintään 32,5 %:n parannus energiatehokkuuteen. (Euroopan komissio b.)

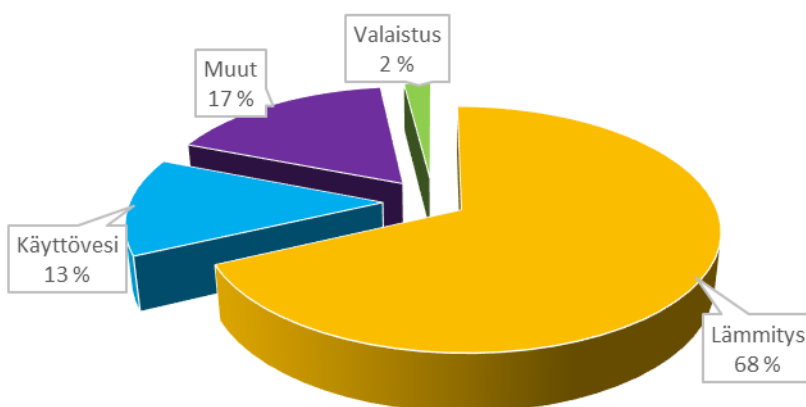
EPBD2010/31/EU Energy performance of buildings directive vaatii, että kaikki uudet rakennukset tammikuusta 2021 alkaen ovat niin sanottuja lähes nollaenergiarakennuksia, nearly zero energy buildings (NZEB). Vaatimukset nollaenergiarakentamiselle vaihtelevat maakohtaisesti ja sen mittarina käytetään primäärienergiankäyttöä kilowattitunteina per neliömetri vuodessa (kWh/m<sup>2</sup>/v).

### 3.2 Energian loppukäyttö

Energian loppukäytöllä tarkoitetaan energiaa, joka siirto- ja muuntohäviöiden jälkeen jää kuluttajien käytettäväksi. Se sisältää sähkön, lämmön ja liikenteen, prosessiteollisuuden, sekä rakennusten lämmitykseen käytettävän polttoaineen. Energian loppukäyttö EU:ssa oli vuonna 2018 noin 12500 TWh. (Eurostat.data-base.)

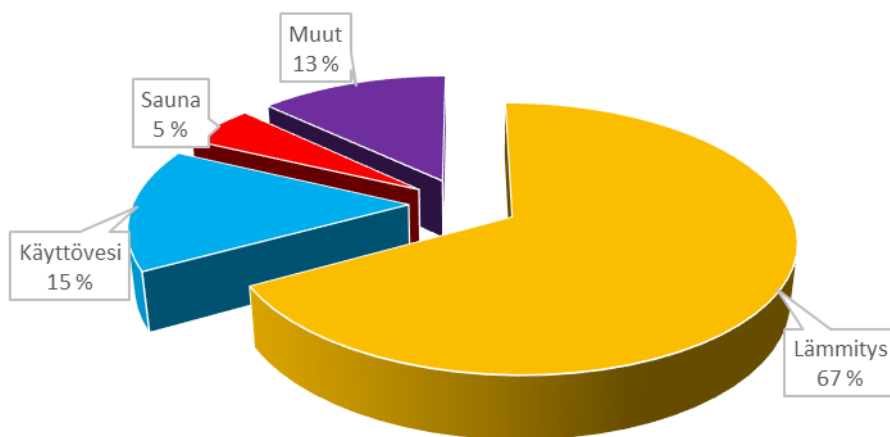
Rakennusten lämmityksen osuus EU-alueella vuonna 2010 oli laskennallisesti noin 2823 TWh. (Kemna 2014.) Lämmityksen osuuden oletetaan pysyvän samassa kokoluokassa, vaikka väestönkasvu lisääkin rakennuskantaa ja sitä kautta lämmitettävää alaa. Toisaalta energiatehokkuuden parantuminen pienentää energian kulutusta. (Kemna 2014.) Rakennusten lämmityksen osuus EU-alueen energian loppukäytöstä on siis noin 20 %. Suomessa vastaavat luvut vuonna 2018 olivat noin 313 TWh, josta 25 % kului rakennusten lämmitykseen. (Kemna 2014, Tilastokeskus 2019.)

Asumisen energiankulutuksen jakauma EU:n alueella on esitelty kuviossa 1. Noin 68 % asumisen energiankulutuksesta kului tilojen lämmitykseen. Käyttöveden lämmitykseen kuluu noin 13 %. 17 % kuluu sähkölaitteiden käyttöön ja noin 2 % valaistukseen. (Euroopan komissio c.)



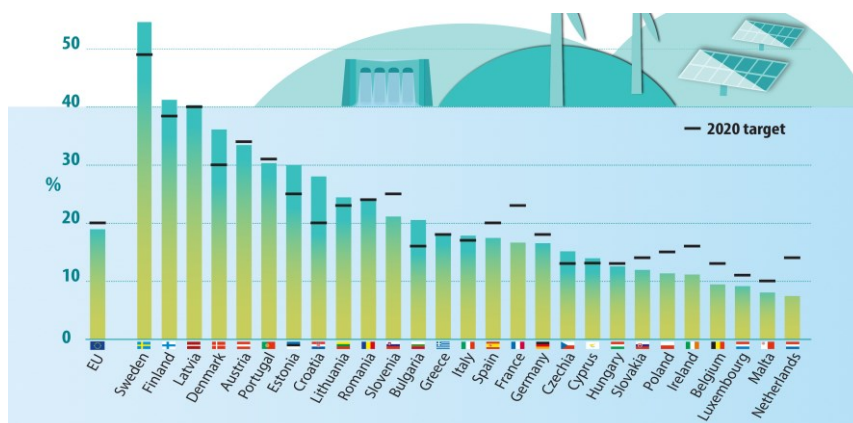
KUVIO 1. Asumisen energiankulutus EU:n alueella 2013

Suomessa vastaavat luvut ovat samaa luokkaa, kuten kuviosta 2 nähdään. Yleisimmät asuintilojen lämmitysenergianlähteet Suomessa olivat vuonna 2018 sähkö, kaukolämpö ja puu. Niiden osuus lämmitysenergian kulutuksesta oli noin 85 %. Seuraavaksi yleisin lämmitysenergianlähde oli lämpöpumput. (Tilastokeskus 2019.)



KUVIO 2. Asumisen energiankulutus Suomessa 2018

Vuonna 2018 uusiutuvien energialähteiden osuus energian loppukäytöstä EU:n alueella oli noin 18 %. Uusiutuviksi energialähteiksi lasketaan tuuli-, aurinko-, ja vesivoima, geoterminen energia, lämpöpumppujen keräämä lämpö, biopolttoaineet sekä uusiutuva jäte. Kuviossa 3 esitellään valtioittain uusiutuvien energiamuotojen osuus energianloppukäytöstä EU:n alueella. Kuviosta nähdään, että Suomessa ja Ruotsissa uusiutuvien energialähteiden osuus on yli 40 %.



KUVIO 3. Uusiutuvien energiantuotantomuotojen osuus energian loppukäytöstä (Eurostat 2020, muokattu)

### 3.3 Sähköntuotanto ja kysyntäjousto

Kun tavoitellaan hiilineutraalia sähköntuotantoa, sääriippuvainen tuotanto, erityisesti aurinko- ja tuulivoima lisääntyvät. Globaalista sähkönenergian tuotantokapasiteetista aurinkojärjestelmien osuus on kasvanut huomattavasti. Sääriippuvaisen tuotannon ongelma on se, ettei se pysty vastaamaan kulutuksen vaihteluihin. Lisäksi syntyy tilanteita, jolloin tuotanto ylittää kulutuksen. Tämä lisää tarvetta etsiä ratkaisuja sähkön laadun ja tehotasapainon ongelmiin. (Kumpulainen ym.)

Ilmastoneutraalimpien energiajärjestelmien yleistymisen merkitsee yhteiskunnan sähköistymistä, mm. siten, että yhä useampia rakennuksia lämmitetään sähköä kuluttavilla lämpöpumpuilla polttoaineen polton sijasta, jolloin sähkön ja sähkötehon tuotannon varmuus tulevat entistä tärkeämmäksi kuluttajille. Vaikka sähkön kulutus on pudonnut vuosista 2006-2007 noin 10 %, on odotettavissa, että sähkötehon hetkelliset kulutushuiput kasvavat (Heljo ym. 2016).

Koko sähkövoimaverkkoon kohdistuu paineita tuotannon ja kulutuksen muutoksen ja jakelun pohjalta. Tuotannon sääriippuvuuden aiheuttamiin ongelmiin etsitään ratkaisuja mm. energian varastoinnista. Sähkö- ja lämpöenergian varastointi pienentää tuotannon joustamattomuudesta syntyviä ongelmia. Toinen ratkaisu on kysynnän jousto. Kysyntäjouston tarve kasvaa ohjaamattoman sähkötuotannon lisääntyessä. Merkittävimmän kysyntäjoustopotentiaalin Suomessa omaa sähkölämmitys. Lisäksi lämpöpumput omaavat kysyntäjoustopotentiaalia, ns. smart grid -toiminto, mutta se jää usein käyttämättä osittain siksi, että rakentamisen ohjauksessa ja yleisissä ohjeissa ei edellytetä näiden ominaisuuksien käyttöä. Toinen syy on se, että lämpöpumppuja ei usein ajatella sähkölämmityksenä, jolloin tehoreisteilyjä muun järjestelmän kanssa ei tehdä. (Järventausta ym. 2015.)

### 3.4 Talotekniikan rooli energiankäytössä

Hyvin suunnitellut rakennukset ja talotekniikan hallittu käyttö säästävät energiaa. Rakennuksen käytönaikaisesta energiankulutuksesta noin 80 % on sidoksissa taloteknisiin järjestelmiin (Mitsubishi Electric viittaa BCIA ja B&ES taulukkoon 2014).

Rakennukset aiheuttavat 40 % EU:n kokonaisenergiankulutuksesta. Uusiutuvista energialähteistä olevan energian osuuden lisääminen ja kokonaisenergiankulutuksen vähentäminen rakennusalailla ovat tärkeitä toimenpiteitä energiariippuvuuden ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. (DIREKTIIVI 2010/31/EU.)

Edellinen voimassa oleva energiatehokkuutta koskeva lainsäädäntö (EPBD 2010/31/EU) otti lähinnä kantaa rakennuksen vaipan ominaisuuksiin, kuten eristepaksuuteen, monikertaiseen ikkunoiden lasitukseen ja energiantuotannon hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen. Jättämällä keinot rakennuksen sisäilmaston hallintaan huomioimatta, saadaan kyllä johtumis- ja vuotoilmanlämpöhäviöt hallintaan, mutta seurauksena on usein huono sisäilmasto ja sitä kautta energian tuhlaaminen. Esimerkkinä varsinkin kevät-pakkasilla toistuva tilanne, kun joudutaan pitämään ikkunoita auki yllälämmön poistamiseksi rakennuksesta ja silti lämmitysjärjestelmä yrittää lämmittää rakennusta lisää (Litiu 2017, 35 – 36). Nykyisin voimassa olevaan rakennusten energiatehokkuutta ohjaavaan direktiiviin EPBD 2018/844/EU on lisätty automaatio- ja ohjausteknologia direktiivin soveltamisalaan. Direktiivin automaatio- ja ohjausvelvoite koskee kaikkia ei-asuinrakennuksia, joiden lämmitys- ja ilmanvaihto- ja/tai ilmastointijärjestelmien yhteenlaskettu teho on yli 290kW. Näihin rakennuksiin on asennettava tai olemassa oleva automaatiojärjestelmä on parannettava tehokkuustason järjestelmäksi. Suomessa lainsäädännön ohjaava vaikutus kohdistuu lähinnä olemassa olevien järjestelmien kehittämiseen (Kangas ym. 2018).

Jotta todellisia säästöjä energiankulutuksessa saataisiin aikaan, pitäisi koko rakennuksen vaipan, lämmitys- ja ilmanvaihtotekniikan ja automaation parannukset tehdä kerralla. Remontin investointikustannukset olisivat tällöin varsin suuret, mikä pienentää halukkuutta toteuttaa energiatehokkuuden parantamiseen pyrkiviä saneerauksia. Pelkän rakennuksen vaipan ja lämmöntuotannon korjaaminen taas on kallis investointi ja sivuvaikutuksena on huonompi sisäilmasto. (Litiu 2017, 36.) Automaatio- ja ohjausvelvoitteen laajentaminen koskemaan myös asuinrakennuksia lisäisi luonnollisesti halukkuutta tehdä automaatiota kehittäviä investointeja.



Kustannustehokas tapa rakennuskannan energiatehokkuuden parantamiseen soveltaa William Thompsonin kehittämää neliportaista logiikkaa, vapaasti suomennettua ”mittaa, ymmärrä, hallitse, kehitä”. Ensimmäinen vaihe olisi mahdollistaa kaiken energiankulutuksen ja olosuhteiden mittaaminen ja hallinta rakennuksessa. Energiankulutuksen jatkuva mittaaminen ja optimointi pienentäisi suunnitellun ja rakennusten todellisen energiatehokkuuden välistä kuilua, sekä mahdollistaisi paremman sisäilmaston. (Litiu 2017, 37.)

Rakennusautomaation avulla voidaan monitoroida ja hallita kaikkea rakennuksen LVIS-tekniikkaa ja sitä kautta sisäilmastoa. Energiankulutuksen seurannan mahdollistaminen ja olosuhteiden säädön automatisointi antaisi rakennuksen käyttäjälle mahdollisuuden parantaa kulutustottumuksiaan ja tätä kautta pienentää kustannuksia ja päästöjä, sekä parantaa sisäilmastoa ja tätä kautta rakennuksen käyttäjien terveyttä, mukavuutta ja tuottavuutta (Litiu 2017, 37). Automaatiikka ja energiavarastot helpottavat myös paikan päällä tuotetun energian käyttöä ja mahdollistaa kysyntäjouston sähkön- ja lämmönkulutuksessa. Energian varastointijärjestelmiä kehittämällä voidaan hallita mahdollisia sähkötehon kulutus- huippuja ohjaamalla kulutusta edullisemmille tunneille. Uusiutuvan energian laajamittainen käyttö edellyttää energian mahdollista lyhyt- tai pitkäaikaista varastointia (Heljo ym. 2016).

## **4 RAKENNUSAUTOMAATIO**

### **4.1 Rakennusautomaatio yleensä**

Rakennusautomaatiolla tarkoitetaan mitä tahansa automaattista ohjausta, itsenäisesti toimivasta patteritermostaattista ja kellokytkimistä kaikista kehittyneimpiin sisäilmaston-, olosuhteiden-, valvonnan- ja energiankulutuksen hallintajärjestelmiin. Usein rakennusautomaation sovelluksia käytetään talotekniikan ohjaamiseen sekä kulunvalvontaan. Automaation toimintoja ovat suureiden mittaukset, energian-, veden-, ja lämmönkulutuksen laskenta, laitteiden ohjaukset ja säädöt, valvonta, hälytystoiminnot, sekä raportointi ja tilastojen, kuten lämpötilojen, kulumusten jne. kokoaminen (Värjä & Mikkola 1999, 5). Rakennusautomaation sovellusten kautta on mahdollista seurata ja ohjata rakennusten teknisiä järjestelmiä.

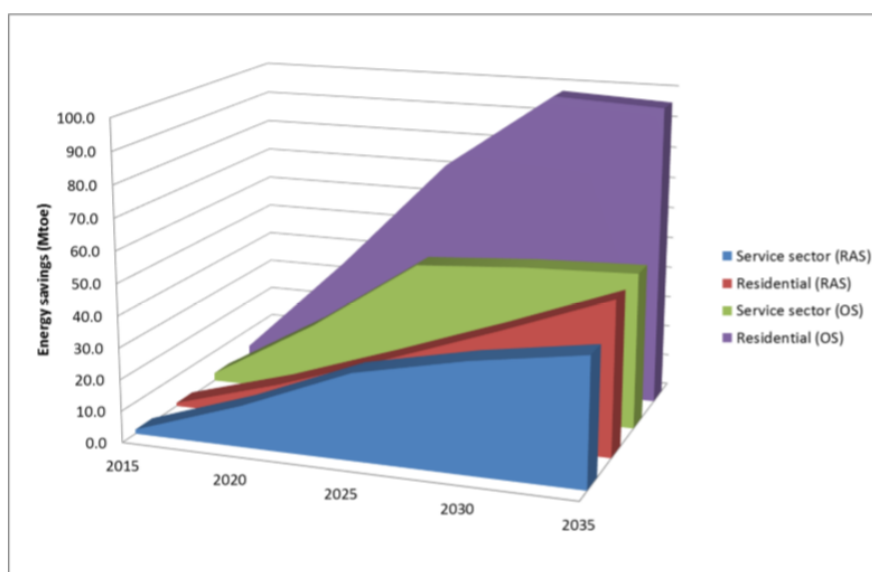
### **4.2 Rakennusautomaation edut**

Oikein suunnitellun, asennetun ja ohjatun rakennusautomaatiojärjestelmän avulla saadaan taloteknisten järjestelmien edut esille, kuten hyvät sisäilmaston olosuhteet, sekä pienemmät rakennuksen käytön kustannukset. Kustannusten pienentyminen mahdollistuu lämmitys-, jäähdytys-, ja ilmanvaihtojärjestelmien tarpeenmukaisella ja yhtenäisellä käytöllä. Automaatiojärjestelmät mahdollistavat myös rakennuksen järjestelmien suorituskyvyn jatkuvan seurannan ja sitä kautta mahdollisen järjestelmien turhan käytön havaitsemisen. Turhan käytön poistamisella järjestelmän toimintaa voidaan optimoida entisestään. Seurannan perusteella voidaan lisäksi ennustaa huolto- ja korjaustarpeita. Lisäksi laitteiden turhan käytön välttäminen vähentää laitteiston kulumista ja sitä kautta huolto- ja korjauskustannuksia.

### 4.3 Rakennusautomaation energiansäästöpotentiaali

Talotekniikan ohjauksen ja automaation optimoinnin potentiaali energian säästömahdollisuuksissa on suuri. The scope for energy and CO2 savings in the EU -tutkimuksen perusteella julkisten rakennusten automaatiojärjestelmän talotekniikan energiankulutuksesta tuoma säästö tällä hetkellä on noin 10 %. Jos automaatiojärjestelmä olisi oikein suunniteltu, asennettu ja ohjattu, sekä kaikki mahdolliset tunnetut energiansäästökeinot käytettäisiin, ja ohjauksesta ja säädöstä riippuvainen energiankulutus optimoitaisiin, päästäisiin jopa keskiarvolla 37 %:n säästöihin per rakennus (Waide ym. 2014, 39). Kuviossa 4 on potentiaaliset rakennusautomaatiolla saatavat säästöt EU tasolla. Kuvio sisältää kaksi eri skenaariota, RAS eli suositeltujen toimenpiteiden skenaarion ja OS eli optimaalinen skenaario. Suositeltu skenaario sisältää erilaisia toimenpiteitä rakennusautomaatiikan lisäämiseen rakennuskannassa, ja olemassa olevien systeemien optimoinnin ja lainsäädännön kehittämisessä. Lisäksi oletetaan, että automaatiiosysteemit asennetaan ja suunnitellaan ja ohjataan oikein. Optimaalisessa skenaariossa oletetaan paras mahdollinen rakennusautomaation lisääminen rakennuksiin. (Waide ym. 2014, 3-4.)

Figure ES1. Building energy savings under the Recommended Action Scenario (RAS) and Optimal Scenario (OS) for European residential and service sector buildings compared with the Reference Scenario.



KUVIO 4. Rakennusautomaation parannuksilla saavutettava energiansäästö.

Kuviossa 5 esitellään (Grözinger ym. 2017) kaksi skenaariota rakennusautomaation potentiaalista hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen vuosina 2017-2030 sekä asetukseen perustuva päästöjen vähentyminen energiankulutuksen pienentyessä sekä kaukolämmön ja energiantuotannon siirtyessä uusiutuviin tuotantomuotoihin. Vihreä ja sininen skenaario sisältävät eriateisen automaation parannuksen rakennuskannassa. Vaaleansininen sisältää asetukseen perustuvien toimien noudattamisen.

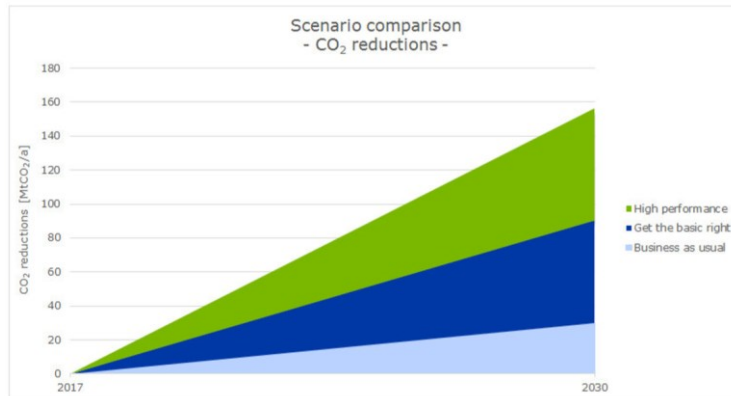


Figure 3: Scenario comparison, maximal potential reductions by TBS scenarios, Mt CO<sub>2</sub> per year

KUVIO 5. Hiilidioksidipäästöjen vähentyminen kolmessa eri skenaariossa (Grözinger ym. 2017)

Kuvio 6 sisältää vastaavilla parannuksilla saatavan primäärienergian säästön Megaöljyekvivalenttitonneina. Kuvioista nähdään, että rakennusten järjestelmien optimoinnin potentiaali on merkittävä.

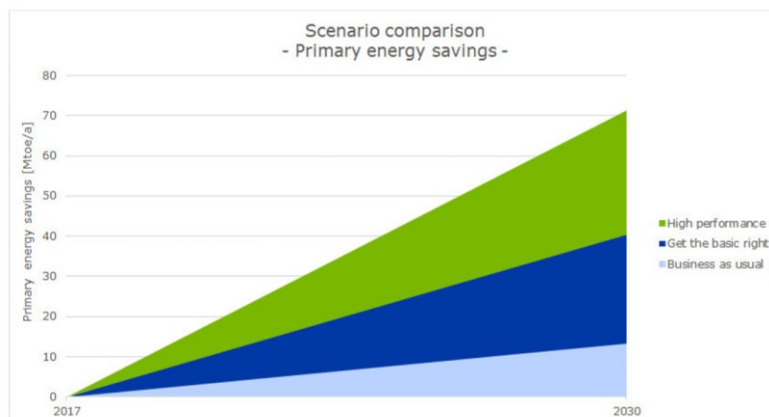


Figure 4: Scenario comparison, maximal potential reductions by TBS scenarios, Mtoe primary energy per year

KUVIO 6. Energiansäästöpotentiaali kolmessa skenaariossa (Grözinger ym. 2017)

Tutkimusten perusteella rakennusautomaation säästöpotentiaali on merkittävä. Tichelen & Verbeke (2018) viittaa edellä mainittujen tutkimusten lisäksi kahteen muuhun tutkimukseen: Short Study Energy Savings Digital Heating ja Employment benefits from stimulation of demand for building automation and controls in the EU, joiden perusteella rakennusautomaation säästöpotentiaali EU:n alueella on keskimäärin 15-22 % kaikesta rakennusten energiakulutuksesta (Tichelen & Verbeke 2018).

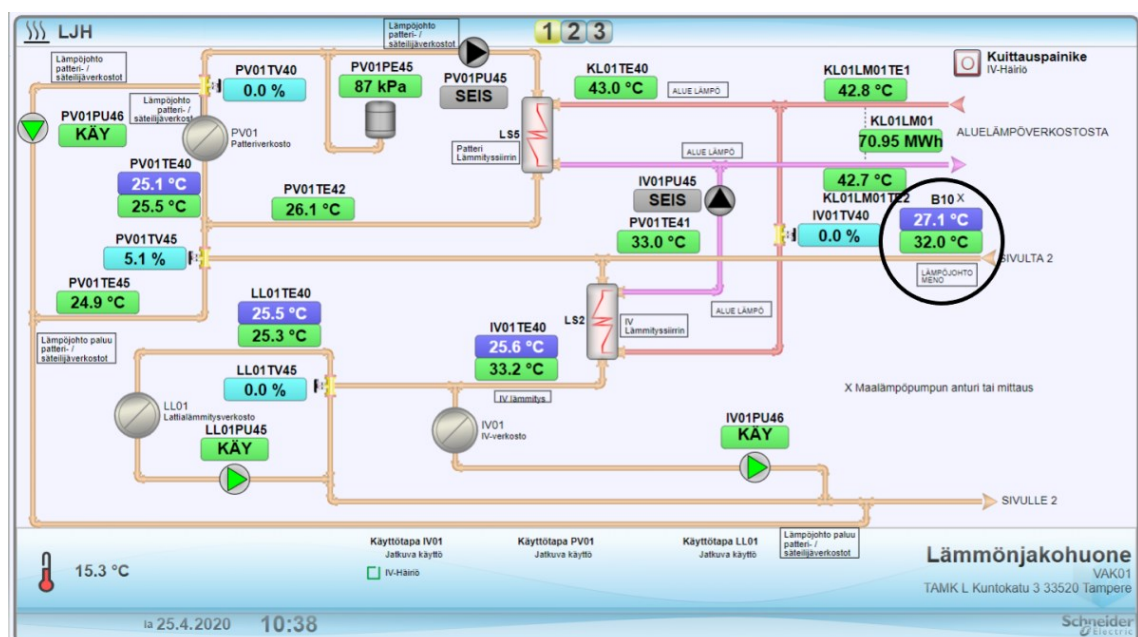
Rakennusautomaation säästöpotentiaali perustuu siihen, että energiaa käytetään vain tarvittaessa ja vain tarvittava määrä. Säästöihin päästään optimoimalla talotekniikan suorituskyky sekä toiminta vastaamaan rakennuksen todellista käyttöastetta, ilmaston olosuhteita ja haluttua sisäilmastoa. Lisäksi on ylitettävä useita säästöpotentiaalia rajoittavia esteitä, kuten rajallinen tietämys rakennusautomaatiikan potentiaalista ja automaatiiosysteemin valinnasta, sekä haluttomuus investoida rakennusautomaatiikkaan, ja väärin käyttöönotetut ja tehottomasti ohjatut automaatiiosysteemit. (Tichelen & Verbeke 2018, 9.)

## 4.4 Rakennusautomaation toiminnot

Automaation toiminta perustuu mittauksiin, säätöön, ohjaukseen, raportointiin ja hälytyksiin. Usein toiminnot tapahtuvat juuri mittaustietojen perusteella.

### 4.4.1 Mittaus

Mittaaminen tapahtuu mittausantureilla. Anturi kertoo tietokoneelle sähköisessä muodossa lämpötilan, paineen, virtauksen tai esimerkiksi sähkötehon. Anturin mittaama arvo on aina hetkellinen. Mittaus voi tapahtua kohteesta ja mitattavasta suureesta riippuen tiheällä tai harvemmalla aikavälillä. Mittaukseen sisältyy aina mahdollinen poikkeama, mikä tulee ottaa huomioon. Pienet poikkeamat voidaan hyväksyä, koska talotekniikan mittaukset vaativat harvoin absoluuttista tarkkuutta. Automatiikka tekee säädöt aina mittausten perusteella, joten liian suuri mittauspikkeama tai vaurioitunut mittari saattavat vaikuttaa negatiivisesti järjestelmän toimintaan. (Suomäki & Vepsäläinen 2019, 25-26.) Kuviossa 7 on tyypillisiä talotekniikan lämmitysjärjestelmän mittauksia. Kuviossa näkyy useita lämpömittauksia, säätöventtiilin asennon näyttäviä mittauksia, sekä energia- ja painemittauksia. Kuvioon on ympyröity mittaussanturi B10, jonka perusteella L-talon lämpöpumput lämmittävät tilalämmitysverkostoa.



KUVIO 7. L-talon lämmitysjärjestelmän mittauksia etävalvomossa

#### 4.4.2 Ohjaus

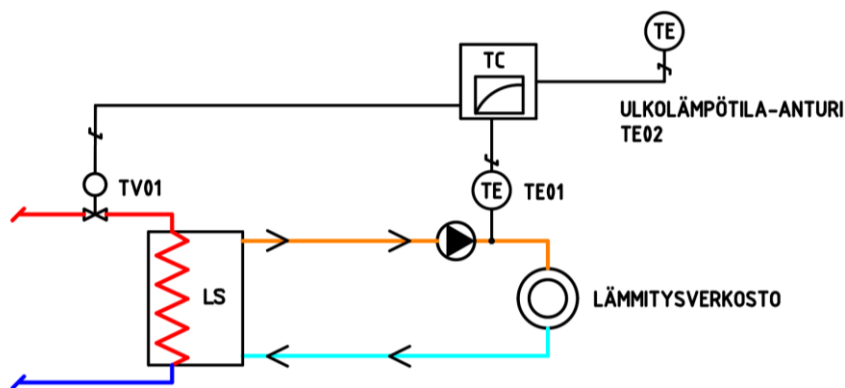
Rakennusautomaation ohjaukset ovat yleensä päälle / pois -ohjauksia. Ohjauksen kohteina ovat pumppujen ja puhaltimien käyntiajat, sekä valaistus ja ovien lukitukset. Ohjaustapoja on mm. aikaohjaukset sekä häiriötilanne- ja pakko-ohjaukset. Aikaohjauksella tarkoitetaan jonkun toimintojen ajoittamista tiettyyn vuorokaudenaikaan, esimerkiksi ilmanvaihdon automaattista tehostamista tiettyä vuorokauden aikana. Häiriötilanne- ja pakko-ohjaukset voivat esimerkiksi pysäyttää IV-koneen puhaltimen, jos jäätymissuoja on lauennut ja IV-koneen lämmityspatteri on vaarassa jäätymään. (Suomäki & Vepsäläinen 2018, 27-34.)

Aikaohjelmia voidaan käyttää kustannus- ja teho-optimoinnissa ajoittamalla joi-tain rakennuksen toimintoja edullisimpiin energianostohetkiin, tai hetkiin, jolloin rakennuksen tehontarve on yleensä pientä. Esimerkiksi jos on käytössä yösähkö, voidaan vesivaraajaa tai muita energiavarastoja ladata yöaikaan ja taas purkaa niitä, kun sähkön ostaminen päivällä olisi kalliimpaa.

### 4.4.3 Sääto

Sääto vaatii toimiakseen mittauksen ja sääto-toimenpiteenä laitteen tai asetuksen ohjaamisen mittauksen perusteella. Säädon tehtävä on pitää säädettävä suure halutussa vakioarvossa tai ohjelman mukaan vaihtelevassa arvossa häiriötekijöistä riippumatta. (Värjä & Mikkola 1999, 58.)

Kaikki sääto-toimet perustuvat sääto-piirimenetelmään. Ensin määritellään asetusarvo, eli lukema joka mittauspisteessä halutaan olevan; esimerkiksi veden lämpötila lämmitysverkostossa. Sen jälkeen mitataan, onko mittauspiste asetusarvossa. Mikäli ei, tehdään korjaava sääto säätimelle annettujen parametrien eli ohjeiden mukaan (Suomäki & Vepsäläinen 2018, 33-35). Kuviossa 8 on tyypillinen kaukolämmitysverkoston kytkentä. Säädin TC sääto ulkolämpötilan perusteella venttiiliä TV01. Lämpötila-anturi TE01 mittaa veden lämpötilaa. Jos lämpötila TE01 ei ole sääto-kyrän asetusarvossa, säädin ohjaa sääto-venttiiliä TV01 auki tai kiinni tilanteesta riippuen.

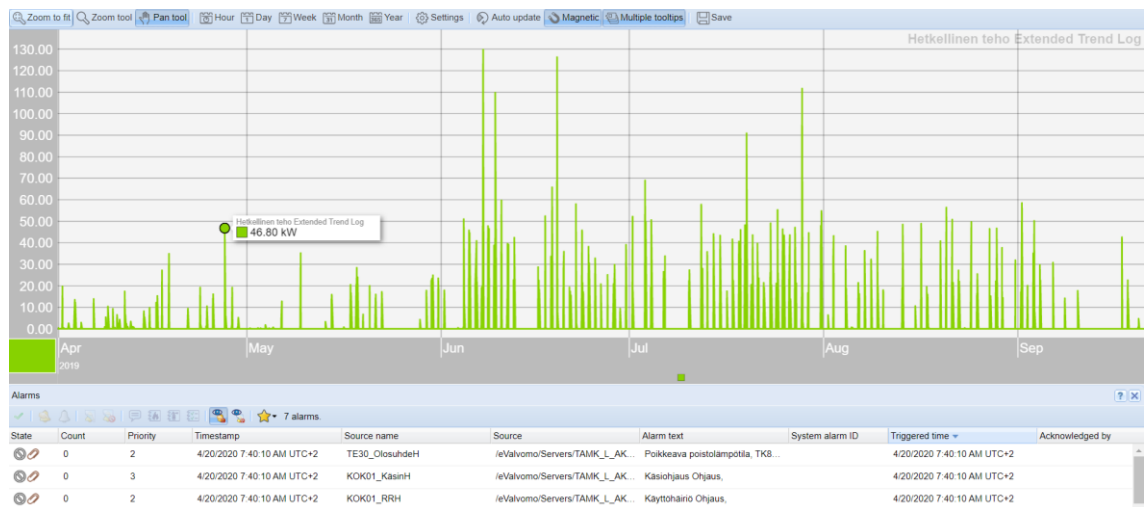


KUVIO 8. Sääto-piirin toiminta kaukolämmityskytkennässä



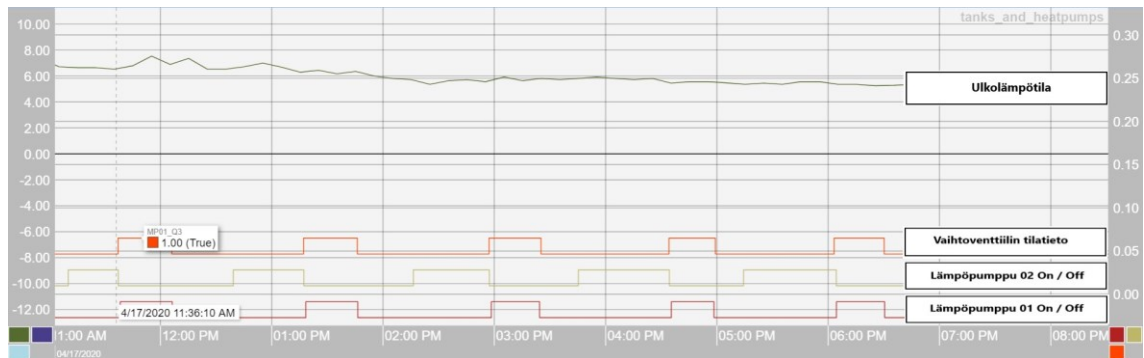
#### 4.4.4 Raportointi

Automaatiojärjestelmä tuottaa suuren määrän tietoa valvomastaan alueesta. Järjestelmästä riippuen mittaustietoja voidaan saada laajalla frekvenssillä sekunneista päiviin. Raportointi voi tulla hälytysten tai esimerkiksi trendikäyrien muodossa. Kuviossa 9 on esimerkki L-talon automaatiojärjestelmästä saatavasta datasta. Kuvan yläosassa on aurinkojärjestelmän teho aikavälillä maalissyyskuu 2019 ja alaosassa on järjestelmän antamat hälytykset.



KUVIO 9. L-talon valvomon trendikäyrä ja hälytykset

Trendillä tarkoitetaan valvontajärjestelmän tapahtumamuistia eli historiatietoja. Historiatietoja kerätään mittaus- ja ohjauspisteistä. Tiedot on usein mahdollista saada Excel-taulukkona tai kuvion 9 tapaan graafisessa muodossa. Trenditietojen avulla on mahdollista paikantaa järjestelmän toiminnassa olevia ongelmia tai mahdollisia kehityskohteita. Kuviossa 10 on maalämpöpumppujen tilatiedon trendiseuranta. Kuvaajasta nähdään, että L-talon lämpöpumput käynnistyvät ja pysähtyvät vuorotellen lyhyellä frekvenssillä. Tämä ei välttämättä ole optimaalisin tilanne energiankulutusta ja pumppujen käyttöikää ajatellen.



KUVIO 10. Lämpöpumppujen ja lämmityksen vaihtventtiilin tilatiedot

## 5 LÄMMITYS

### 5.1 Rakennusten lämmitys

Energian loppukäytöstä EU:n alueella noin 25 % kuluu rakennusten lämmitykseen ja asumisen energian kulutuksesta noin 70 % (Eurostat.Database). Lämmitysjärjestelmät ovat siis suuressa roolissa energiankäytön optimoinnissa.

Rakennusten lämmityksen tarkoitus on ylläpitää lämpöolosuhteet rakennuksen sisällä terveellisinä ja viihtyisinä. Lämmitysjärjestelmällä lämmitetään myös käyttövesi ja ilmanvaihdon tuloilma.

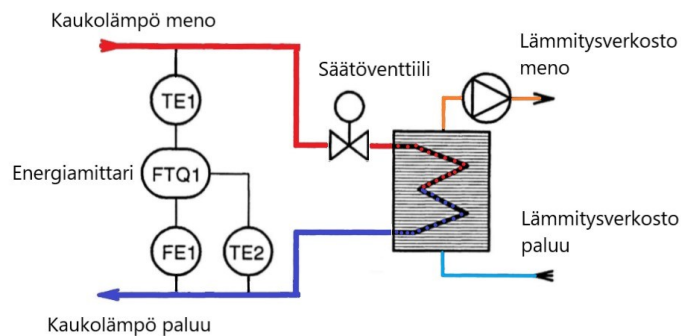
Lämmitystavat voidaan jaotella monella tavalla. Jaottelutapoina voidaan käyttää primäärienergianlähdettä (esim. öljy-, kaasu- tai maalämpö), siirto- tai tuotantotapaa (esim. kauko-, tai sähkölämmitys), lämmönjakotapaa (vesikiertoinen, ilmalämmitys jne.), käyttötapaa (jatkuva, varaava tai jaksottainen), sekä lämmön luovutustapaa (patteri-, lattia- tai säteilylämmitys). Lämmön jakeluun liittyy myös lämmitysjärjestelmän hajautus, tai keskitys. Yleisimmin Suomessa on käytössä keskuslämmitys. Hajautetun lämmitysjärjestelmän osia ovat huonekohtaiset lämmittimet, kuten uunit, kaminat ja erilliset sähkölämmittimet. (Seppänen 2001.)

## 5.2 Kiinteistön lämmöntuotanto

Kiinteistön lämmöntuotanto on mahdollista erilaisilla polttoaineilla, kuten öljy, kaasu, puu tai pelletit, käyttämällä lämpöpumppuja, sähkölämmitystä tai liittymällä kaukolämpöverkkoon. Seuraavaksi esitellään lyhyesti L-rakennuksen lämmöntuotantotavat.

### 5.2.1 Aluelämmitys

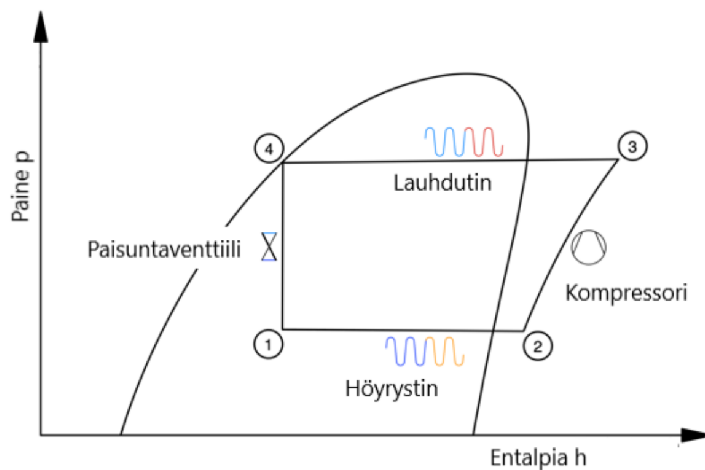
Kauko- tai aluelämmityksessä lämpö siirretään lämpöverkosta kiinteistön lämmönjakokeskuksen lämmönsiirtimien avulla kiinteistön lämmitysvesiverkostoon. Kaukolämmitys ei vaadi lämmönvaraajaa. Kuviossa 11 esitellään kaukolämpölaitteiston yksinkertaistettu periaate. Lämmitysverkoston lämpötila säädetään ohjaamalla säätöventtiilillä kaukolämpöveden virtausta lämmönvaihtimessa.



KUVIO 11. Alue/kaukolämpövaihtimen yksinkertaistettu toiminta

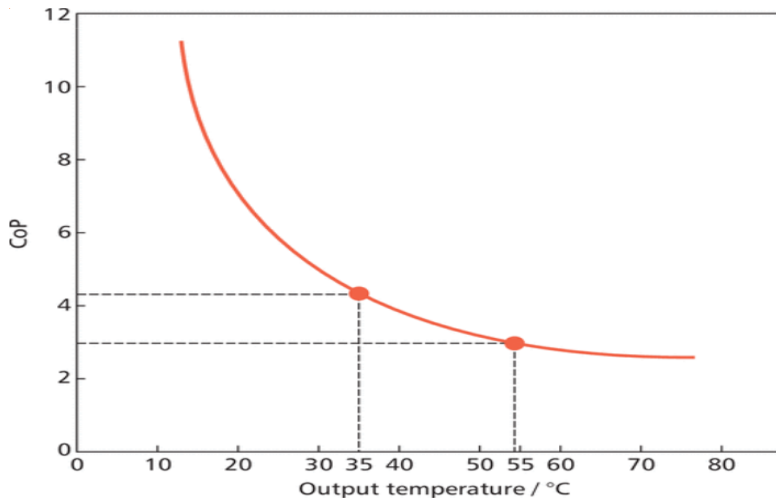
## 5.2.2 Lämpöpumppu

Lämpöpumpun toiminta perustuu suljettuun kylmäaineen kiertoprosessiin, joka on esitetty kuviossa 12. Kylmäaine valitaan siten, että sillä on tarkoitukseen so- piva paineesta riippuva höyrystymis- ja lauhtumislämpötila. Pisteessä 1-2 kylmä- aineeseen sitoutuu höyrystimessä lämpöä, joka saadaan esimerkiksi maasta. Pisteestä 2 pisteeseen 3 kylmäaineen paine korotetaan kompressorilla, jolloin myös kylmäaineen lämpötila nousee. Kylmäaine luovuttaa lämmön lämmitysver- kostoon lauhduttimessa pisteiden 3 ja 4 välillä. Lauhduttimen jälkeen kylmäai- neen paine lasketaan paisuntaventtiilin avulla, jolloin kylmäaine on taas valmis ottamaan lämpöä vastaan höyrystimessä (pisteet 4-1). (Inkinen & Tuohi 1999.) Lämpöpumpun tuottama lämpöteho on höyrystimeen ympäristöstä siirtyvä teho + kompressorin teho.



KUVIO 12. Lämpöpumpun kylmäaine prosessi (hm.edu muokattu)

Lämpöpumppu toimii tehokkaimmin, kun lämpötilaero lämpöenergianlähteen ja verkoston menoveden välillä on mahdollisimman pieni. Kuviosta 13 nähdään tyyppillinen lämpökertoimen (COP) lasku, kun verkoston menoveden lämpötila nostetaan 35:stä 55 °C:seen (Keeling & Butcher 2013, 17).



KUVIO 13. COP:n suhde lämmitysverkoston menoveden lämpötilaan, kun lämmönkeruunesteen lämpötila on 0 °C (Keeling & Butcher 2013, 17)

Lämpökerroin tarkoittaa tuotetun lämmön suhdetta kompressorin ottamaan sähkötehoon (Hakala 2013, 10). Eli jos COP on 3, yhdellä kilowatilla sähköenergiaa saadaan 3 kW lämpöenergiaa. Lämpökerroin eli COP voidaan laskea kaavalla

$$COP = \frac{\dot{\Phi}_L}{P} \quad (1)$$

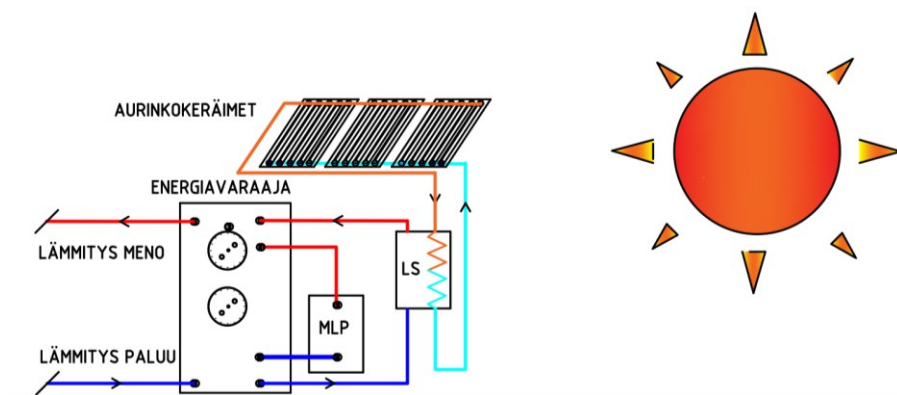
Jossa  $\dot{\Phi}_L$  on lauhduttimen teho ja  $P$  on kompressorin teho, tai kaavalla

$$COP = \frac{\dot{\Phi}_L}{\dot{\Phi}_L - \dot{\Phi}_H} \quad (2)$$

Kaavassa  $\dot{\Phi}_H$  on höyrytimen teho.

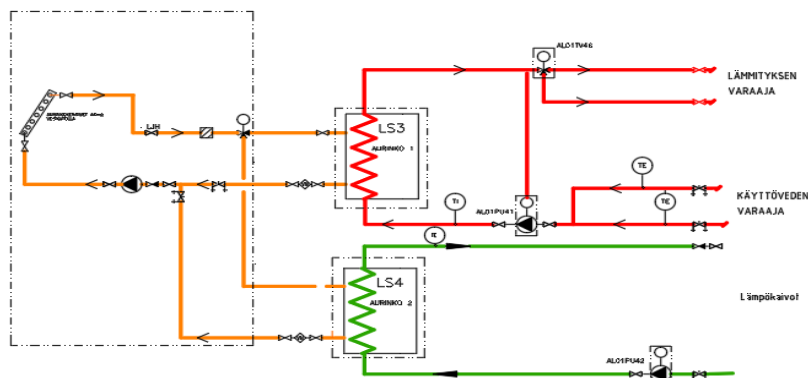
### 5.2.3 Aurinkolämmitys

Aktiivisessa aurinkolämmityksessä hyödynnetään aurinkoenergiaa esim. aurinkokeräinten avulla. Aurinkolämmityksen keskeisin ongelma Suomessa on se, että aurinkoenergiaa on tarjolla vähiten silloin, kun lämmitystä tarvitaan eniten. Lämpövarastoilla voidaan pyrkiä tasaamaan aurinkoenergian saatavuuden ja käytön välistä eriaikaisuutta. (Seppänen 2001, 335.) Kuviossa 14 esitellään yksinkertaistettu aurinkolämpöjärjestelmän toiminta. Aurinkokeräimet muuttavat auringon säteilyn lämmöksi ja lämpö siirretään lämmönsiirtimen avulla lämmitysverkostoon.



KUVIO 14. Aurinkolämmityksen periaate

Aurinkoenergiaa voidaan varastoida energiavaraajiin tai esimerkiksi maalämpökaivoihin. Kuviossa 15 on TAMK:n aurinkokeräinten kytkentäperiaate. Aurinkokeräimistä saatava lämpö ohjataan joko lämmityksen energiavaraajiin lämmönsiirtimen LS3 avulla tai maalämpökaivoihin LS4:n avulla.



KUVIO 15. L-talon Aurinkolämmityskytkentä (Insinööritoimisto Rejlersin kuvasta muokattu)

### 5.3 Keskuslämmitys

Keskuslämmitys tarkoittaa rakennuksen tilojen lämmitystä keskitetystä lämmönlähteestä lämmönsiirtoaineen avulla. Lämmönsiirtoaine voi olla esimerkiksi höyry, ilma tai vesi. Näistä yleisimmin käytetty on vesi hyvien lämmönsiirto-ominaisuuksiensa vuoksi.

Vesikiertoisessa keskuslämmityksessä lämpö jaetaan lämmönlähteestä, esimerkiksi maalämpöpumpusta, putkiston avulla rakennuksen eri osiin, jossa lämpö siirretään huoneisiin lämmönluovuttimen avulla. Lämmönluovutin voi olla radiatori, lattiaan, seinään tai kattoon asennettu putkisto tai joissakin tapauksissa puhaltimella varustettu patteri. Lämmönsiirtonesteen kiertäminen verkostossa hoidetaan kiertovesipumpulla. (Seppänen 2001, 119.)

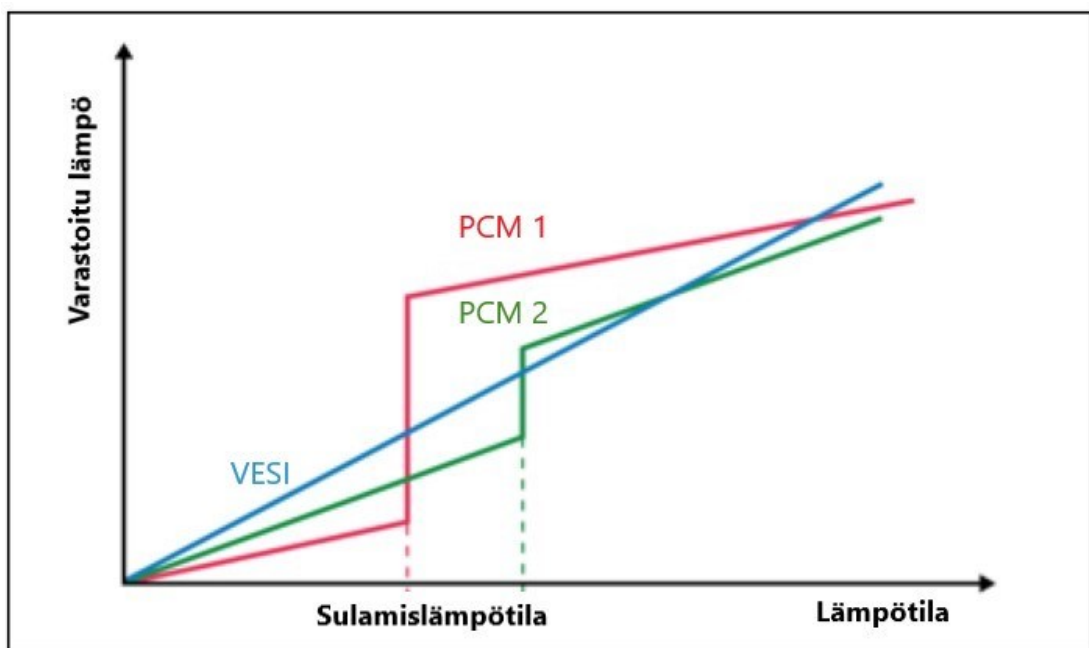
### 5.4 Lämmön varastointi

Taloteknisissä sovelluksissa yleisimmin käytössä olevat lämmönvarastointitavat ovat ns. tuntevan lämmön varastointi sekä piilevän, eli latentin lämmön varastointi.

Yleisin käytössä oleva energianvarastointitapa on tuntevan lämmön varastointi. Lämpöenergia varastoidaan materiaaliin yksinkertaisesti nostamalla materiaalin lämpötilaa. Yleinen käytetty sovellus on vesivaraaja, jossa lämpö varastoidaan veteen. Varaaja on käyttötarkoituksesta riippuen kooltaan kymmenistä litroista tuhansiin litroiin. Vesivaraaja toimii parhaiten lämmön lyhytaikaisessa varastoinnissa. Veden hyviä ominaisuuksia lämmönvarastoinnissa ovat hyvä ominaislämpö (4,19 kJ/kgK), edullisuus sekä myrkyttömyys. Lisäksi vesi ei aiheuta merkittävästi korroosiota suljetussa verkostossa. Tuntevan lämmön ongelma on se, että lämpöhäviöt kasvavat varaston ja ulkolämpötilan eron kasvaessa (Stadler, Hauer & Bauer 2019, 573).

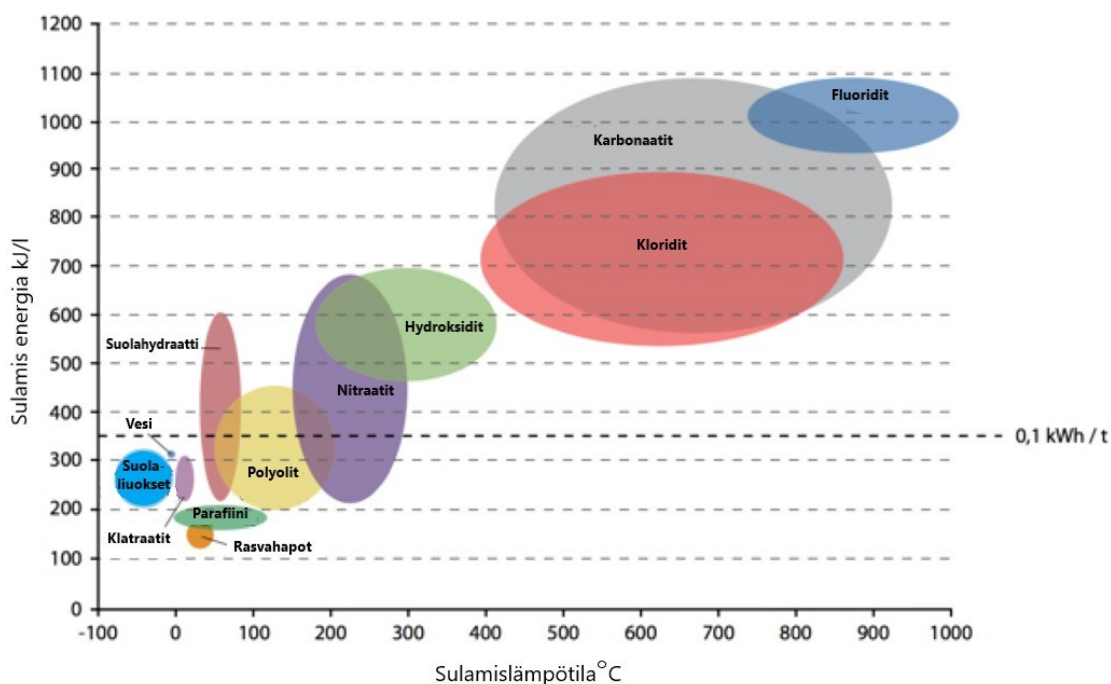


Latentin, eli piilevän lämmön varastointi perustuu materiaalin olomuodon muutokseen. Olomuodonmuutoksessa eli faasimuutoksessa aineen lämpötila ei muutu. Vaikka aineen lämpötila ei muutu, olomuodonmuutoksiin liittyvät lämpömäärät ovat erilaiset. Tätä lämpömäärää sanotaan latenttilämmöksi eli piileväksi lämmöksi. (Inkinen & Tuohi 1999, 385-386.) Kuviossa 16 on varastoitu lämpö lämpötilan funktiona. Kuvion perusteella nähdään, että PCM-materiaaliin voidaan varastoida suuri määrä energiaa pienellä lämpötilaerolla, joten lämpöhäviöt varastosta ovat pienempiä kuin tuntevan lämmön varastoissa. PCM tulee sanoista Phase change material eli faasimuutosmateriaali.



KUVIO 16. Varastoitu lämpömäärä lämpötilan funktiona. (Stadler ym. 2019, 590, muokattu)

PCM-lämpövarastoissa faasimuutos tapahtuu useimmiten kiinteän ja nesteen välillä. Lämmitysjärjestelmiin suunnatuissa käytössä olevissa varastoissa väliaineena on suolaliuokset, epäorgaanisten suolojen hydraatit ja rasvahapot. Kuviossa 17 on tällä hetkellä käytössä olevien PCM-materiaalien tyypilliset käyttölämpötilat. Suolahydraatit ja parafiinit ovat yleisimmin käytettyjä latenteissa lämpövarastoissa.



KUVIO 17. PCM-materiaalien käyttöalueet (Stadler ym. 2019, 593, muokattu)

Puhtaiden PCM-materiaalien lämmönjohtavuus on yleensä huono. Lämmönjohtavuuden parantamiseksi voidaan esimerkiksi grafiittimatriisi kyllästä PCM-materiaalilla. Toinen vaihtoehto on kapseloida PCM-materiaali pienemmiksi yksiköiksi. Lämpövarastokäytössä materiaalin lämmönjohtavuus on merkittävässä roolissa varaston lämpökapasiteetin maksimoinnissa lataus- ja purkusyklien aikana. (Stadler ym. 2019, 596 –600.)

## 5.5 Lämmön siirto

Lämmön siirtyminen on yksi keskeisimpiä osa-alueita LVI-tekniikassa. Käsite lämpötila voidaan määrittellä termodynamiikan nollannen pääsäännön mukaan. Kappaleet ovat termisessä tasapainossa, kun niiden lämpötilat ovat samat. Terminen tasapaino tarkoittaa sitä, että kahden kosketuksissa olevan kappaleen välillä lämpötila siirtyy kuumemmasta kylmempään, niin kauan, että kappaleiden lämpötilat ovat samat. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpö siirtyy itsestään vain kuumemmasta kylmempään. (Laiho 2010, 3–5.) Toisin sanoen lämmön siirto vaatii aina lämpötilaeron tai työtä tapahtuakseen.

Lämmön siirtoon rakennuksissa käytetään aina jotakin väliainetta, yleensä vettä. Lämmönsiirto väliaineen avulla perustuu väliaineessa kuljetettavaan lämmitysteeseen. Tarvittava lämpöteho määräytyy lämpöhäviöiden perusteella. Lämpöteho määrittelee käytettävän lämmönluovuttimen ja putkiston koon. Lämpöteho  $\Phi$  määritellään kaavalla

$$\Phi = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

jossa  $q_v$  on tilavuusvirta,  $\rho$  aineen tiheys,  $c_p$  on ominaislämpökapasiteetti ja  $\Delta T$  on meno- ja paluueden lämpötilaero. Mitä suurempi  $\Delta T$ , sitä pienempiä putkistoja ja laitteita voidaan käyttää. (Seppänen 2001, 119–120.)

Tilavuusvirta johdetaan kaavasta 3

$$q_v = \frac{\Phi}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad (4)$$

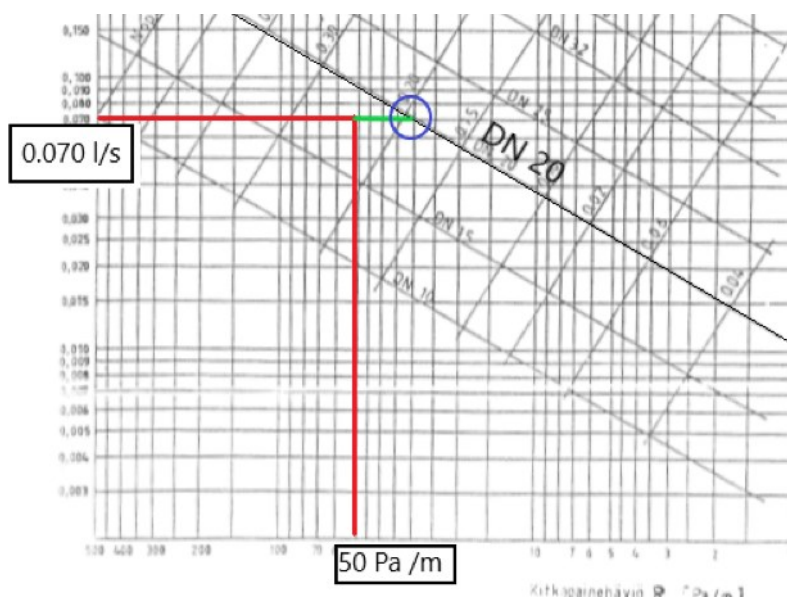
Tilavuusvirran perusteella valitaan sopivan kokoinen putkisto.

Putkiston koon valintaan vaikuttavat hankinta- ja käyttökustannukset. Käyttökustannukset muodostuvat lähinnä pumppauskustannuksista. Putkikokoon vaikuttavat lisäksi virtaavan nesteen nopeus. Korkea virtausnopeus aiheuttaa putkistossa äänen lisäksi eroosiokorroosiota, sekä lisää painehäviötä. Suuri painehäviö lisää

pumppauskustannuksia ja aiheuttaa meno- ja paluuputkiston välille suuria paineeron vaihteluita, mitkä vaikeuttavat verkoston tasapainotusta. Virtausnopeuden yläraja pidetään verkostosta riippuen 1,5-3 m/s. (Seppänen 2001, 147.)

Lämmitysverkostoissa mitoitusperusteena käytetään yleensä maksimipainehäviötä 50 Pa/m. (Laiho 2010.) Putkimitoituksessa voidaan kuitenkin sallia suurempi painehäviö. Kun putkiosuus on lyhyt, voidaan osuus mitoittaa keskipainehäviöllä 100 Pa/m (LVI 12-10343, 6). Jäähdytysverkoston kokemukseräisesti hyväksi todettuna mitoitusperusteena on yleensä virtausnopeus. Hyväksi todetut nopeudet ovat runkoputkistossa 0,5 -1 m/s ja jakojohdoissa 1,5-3 m/s (Kianta & Kapanen 2019, 28).

Putken koko voidaan laskea käyttämällä kuvion 18 kaltaisia diagrammeja tai suunnitteluohjelmistoja. Diagrammista valitaan haluttu virtaama pystyakselilta ja tavoiteltu painehäviö vaaka-akselilta (kuviossa 18 punaiset viivat). Leikkauskohdalla siirrytään vihreään viivan mukaisesti diagrammin kohtaan, joka näyttää putkikoon. Esimerkin tapauksessa virtaamalla 0,070 l/s ja maksimipainehäviö 50 Pa/m, joten putkikooksi valikoituu DN20. Diagrammi kokonaisuudessa on liitteenä 1.



KUVIO 18. Putkikoon valinta diagrammin avulla (Laiho, muokattu)

Jos mitoitusperusteena käytetään virtausnopeutta, putken sisäpinta-ala voidaan johtaa tilavuusvirran kaavasta,

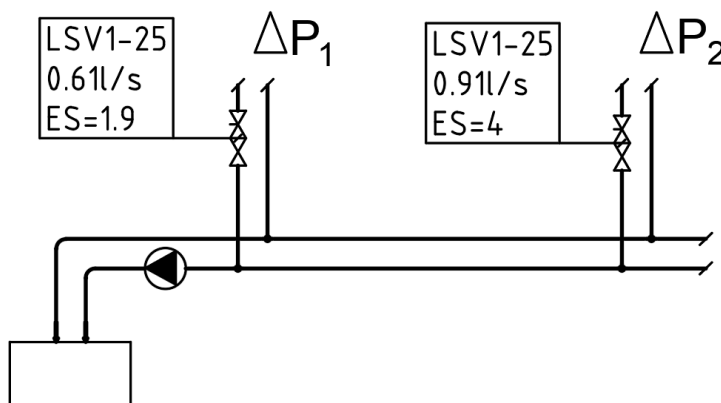
$$q_v = A \cdot V \quad (5)$$

jossa  $A$  on putken sisäpuolen pinta-ala ja  $V$  virtausnopeus. Pinta-ala saadaan jakamalla kaavan (5) molemmat puolen virtausnopeudella

$$A = \frac{q_v}{V}. \quad (6)$$

Pinta-alasta ( $A$ ) saadaan laskettua putken sisähalkaisija.

Putkimitoituksen lisäksi verkoston suunnittelussa tulee huomioida putkiston tasapainotus. Putkistolla halutaan kuljettaa tietty ainevirta joka kulutuspiisteelle. Putkiston haarautuvassa kohdassa on painetta käytettävissä joka suuntaan yhtä paljon. Ainevirtaa siis pyrkii kulkemaan putkistossa helpointa reittiä, mikä tasapainottaa putkiston osuuksien aiheuttaman painehäviön. Tällöin kuitenkin kulutuspiisteille haluttu ainevirta ei toteudu. Jotta saadaan kulutuspiisteelle haluttu ainevirta, pitää verkoston kiertopiirien painehäviön olla yhtä suuri. Verkoston tasapainotukseen voidaan käyttää linjasäätöventtiileitä, joilla verkoston linjojen painehäviö säädetään. (Laiho 2019, 18-19) Kuviossa 19 on esimerkki linjasäätöventtiilien käytöstä. Painehäviö  $\Delta P_1$  tulee olla sama kuin  $\Delta P_2$ . Linjasäätöventtiiliin säädetään verkon osuuksien painehäviöt. Kuvassa oleva ES on venttiilin asento; mitä pienempi luku, sitä suuremman painehäviön venttiili aiheuttaa.

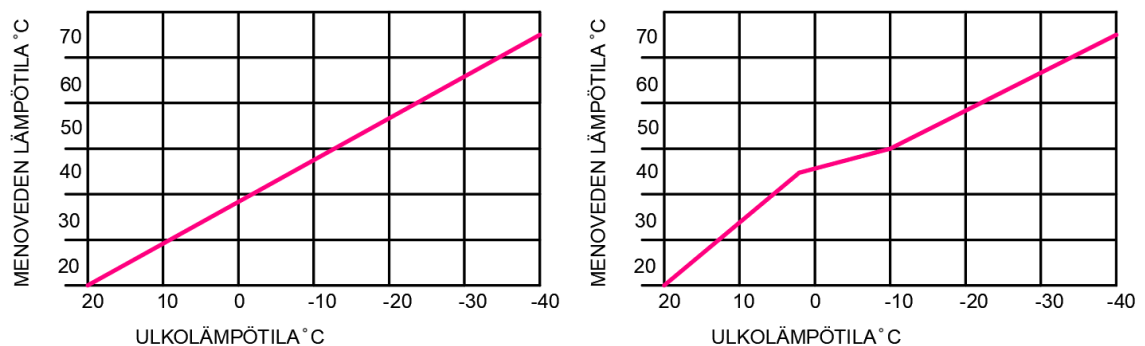


KUVIO 19. Verkoston tasapainotus linjasäätöventtiilien avulla

## 5.6 Lämmityksen säätö

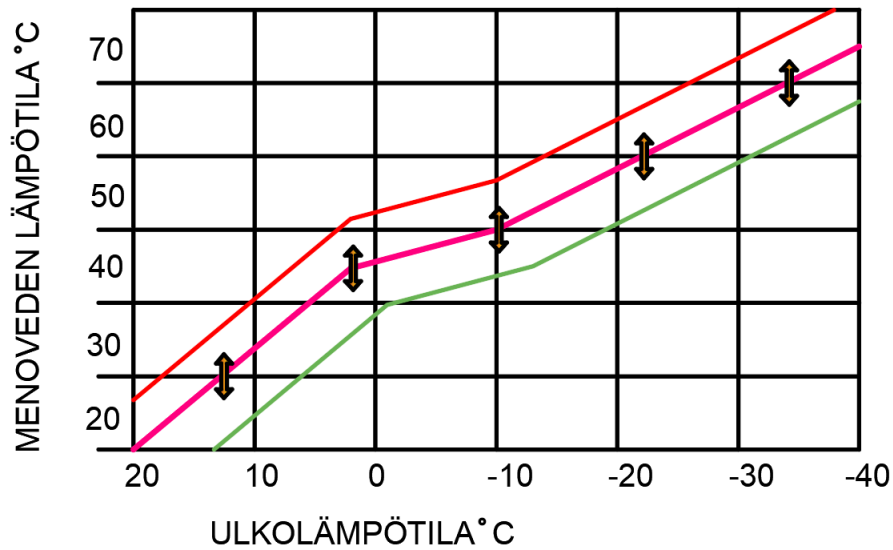
Itse lämmitysjärjestelmien eroavaisuus on siinä, millä tavalla lämpö kiinteistössä tuotetaan ja millä tavalla se jaetaan. Lämmitysjärjestelmien automatiikan ohjaus-, säätö-, ja mittausoiminnot taas poikkeavat joskus huomattavasti toisistaan. Automatiikan tavoite on tuottaa lämpöä mahdollisimman tehokkaasti ja energiaa säästään. Huonelämpötilan pitäminen tavoitearvossa ulkolämpötilasta ja sisäistä kuormista riippumatta on lämmityksen säädön perustavoite. (Suomäki & Vepsäläinen 2018, 59-60.)

Lämmityksen säätökäyrää käytetään lämmitysverkoston menoveden lämpötilan säätämiseen vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä. Säätökäyrällä on ulkolämpötilaan suhteutettuna sopiva lämmitysveden lämpötila. Kuviossa 20 on esimerkki lämmityksen säätökäyrästä. Säätökäyrä valitaan jokaiseen järjestelmään ja kiinteistöön yksilöllisesti. Varhaisimpien säätimien säätökäyrä oli suora viiva, kuviossa 20 vasemmalla. Kuvassa oikealla on digitaalinen säätökäyrä. Digitaalinen säätökäyrä voidaan asettaa tarkasti rakennuksen ominaisuuksien mukaan.



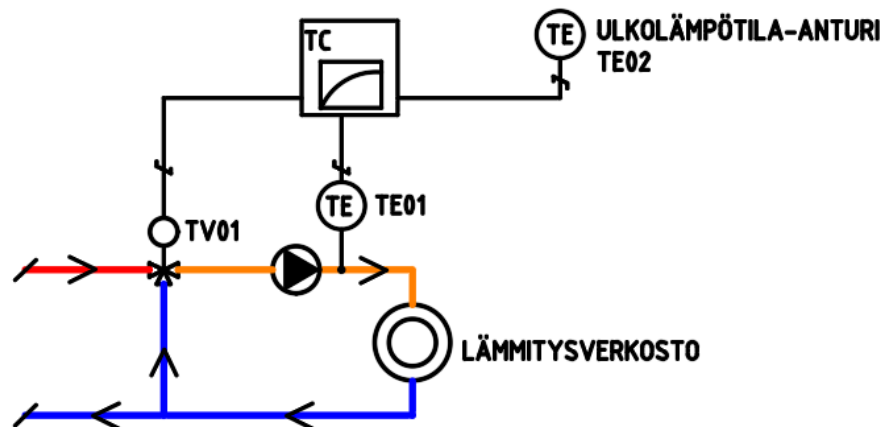
KUVIO 20. Lämmityksen säätökäyrät

Suuntaissiirrolla tarkoitetaan säätökäyrän korkeuden muutosta ilman, että muuttetaan koko käyrän asetusta. Suuntaissiirto esitetään kuviossa 21.



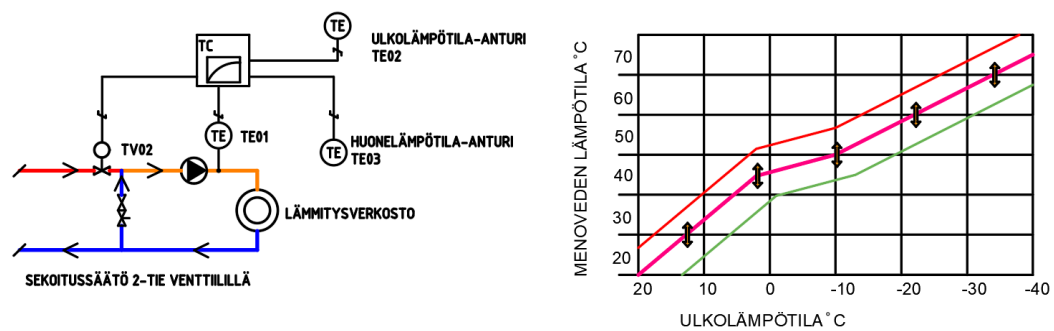
KUVIO 21. Lämmityskäyrän suuntaissiirto

Lämmitysverkosto mitoitetaan laskennallisen huippulämmitystehon mukaan. Menoveden lämpötilaa muuttamalla lämmitystarpeen mukaan voidaan säätää lämmitystehoa. Lämmöntarve monissa rakennuksissa riippuu ulkoilman lämpötilasta. (Seppänen 2001, 185.) Kuviossa 22 ulkolämpötilakompensoidussa säädössä ulkoilman lämpötilaa mitataan ulkoilma-anturilla TE02. Anturin mittauksen perusteella säätölaite TC säätää menoveden lämpötilaa TE01 ohjaamalla säätöventtiiliä TV01.



KUVIO 22. Ulkolämpötilakompensoitu säätö

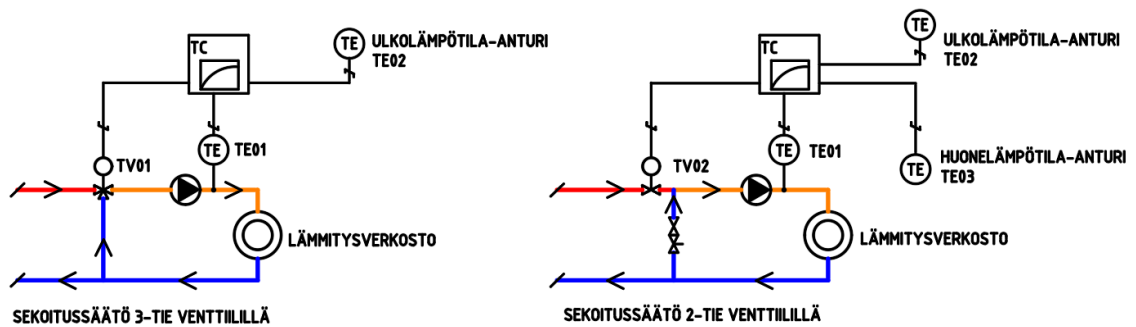
Lämmityksen säädöstä saadaan huomattavasti tarkempi ja energiatehokkaampi, kun ulkolämpötilakompensoituun säätöön lisätään sisälämpötilaa mittaava anturi. Tässä säätötavassa huoneissa mitattu yli- tai alilämpö muuttaa säätökäyrän korkeutta, jotta turhaa lämmitystä ei tehdä. Tätä säätömenetelmää kutsutaan kaskadisäädöksi. Kaskadisäätö koostuu pää- ja apusäädöstä. Huonekompensointisäätö on tyypillinen esimerkki kaskadisäädöstä. (Suomäki & Vepsäläinen 2018, 36.) Kuviossa 23 on esimerkki kaskadisäädöstä. Säätölaite TC säätelee menoveden lämpötilaa TE01 ulkolämpötila-anturin TE02 perusteella. Säätölaite TC ohjaa lämmityskäyrän suuntaissiirtoa lämpötila-anturin TE03 perusteella.



KUVIO 23. Kaskadi eli sarjasäätö

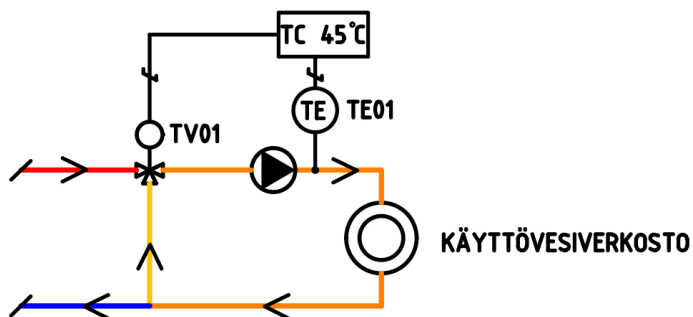


Sekoitussäätö perustuu menoveden ja paluuveden sekoittamiseen sopivassa suhteessa. Sekoitussäätö voidaan toteuttaa kuvion 24 mukaisesti kaksi- tai kolmitieventtiilillä. Vasemman puoleisessa TC säätää menoveden lämpötilan TE01 asetusarvon mukaiseksi ohjaamalla säätöventtiiliä TV01. TV01 sekoittaa paluuvdestä (sininen) ja vaihtimelta tulevasta kuumasta vedestä (punainen) menovettä (oranssi). Nuolet kuvassa kertovat veden virtaussuunnan. Oikeanpuoleinen, 2-tieventtiilillä toteutettu toimii muuten samalla tavalla, mutta säädin TC avaa 2-tieventtiiliä tarpeen mukaan, jolloin kuumaa vettä pääsee verkostoon.



KUVIO 24. Sekoitussäädön periaate

Vakioarvosäädössä säätimelle asetetaan kiinteä asetusarvo. Vakioarvosäätöä käytetään yleensä lämpimän käyttöveden lämpötilasäädössä, jossa voidaan aina käyttää samaa asetusarvoa. Kuviossa 25 esitellään vakioarvosäädön periaate. Säätölaite TC pitää verkoston lämpötilan asetusarvossa 45 °C säätämällä säätöventtiiliä TV01.



KUVIO 25. Vakioarvosäädön toiminta

## 6 TAPAUSTUTKIMUSKOHDDE TAMK L-TALO

### 6.1 TAMK L-talo

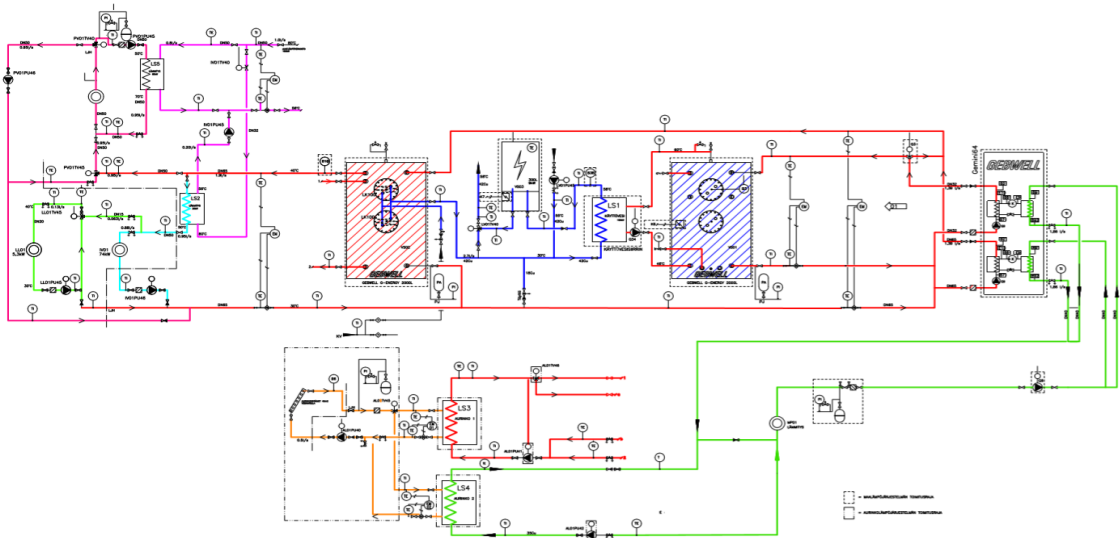
L-rakennus on Tampereen ammattikorkeakoulun pääkampuksen rakennus. L-talo sijaitsee Kuntokatu 3:ssa Tampereen Kaupissa. Rakennus toimii TAMK:n henkilöstön ja opiskelijoiden liikuntahallina, minkä lisäksi rakennuksessa on opiskelijakunnan toimisto sekä muita hallinnollisiin toimiin liittyviä osia. Rakennukseen tehtiin osittainen peruskorjaus sekä kellarillinen kaksikerroksinen laajennusosa vuosina 2015-2016. Laajennusosa sisältää uuden kunto- ja monitoimisalilin, sekä niiden toimintaan liittyviä pesu- ja varastotiloja sekä väestönsuojan. Rakennuksen vanhaan osaan sijoitettiin toimisto-, varasto- ja pesutiloja sekä tekninen tila peruskorjauksen yhteydessä. L-talohankkeen yksi tavoitteista oli, ettei rakennuksen ostoenergiankulutus kasva, vaikka rakennuksen kerrosala on peruskorjauksen ja laajennuksen jälkeen noin kaksikertainen. Kuviossa 26 on arkkitehtitoimiston näkemys L-talosta.



KUVIO 26. Tapaustutkimus kohde L-Talo (Arkkitehtitoimisto Helamaa & Heiskanen)

## 6.2 Lämmitysjärjestelmä

L-rakennuksessa on vesikiertoinen keskuslämmitys. Ensisijaisina lämmönlähteinä ovat maa- ja aurinkolämmitys sekä avustavana järjestelmänä aluelämmitysjärjestelmä. Maalämmitysjärjestelmässä on 15 maalämpökaivoa ja kaksi lämpöpumppua. Maalämpöpumppujen yhteenlaskettu teho on 64 kW. Aurinkokeräinten pinta-ala on 46 neliometriä. Kuvio 27 sisältää L-talon lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavion, jossa värityksellä kuvataan putkiston eri osuuksia.

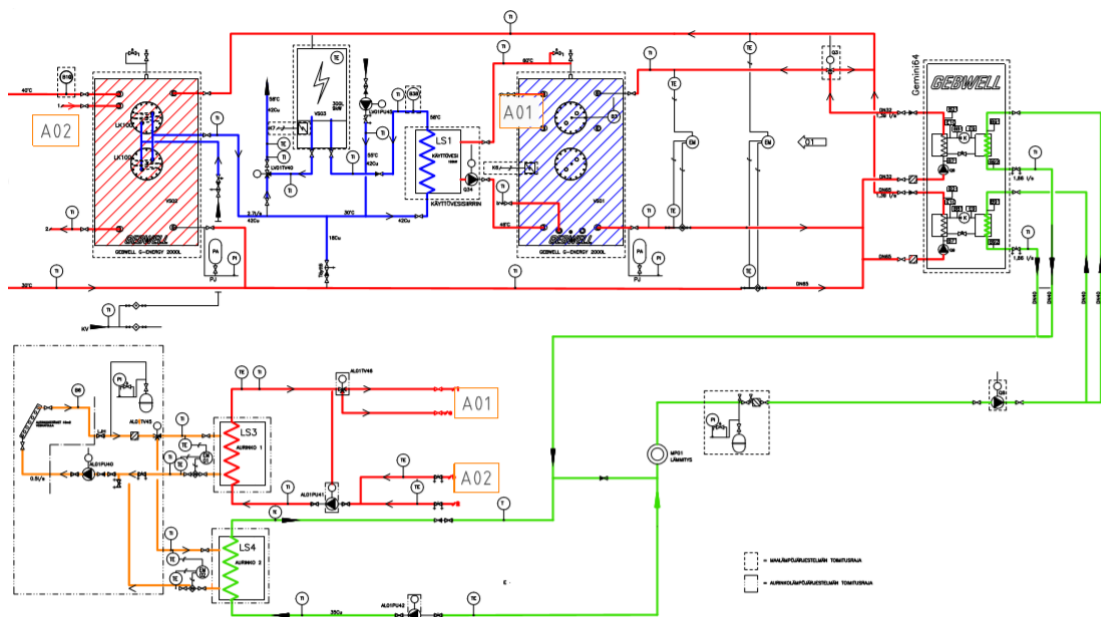


KUVIO 27. L-talon lämmitysjärjestelmän rakenne (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

Lämpöä varastoidaan kahteen 2000 litran energiavaraajaan. Kuviossa 27 on vasemmalla punaisella poikkiviivoituksella merkitty lämmitysjärjestelmän puskurisäiliö / energiavaraaja. Oikeanpuoleinen sinisellä viivoituksella merkitty on käytövedenlämmitykseen käytettävä energiavaraaja. Molempia varaajia lämmitetään sekä maa- että aurinkolämmöllä.

### 6.3 Lämmön- ja käyttövedentuotanto

Lämpöpumpuista toinen lämmittää käyttövettä sekä tilalämmitystä, toinen on pelkästään tilalämmitykseen. Lämpöpumput ovat kuvion 28 oikeassa reunassa. Lämpöpumput lämmittävät punaisella viivalla merkityssä putkistossa kiertävää vettä. Punaisella poikkiviivoituksella on merkitty lämmitysverkoston puskurivaraaja ja sinisellä käyttöveden puskurivaraaja. Molemmissa varaajissa kiertää sama vesi, mutta käyttöveden varaajan lämpötilataso on korkeampi. Maalämmityksen liuospiiri on kuvattu vihreällä värillä.



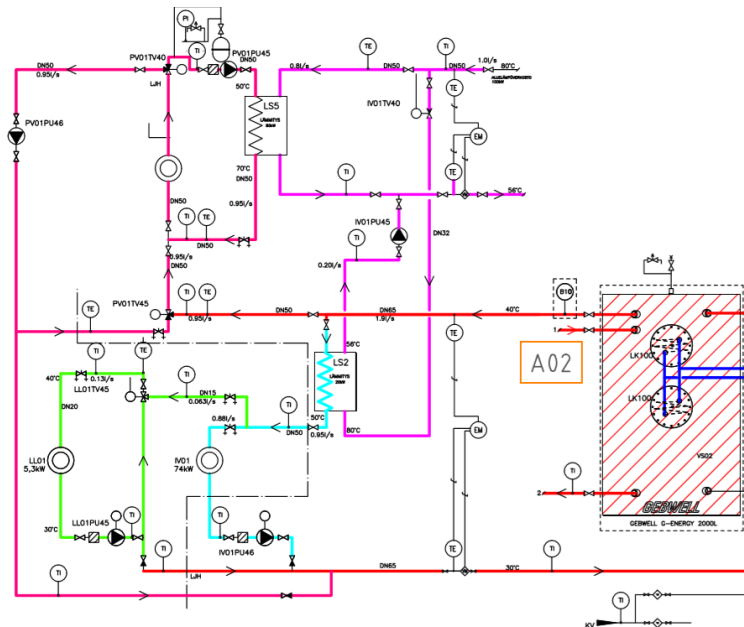
KUVIO 28. L-talon lämmitysjärjestelmän maa- ja aurinkolämmitys (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

Aurinkolämmitystä käytetään lämmitys- ja käyttövesivaraajien lataamiseen. Kuviossa 28 aurinkolämmityksen kytkennät varaajiin on merkitty A01 ja A02. Aurinkolämmityksen liuospiiri on yhteydessä maalämmityksen liuospiirin lämmönvaihtimen LS4 kautta. Aurinkolämpöä varastoidaan maalämpökaivoihin kesäaikaan. Maalämpökaivot on kuvattu kuvion 28 keskellä kahdella sisäkkäisellä ympyrällä.

Lämpöpumppu vastaanottaa lämmönpyynnön rakennusautomaatiojärjestelmästä, jolloin laite tuottaa lämpöä verkostoon menovesianturi B10 mittauksen mukaan. B10 lämpötilatasot perustuvat ilmeisesti ulkolämpötilaan. Vaikuttaa siltä,

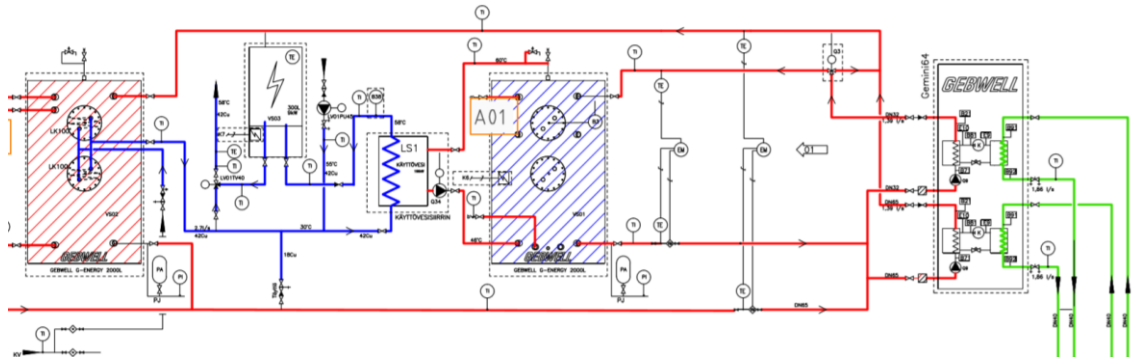
että B10 lämpötilakäyrä seuraa IV-lämmityskäyrää, mutta lämpötilataso on hie-  
man korkeampi. Kaikki toisioverkostojen säädöt sekä ohjaukset ovat kiinteistöau-  
tomaatiojärjestelmän ohjauksessa.

Aluelämmitystä tarvitaan, kun varsinaisella lämmöntuottotavalla ei pystytä talou-  
dellisesti tuottamaan patteri- ja ilmanvaihdonlämmitysverkoston tarpeeksi läm-  
mintä vettä. Aluelämmityksen kytkentäperiaate on kuviossa 28. Verkosto on kyt-  
ketty aluelämmitykseen lämmönvaihtimien LS5 sekä LS2 avulla. LS5 on patteri-  
lämmityksen lämmönvaihdin ja LS2 on ilmanvaihtokoneiden tuloilman lämmityk-  
sen lämmönvaihdin.



KUVIO 29. Aluelämmityksen kytkentä L-talon lämmitysverkoston (Insinööritoi-  
misto Rejlers, muokattu)

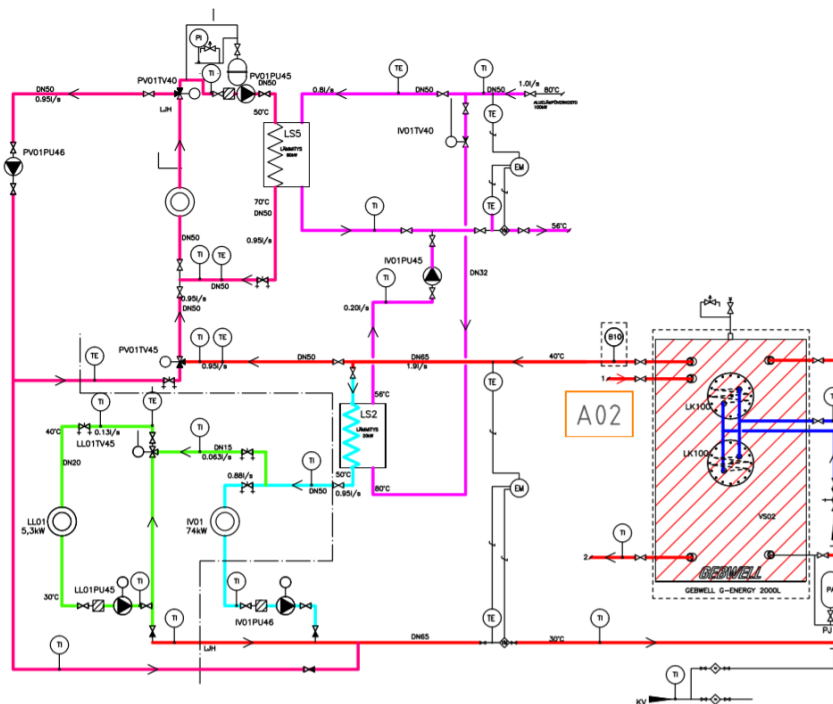
Käyttövesiputkisto on esitetty kuviossa 30 sinisellä värillä. Käyttövesi esilämmitetään lämmityksen energiavaraajassa olevalla kierukalla, jonka jälkeen käyttövesi johdetaan lämmönsiirtimeen LS1. LS1:n avulla käyttöveden energiavaraajan lämpö siirretään esilämmitettyyn käyttöveteen. Käyttöveden tavoitelämpötila on 55 °C. Energiavaraajan lämpötila pysyy asetusarvossa anturin B3 mittauksen perusteella (käyttövesivaraajan puskurisäiliössä). Maalämpöpumppu käynnistyy, kun mittauksen (B3) arvo alittaa 50 °C ja sammuu kun mittaus saavuttaa lämpötilan 55 °C. Kun käyttöveden energiavaraajasta ei saada tarpeeksi kuumaa vettä, käyttöveden lämpötila priimataan sähkövastuksella. Sähkövastus näkyy kytkentäkaaviossa puskurivaraajien välissä.



KUVIO 30. Käyttövedenlämmityksen putkistokaavio (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

## 6.4 Lämmönjako

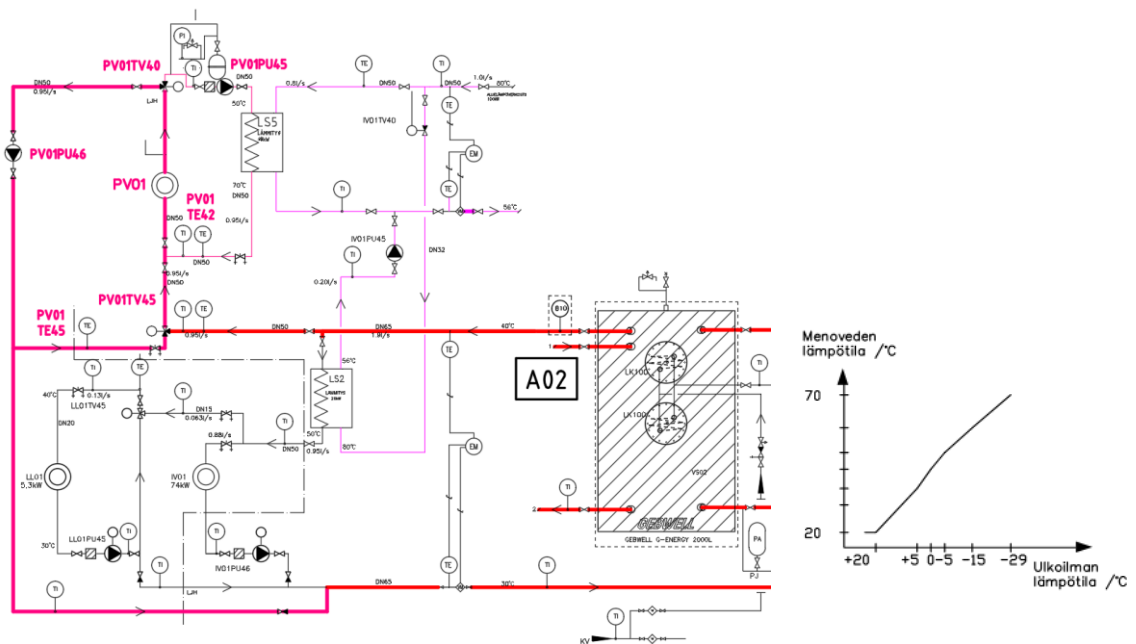
Eri lämmitysverkostot ovat kuviossa 31. Verkostoissa kiertää sama lämmitysvesi kuin puskurivaraajissa, mutta kokonaisuuden hahmottamiseksi ne on kuvattu omilla väreillä kytkentäkaaviossa. Lattialämmitysverkoston putkisto on neonvihreä, ilmanvaihdon lämmityksen neonsininen ja patterilämmityksen vasemmassa ylänurkassa punaisen eri sävy. Lisäksi kuviossa 31 näkyy vaaleanpunaisella aluelämmitysverkosto.



KUVIO 31. Lämmönjakoverkostot (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

L-rakennuksen vanhan osan lämmönjakotapa on patterilämmitys. Vanhan osan lämmitysjärjestelmää ei uusittu peruskorjauksen yhteydessä, joten se on mitoitettu korkeille lämpötiloille. Tämä aiheuttaa haasteita maalämpöjärjestelmän tehokkaaseen käyttöön. Patteriverkoston kuuluu myös liikunta- ja monitoimihallin kattosäteilijäverkosto sekä uuden kuntosalin ja aulan patteriverkko.

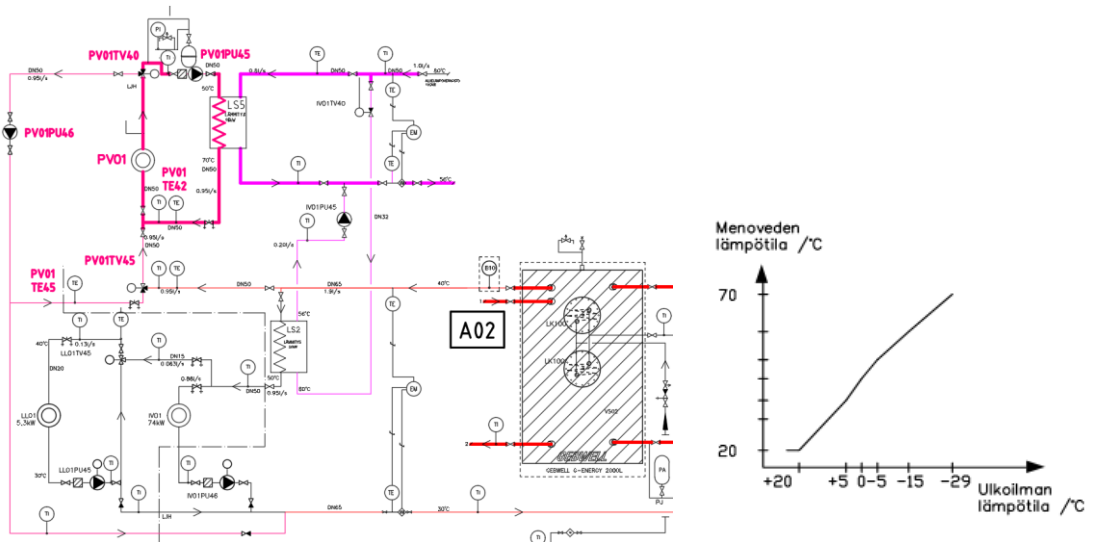
Patteriverkon lämmitykseen pyritään käyttämään maalämpöä. Kuvion 32 vasemmassa ylänurkassa on patteriverkoston putkisto kuvattu punaisen sävyillä. Tummanpunainen on maalämmöllä lämmitettävä vesi. Kuvassa olevista nuolista voi tarkkailla verkoston veden kiertosuuntaa, sekä paksummat viivat kuvaavat kyseiseen toimintoon suoraan liittyvää putkistoa. Maalämpöä käytettäessä verkoston toimintaperiaate on seuraava: patteriverkoston kiertovesipumppu PV01PU46 käy, kiertovesipumppu PV01PU45 on seis, menoveden lämpötila PV01TE40 pidetään lämpötilakäyrän mukaisessa arvossa säätämällä patteriverkoston säätöventtiiliä PV01TV45.



KUVIO 32. Patteriverkoston toiminta maalämmöllä sekä lämpötilakäyrä (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

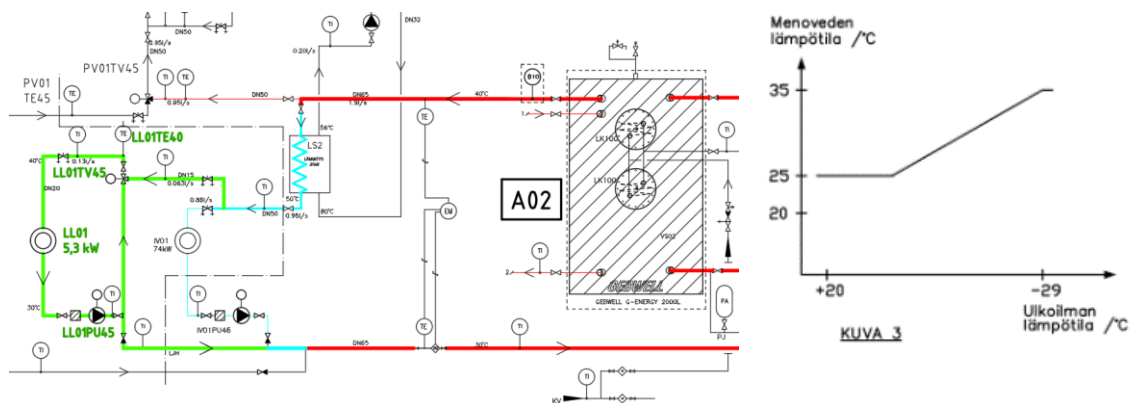


Aluelämmitystä käytettäessä patteriverkoston toimintaperiaate on esitetty kuviossa 33 ja seuraavassa selostuksessa. Patteriverkoston kiertovesipumppu PV01PU45 käy, kiertovesipumppu PV01PU46 on seis, säätöventtiili PV01TV45 on kiinni, menoveden lämpötila PV01TE42 pidetään lämpötilakäyrän mukaisessa asetusarvossa säätämällä patteriverkoston säätöventtiiliä PV01TV41.



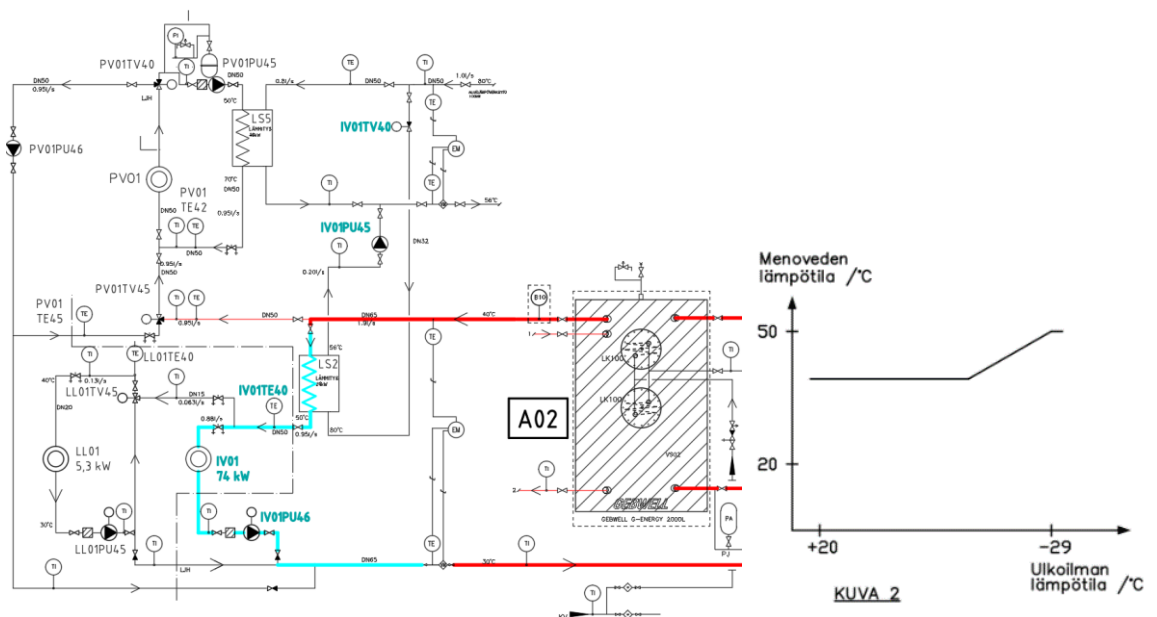
KUVIO 33. Patteriverkoston toiminta aluelämmityksellä (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

Lämmönjakotapoina märkätiloissa on lattialämmitys. Lattialämmitysverkoston syöttöputkisto on kuviossa 34 neonvihreällä. LL01 kuvaa lattialämmityksen lämmönjakoputkistoa. Märkätilojen lämmitysverkon toimintaperiaate kuviossa 34 on seuraava: kiertovesipumppu LL01PU45 käy koko ajan, menoveden lämpötila LL01TE40 pidetään lämpötilakäyrän mukaisessa asetusarvossa säätämällä lattialämmityksen säätöventtiiliä LL01TV45. Hieman jännittävästi lattialämmitysvesi kulkee ilmanvaihdon aluelämmityksen lämmönvaihtimen LS2 kautta.



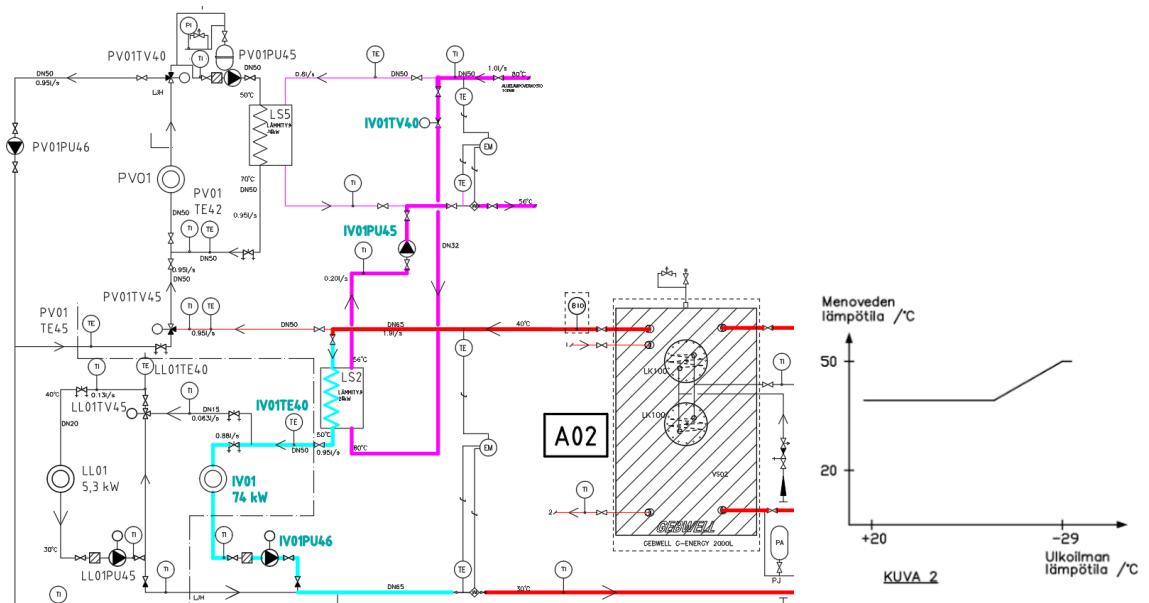
KUVIO 34. Lattialämmityksen putkistokaavio ja lattialämmityksen säätökäyrä (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

Ilmanvaihtokoneiden tuloilma lämmitetään vesikiertoisilla pattereilla. IV- verkoston lämpö tuotetaan ensisijaisesti maalämmöllä, ja mikäli maalämpöjärjestelmän lämpötila ei riitä, lämmitykseen käytetään aluelämmitystä. IV-verkoston syöttöputkisto on kuviossa 35 neonsinisellä, ja maalämmön toisioputkisto on punaisella. IV-verkoston toiminta maalämpöä käytettäessä on seuraava: IV-verkoston kiertovesipumppu IV01PU46 käy, kiertovesipumppu IV01PU45 on seis, menoveden lämpötila IV01TE40 pidetään lämpötilakäyrän mukaisessa arvossa ilmeisesti lämpöpumppuja ohjaamalla.



KUVIO 35. IV-verkoston putkikaavio ja lämpötilakäyrä (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

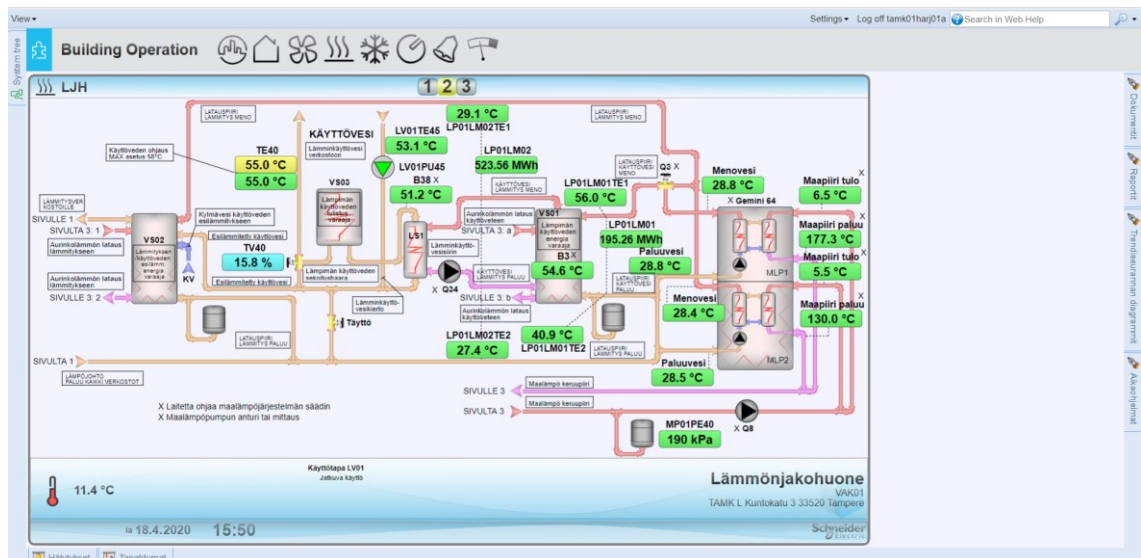
Aluelämmitystä käytettäessä IV-verkoston kiertovesipumppu IV01PU46 ja IV01PU45 käyvät. Menoveden lämpötila IV01TE40 pidetään lämpötilakäyrän mukaisessa asetusarvossa säätämällä IV-verkoston säätöventtiiliä IV01TV40, joka ohjaa aluelämmitysveden virtausta lämmönvaihtimen LS2 läpi. Verkoston vesi lämpiää pääosin maalämmöllä. Aluelämmitystä käytetään lämpötilan nostamiseen tasoon, jonka saavuttaminen maalämmöllä ei ole taloudellista. (KUVIO 36).



KUVIO 36. IV-järjestelmän toimintaperiaate aluelämpöä käytettäessä (Insinööri-toimisto Rejlers, muokattu)

## 6.5 Rakennusautomaatio

L-rakennuksessa on Schneider Electricin rakennusautomaatiojärjestelmä. Järjestelmä koostuu valvonta- ja ohjausohjelmat sisältävästä tietokoneesta sekä kahdesta valvonta-alakeskuksesta. VAK01 eli valvonta-alakeskus numero 01 sijaitsee lämmönjakohuoneessa. VAK02 on IV-konehuoneessa. Molempiin keskuksiin on liitetty erilaisia kentälaitteita ja mittauksia säätötoimintoja varten. Valvontaohjelmiston avulla on mahdollista tarkkailla taloteknisten järjestelmien suorituskykyä reaaliajassa. Valvontaohjelmiston rooli tämän työn toteutuksessa oli merkittävä. Kuvio 37 on valvontaohjelmiston lämmitysjärjestelmänäkymästä. Kuvassa vihreällä pohjalla olevat numerot ovat mittauspisteitä lämmitysjärjestelmästä.



KUVIO 37. Kuvakaappaus L-talon valvomon näkymästä

## 6.6 L-talo testiympäristönä

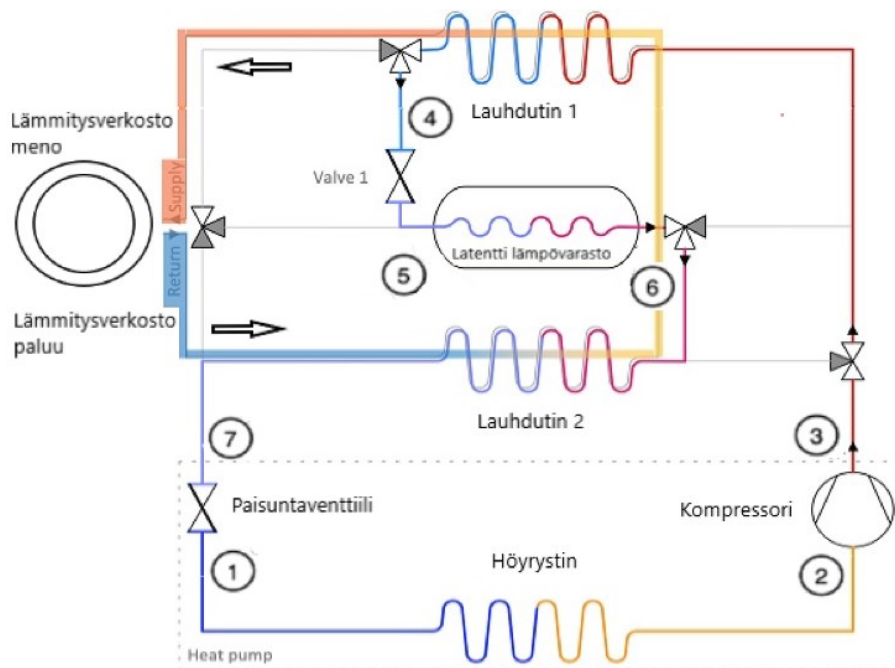
L-talo on toimiva testiympäristö tutkimukselle, koska rakennuksessa on nykyaikainen energian varastointimahdollisuudella varustettu talotekninen järjestelmä. L-talon saneerauksen ja laajennuksen suunnittelussa haluttiin ottaa huomioon nZEB-direktiivin haasteet ja rakennushankkeessa pyrittiin toteuttamaan joitakin ratkaisuja, jotka mallintavat nZEB-rakennusta ja joista saadaan mittausdataa hyödyntämään tulevaisuuden rakentamista sekä opetusta.

L-talon taloteknistä järjestelmää pystytään valvomaan ja ohjaamaan kattavasti rakennusautomaatio- ja valvontajärjestelmän avulla. Lisäksi rakennuksessa on valmiiksi kattava energiankäytön seurantamahdollisuus, joten molempien tutkimusorganisaatioiden päätavoitteiden mukaisten mittausdatan kerääminen on mahdollisimman helppoa. Valvontajärjestelmän tallentamia tietoja käytettiin myös lämpöpumpun PCM-materiaalin ja kytkentäpaikan valinnan tukena.

## 7 LÄMPÖPUMPPU INTEGROIDULLA LÄMPÖVARASTOLLA

### 7.1 Lämpöpumpun kehittämisen tarkoitus

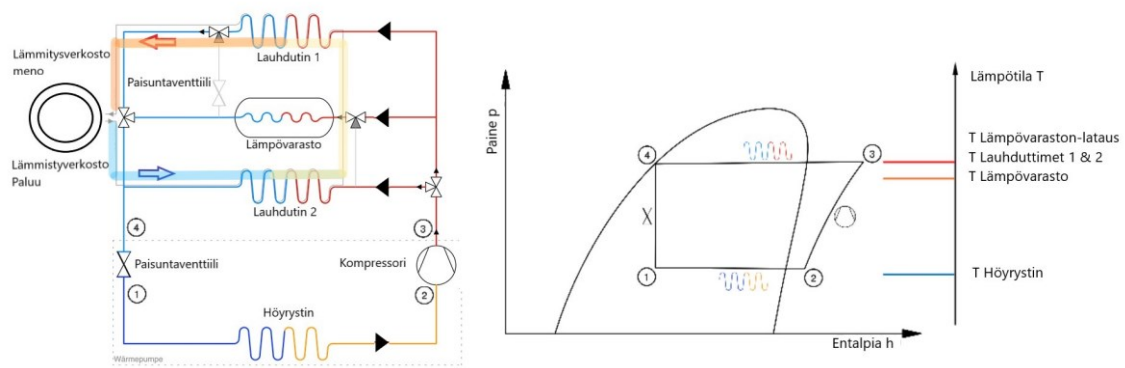
Sähköverkon kuormituksen vähentämiseksi lämpöpumppulaitteistosta on poistettava lämmitystehon ja sähkönkulutuksen suhde. Työn tarkoitus on tutkia latentin lämpövaraston käyttöä edullisen energian varastointiin lämpöpumppulaitteissa. Lämpövarastoon on tarkoitus pystyä varastoimaan edullinen energia, ja luovuttaa varastoitua energiaa silloin, kun energian ostaminen olisi kallista. Tätä tarkoitusta varten kehitettävän lämpöpumpun latentilla lämpövarastolla on tarkoitus kyetä vastaamaan kysyntäjouoston tarpeisiin. Lämpöpumpun konsepti on kuviossa 38. Järjestelmä sisältää kompressorin, höyrystimen ja kaksi lauhdutinta sekä kylmäainekierrossa olevan latentin lämpövaraston. (Schweigler.)



KUVIO 38. Lämpöpumppu latentilla lämpövarastolla -konsepti (hm.edu muokattu)

## 7.2 Toimintaperiaate ja edut

Lämpöpumppua voidaan käyttää kuten normaalia lämpöpumppua. Lisäksi lämpöpumpun on mahdollista ladata kylmäainekierrossa olevaa lämpövarastoa (KUVIO 39). Lataus tapahtuu siten, että osa kylmäaineen massavirrasta kompressorin jälkeen ohjataan lämpövarastoon, joka vastaanottaa lämpöenergian kylmäaineesta (pisteet 3-4). Loput kylmäaineesta ohjataan lauhduttimiin. Kuviossa 39 sininen ja punainen nuoli kuvaavat lämmitysverkoston veden kiertoa lauhduttimissa. Lataus-/lämmityssyklin aikana lauhduttimet toimivat kylmäainekierrossa rinnakkain. Kuvion 39 kylmäainekierron kaaviossa on esitetty lämpötilat. Kylmäaineen lämpötila lauhduttimissa on sama kuin lämpövarastoa ladattaessa. Lämpövaraston lämpötila on siis häviöiden vuoksi hieman alhaisempi kuin latauslämpötila.

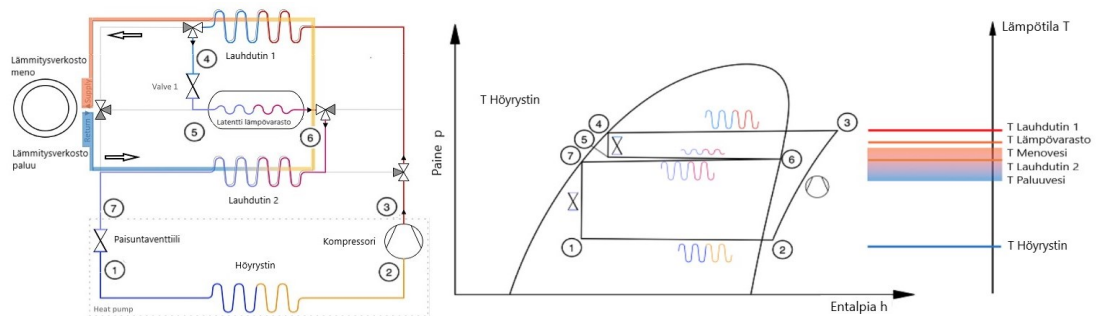


KUVIO 39. Lämmitys ja lataussykli, sekä kylmäaineprosessi (hm.ed u muokattu)

Lämpöpumppuun sisällytetty lämpövarasto mahdollistaa pumpun kompressorin hetkellisen käyttämisen noin puolella teholla, lämmitystehon pysyessä 100 %:ssa. Kompressoritehon pienentyminen perustuu siihen, että kylmäainekierron massavirrasta tarvitaan noin puolet, koska kylmäaine höyrystyy kaksi kertaa prosessin aikana, jolloin se voi luovuttaa lämpöä kahdessa eri lauhduttimessa. Kuviossa 40 kuvataan lämpöpumpun toimintaperiaate, kun lämpövarastoa puretaan. Kylmäainekierto on sama kuin normaalissa lämpöpumpussa kuvion 39 pisteeseen neljä asti. Pisteiden 4 ja 5 välillä kylmäaineen painetta lasketaan hieman, jolloin kylmäaine jäähtyy ja pystyy vastaanottamaan lämmön varastosta.



Pisteiden 5 ja 6 välillä kylmäaine höyrystyy uudestaan latentissa lämpövarastossa. Pisteestä 6 pisteeseen 7 kylmäaine kulkee lauhduttimen 2 läpi ja luovuttaa lämmön lämmitysverkoston veteen. Varaston purkusyklin aikana lauhduttimet ovat kylmäainekierrossa sarjassa. Lauhdutin 2 esilämmittää lämmitysveden, ja lämpötila nostetaan lauhduttimessa 1. Tämä johtuu siitä, että lauhduttimen 2 lämpötila on hieman alhaisempi, koska kylmäaine höyrystyy varastossa. Lämmönsiirtymiseen tarvitaan aina lämpötilaero. Järjestelmän lämpötilatasot näkyvät kuvion 40 oikeassa reunassa.



KUVIO 40. Lämpöpumpun varaston purku (hm.edu muokattu)

Lämmitysjärjestelmän optimointilogiikasta riippuen lämpöpumpun varastolla voidaan esim. pienentää rakennuksen huipputehoa, tai optimoida sähkön hankintakustannuksia lataamalla pumpun omaa varastoa sähkön hinnan ollessa edullisempi ja kulutushuippujen tai kalliiden tuntien aikana käyttää lämpöä varastosta.

## **7.3 Lämpöpumpun kehitystyö**

### **7.3.1 Lähtökohdat**

Lämpöpumppu rakennetaan vuoden 2020 kevään ja alkutalven välisellä aikajaksolla. Lämpöpumpun rakentamisen ahioksi hankittiin Daikin Altherma 3 GEO -maalämpöpumppu mallimerkinnältään EGSAH10DA9. Laite on tarkoitettu pientalon käyttöveden ja tilojen lämmittämiseen. Lämpöpumpun lämmitysteho on noin 9,5 kW ja siinä on invertterikompressori. Lämpöpumpun hyötysuhde, COP on 4,89 standardin mukaisissa mittausolosuhteissa. Lämpöpumppu kykenee tuottamaan 60 °C lämmitysvettä. (Daikin Altherma GEO.) Kyseinen lämpöpumppu valittiin laajasti säädettävissä olevan kompressorin vuoksi.

Lämpöpumpussa oleva noin 10 kW:n lauhdutin on tarkoitus korvata kahdella noin 6 kW:n lauhduttimella sekä niiden väliin tulevalla latentilla lämpövarastolla. Tässä vaiheessa ideoitiin, miten latentti lämpövarasto integroidaan lämpöpumpun kylmäainekierto.

### **7.3.2 Mittaussuunnitelma**

Lämpöpumpun suorituskyvyn testausta ja toiminnan seuranta varten hahmotettiin mittalaitesuunnitelma. Sen tavoitteena on määrittää tarvittavat mittalaitteet pumpun toiminnan seuraamiseen ja esimerkiksi lämpövaraston lataustason tarkasteluun. Mittaussuunnitelman vuoksi etsittiin mahdollisia mittalaitteita paineen, lämpötilan, massavirran sekä kylmäaineen olomuodon mittaamiseen.

### **7.3.3 Laboratoriokytkennän toteutus**

Lämpöpumpun suorituskykyä mitataan laboratoriossa olevan testiverkoston avulla. Lämmönlähteenä verkostossa toimii vesi, ja tuotettu lämpö siirretään verkoston kierto. Verkostossa on antureita testattavien laitteiden suorituskyvyn arviointiin. Ennen lämpöpumpun muutostöitä lämpöpumpun suorituskyky laboratorio-olosuhteissa haluttiin selvittää. Suorituskykytietoja on tarkoitus verrata mittauksiin muutosten jälkeen.

### 7.3.4 Pumpun ohjaus

Lämpöpumpulle valittiin itsenäinen ohjelmoitava ohjain, TA UVR610 with Modbus Interface. Ohjaimeen voidaan sisälle ohjelmoida erilaisia toimintoja TA-designerin ja TAPPS2 -työkalun avulla. Ohjain kommunikoi taloautomaation kanssa. Taloautomaatio ohjaa pumppua esimerkiksi kolmella signaalilla: lämmitä, lataa varasto ja käytä lämpö varastosta. Taulukossa 1 on hahmoteltu esimerkki miten taloautomaation voisi ohjata lämpöpumppua. Esimerkiksi signaalit 0,5 1 0 tarkoittaisi, että tuota lämpöä 50 %:n teholla ja lataa varastoa 50 %:lla. Lämpöpumppu antaisi vastaavasti taloautomaatiolle tietoja varaston varastasosta jne. Taulukko 1 on siis vasta hahmotelma, ja varsinaiseen ohjaukseen käytettävä lienee hieman monimutkaisempi.

TAULUKKO 1. Lämpöpumpun ohjaus

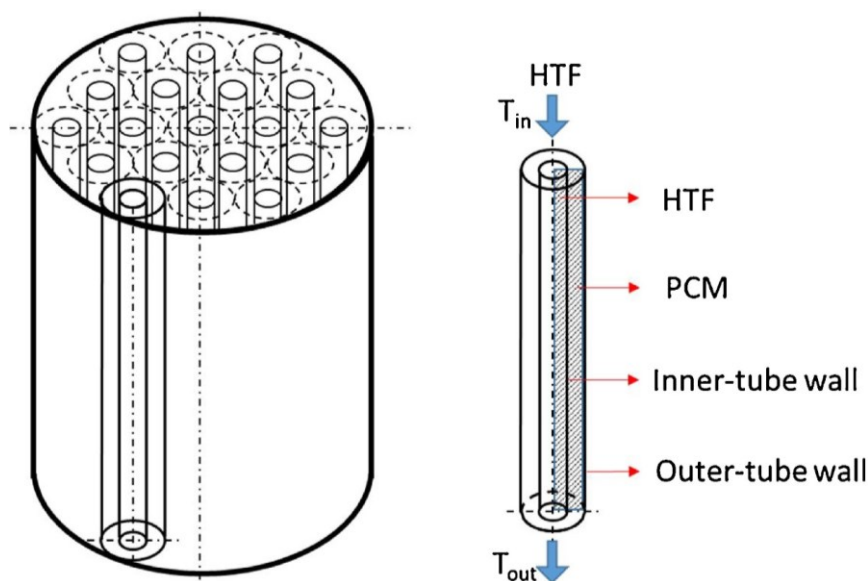
Signal from BAS to HP	Explanation	Value	Value Explanation	
<b>No.</b>				
<b>1</b>	Heat with 0-100%	0 - 1	0-100 % Power	
<b>2</b>	Load LHS	0 / 1	0 = NO 1 = YES	
<b>3</b>	Discharge LHS	0 / 1	0 = NO 1 = YES	
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
			<b>Explanation</b>	
<b>Signal from BAS</b>	0	0	0	Do nothing
	0	0	1	Do nothing
	0	1	0	Load LHS with 100% Power
	0	1	1	Do nothing
	0.1 - 1	0	0	Heat with 0-100% Power
	0.1 - 1	0	1	Heat with 0-100% Power, Discharge LHS
	0.1 - 1	1	0	Heat with 0-100% Power, Load LHS
0.1 - 1	1	1	Heat with 0-100% Power	

### 7.3.5 Latentti lämpövarasto

Yksi osa lämpövaraston suunnittelemista oli PCM-materiaalin valinta. PCM-materiaalin sulamislämpötilan pitäisi soveltua yhteen lämmitysverkostolle tyypillisen menoveden lämpötilojen kanssa. Lämpötilojen määrittämiseen käytettiin historiatietoja L-talon taloautomaatiosta.

Lämmitysverkoston menoveden lämpötila vaikuttaa olevan 40 – 45 °C ja paluuv veden lämpötila 30 – 35 °C suurimman osan ajasta tarkastelujaksolla (talvet 2019 ja 2020). Menoveden lämpötilan perusteella määriteltiin PCM- materiaalin sulamislämpötilaksi 45 °C. Sulamislämpötilan tulee olla mahdollisimman lähellä verkoston lämpötilaa, jolloin varastosta saatava lämpö on käytettävissä.

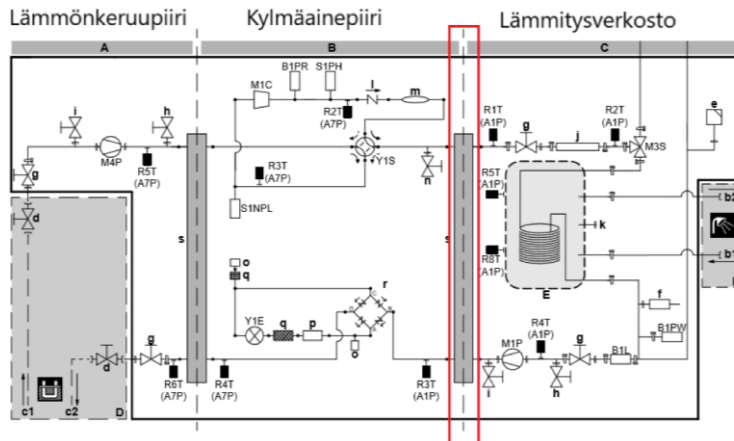
Sulamislämpötilan perusteella etsittiin sopivaa PCM-materiaalia. Materiaalin valintaan vaikutti sulamislämpötilan lisäksi lämpökapasiteetti ja hinta. Mahdollinen PCM-materiaali löytynee suolahydraateista tai parafiineista. PCM-materiaalin lämmönjohtavuutta on tarkoitus parantaa sekoittamalla materiaalin paisutettua grafiittia. Kuviossa 41 on esimerkki varaston mahdollisesta rakenteesta. Kuvion varastossa lämmitysvesi kulkee sisäputkessa, jonka ympärillä PCM-materiaali on sisäputken ja ulomman putken välissä. Varasto kokonaisuudessaan koostuisi useasta vastaavan kaltaisesta rakenteesta.



KUVIO 41. Latentin lämpövaraston rakenne (Fang, Y. Niu, J. Deng, S. 2017)

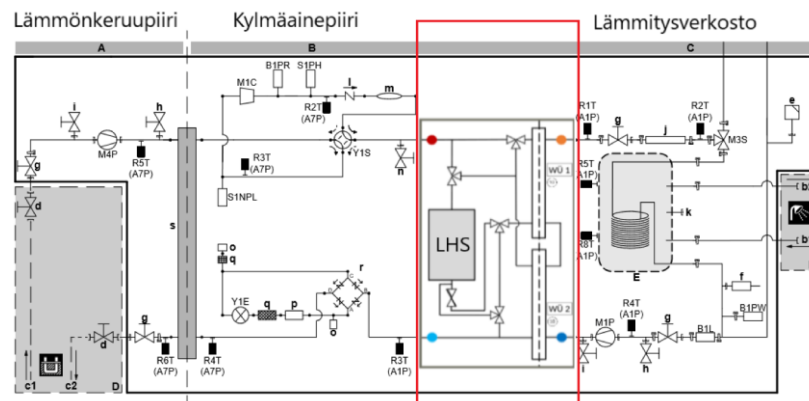
## 7.4 Seuraavat vaiheet

Seuraavassa vaiheessa lämpöpumpun 10 kW:n lauhdutin korvataan lämpövarastolla ja kahdella lauhduttimella. Kuviossa 42 on lämpöpumpun kaaviokuva. Lauhdutin on merkitty kuvioon punaisella.



KUVIO 42. Daikin lämpöpumpun sisäyksikön putkikaavio (Daikin, muokattu)

Kuviossa 43 on hahmotelma putkikaaviosta, kun lämpövarasto ja lauhdutinpari on asennettuna.



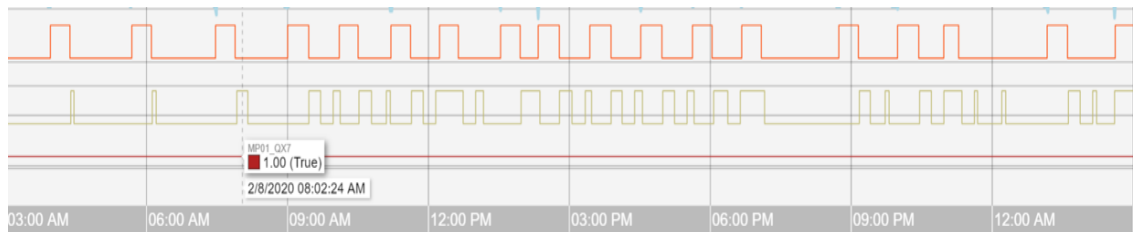
KUVIO 43. Daikin lämpöpumpun putkikaavio latentilla lämpövarastolla (Barton 2019, muokattu)

Kun lauhdutin on korvattu uudella, lämpöpumpun ja -varaston testaus, säätö, ja toimintojen ohjelmointi jatkuvat MUAS:n laboratoriossa. Lämpöpumpun suorituskyvyn ollessa halutun kaltainen, pumppu toimitetaan Tampereelle. Aikataulun mukaan loppuvuodesta 2020.

## 8 LÄMPÖPUMPUN KYTKEMINEN LÄMMITSJÄRJESTELMÄÄN

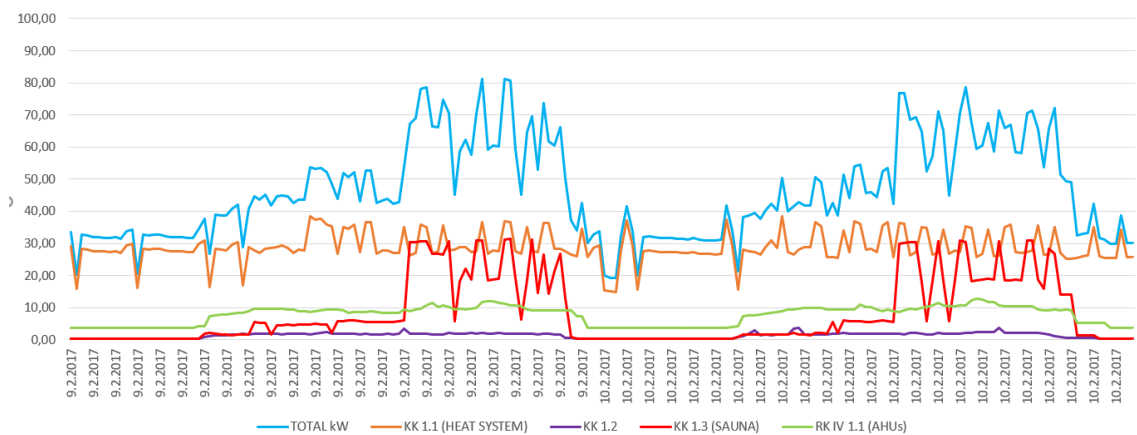
### 8.1 Lähtökohdat

Lämpöpumpun kytkennälle ja ohjauslogiikalle asetetut tavoitteet olivat tarjota halutun kaltainen testiympäristö laitteelle sekä tuottaa mahdollista hyötyä L-talon järjestelmään. L-talon lämmitysjärjestelmän toimintaa tutkiessa huomattiin, että lämpöpumput käyvät usein todella lyhyitä aikoja kerrallaan. Tämä johtuu osittain lämpöpumpun kompressorin ominaisuuksista. Käytössä olevissa pumpuissa ei ole invertterikompressoria, joten kompressori käy aina päällä ollessaan täydellä teholla. Mahdollisesti saatavat hyödyt lämpöpumppujen käyntijakson pidentämisestä tai lyhyiden käyntijaksojen välttämistä ovat pienempi energiankulutus sekä lämpöpumppujen käyttöiän pidentyminen. Sähkötehon kulutusta voitaisiin lisäksi optimoida lämpöpumpun oman lämpövaraston avulla. Kuviossa 44 on esimerkki lämpöpumppujen käyntijaksosta kylmään vuodenaikaan. Lämpöpumppu 01 käy koko ajan (punainen viiva), ja vaihtelee käyttöveden ja lämmityksen välillä (oranssi). Lämpöpumppu 02 käy lyhyitä jaksoja, kun lämpöpumppu 01 vaihtaa käyttöveden lämmitykseen.



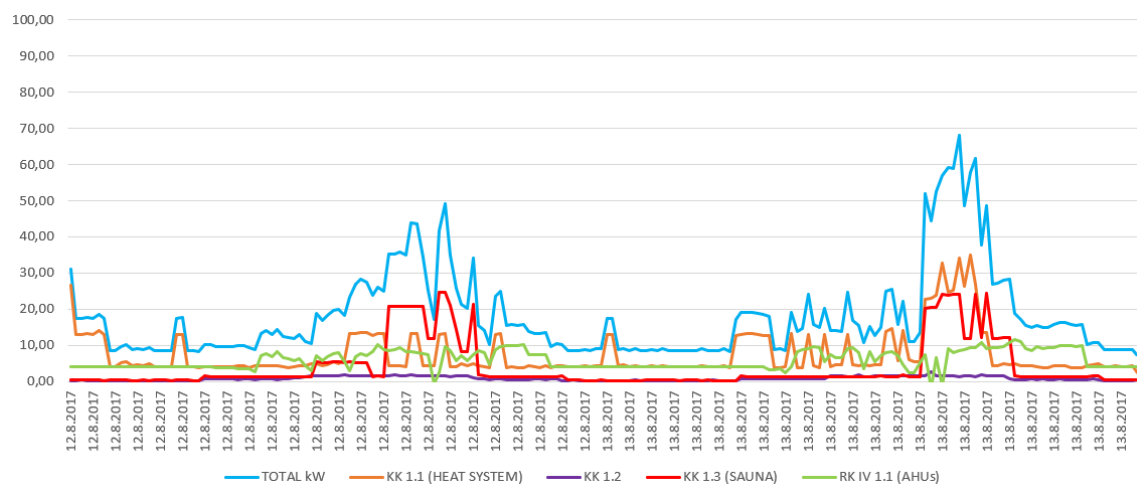
KUVIO 44. Lämpöpumppujen käyntijaksot 8. helmikuuta 2020

Rakennuksen kokonaissähkötehon kulutukseen piikin omalta osaltaan aiheuttavat isot kiukaat. Lämmitysverkoston laitteet vaikuttavat olevan merkittävässä roolissa rakennuksen kokonaissähkötehoa tarkastellessa. Kuviossa 45 sininen kuvaaja on L-talon sähkökeskusten kokonaisteho kilowatteina. Oranssi kuvaaja on lämmitysjärjestelmän keskuksen teho, punainen on yläkerran keskuksen, joka syöttää saunaa. Vihreä on ilmanvaihtokonehuoneen keskus. Violetti on väestön suojan keskus. Tehoon on laskettu kaikki laitteet, joita keskukselta syötetään, kuten valaistus ja muut laitteet.



KUVIO 45. Sähkötehot keskuksittain talviaikaan, mittausjakso 9.2.-10.2.2017

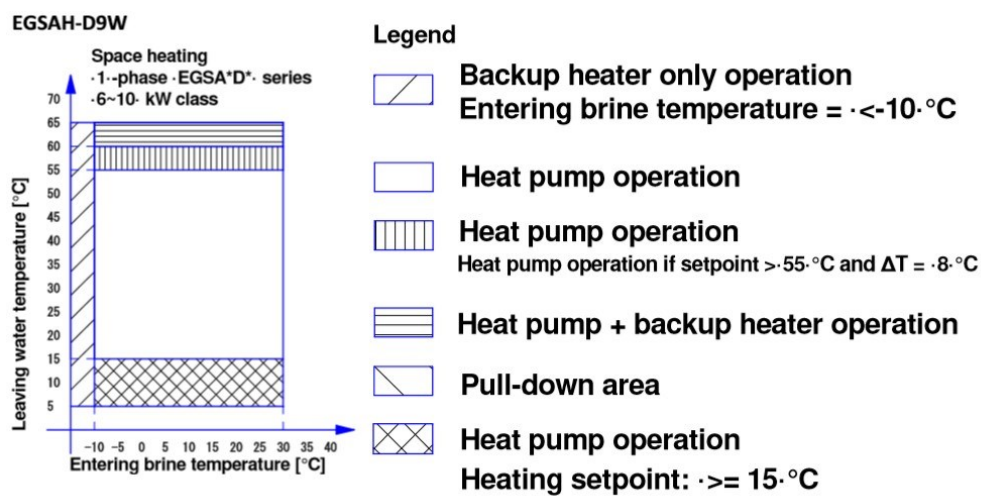
Kuviossa 46 esitetään vertailun vuoksi sama data kesäajalta. Kesäaikaan saunan osuus sähkötehon kulutuksessa on merkittävämpi kuin talvella.



KUVIO 46. Sähkötehot keskuksittain kesäaikaan, mittaus jakso 12.8-13.8.2017

Järjestelmään asennettava uusi lämpöpumppu on sopivissa olosuhteissa lämmitysteholta noin 9,6 kW. Pumppu ottaa lämmitysenergian L-talon maalämpökai-voista. Energialähteeksi harkittiin myös ilmalämpöpumppua, mutta koska lämmitysenergiankulutusta ei lisätä vaan ainoastaan tuotanto hoidetaan osittain uudella pumpulla, todettiin kytkennän maalämpöön olevan mahdollinen.

Kuviossa 47 on kuvattu lämpöpumpun toiminta-alue. Kuvioista nähdään, että pumppu kykenee tuottamaan 60 °C vettä ilman sähkövastusta, joten se soveltuisi myös käyttöveden lämmitykseen.



KUVIO 47. Lämpöpumpun toiminta-alue (Daikin Heating Technical data, muokattu)

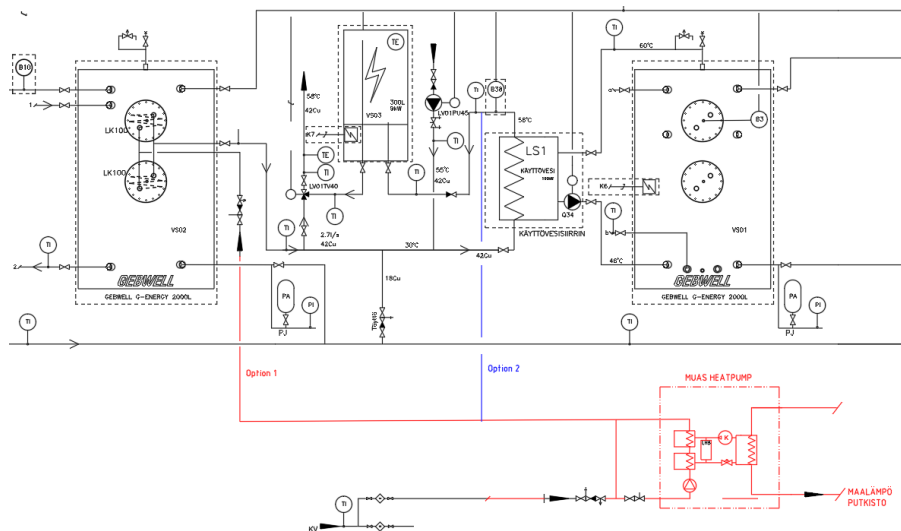
Lisäksi kytkentäkohtaan vaikuttaa lämpöpumpun latentin lämpövaraajan ominaisuudet. Varaajan PCM-materiaalista riippuen lämpöpumpun varastolle suotuisat lämpötilat vaihtelevat. PCM-materiaali ei ollut valittuna vielä, kun eri kytkentämahdollisuuksia alettiin tutkia, joten päädyttiin tekemään useita mahdollisia kytkentäesityksiä, joista valittiin sopivimmat.



## 8.2 Kytkevävaihtoehdot

### 8.2.1 Käyttöveden lämmitys

Yhtenä vaihtoehtona tutkittiin käyttöveden esilämmitystä. Pumppu olisi kytketty suoraan kylmänveden syöttöön. Säätoventtiin avulla olisi määritelty jokin sopiva virtaama, jonka pumppu olisi pystynyt lämmittämään. Käyttövesi olisi voitu esimerkiksi lämmittää noin 35-asteiseksi. Kuviossa 48 punainen kytkentä kuvaa vaihtoehtoa 1. Toinen vaihtoehto olisi ollut lämmittää vesi käyttövesiverkoton vaatimaan 55 asteen lämpötilaan ja syöttää se käyttöveden lämmönvaihtimen jälkeen. Punainen on kytkentä olemassa olevaan esilämmityskierukkaan ja sininen vaihtoehto on varsinaisen käyttöveden lämmönvaihtimen jälkeen.



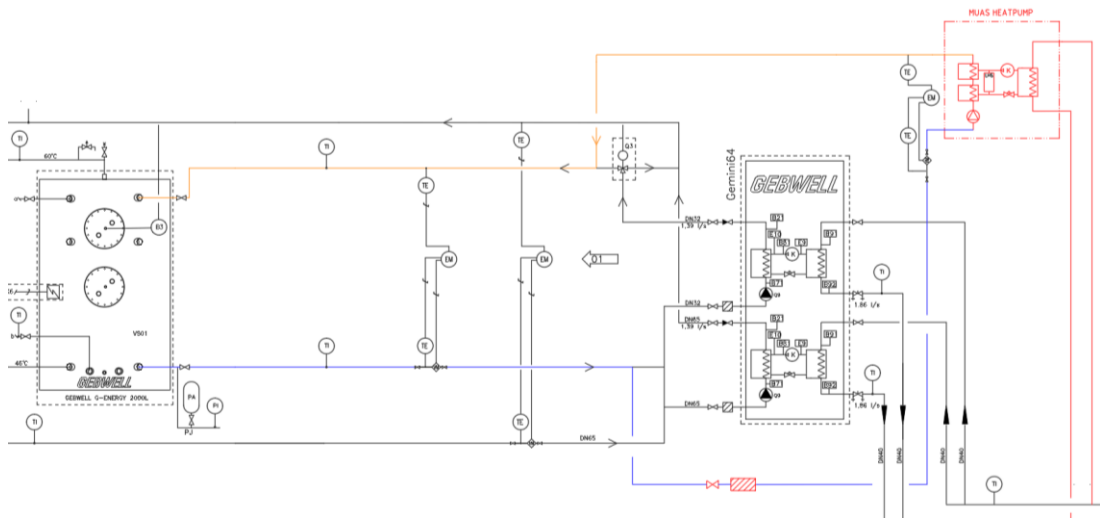
KUVIO 48. Käyttöveden esilämmitys- ja lämmityskytkentä

Esilämmitystä puolsi se, että pumpun käytön olisi voinut itse täysin määrittellä lämpötilatasoista lähtien. Lisäksi lämpövaraston toiminnan kannalta tasaiset lämpötilat ovat edullisia.

Huonoja puolia tässä kytkennässä oli se, että laitteen mahdollinen hyöty L-rakennuksen järjestelmälle olisi minimaalinen ja lämmitystarpeen vaihtelevuus käyttövesiputkistossa on suuri. Yö-aikaan rakennuksessa ei ole toimintaa, joten siellä ei ole myöskään käyttöveden kulutusta.

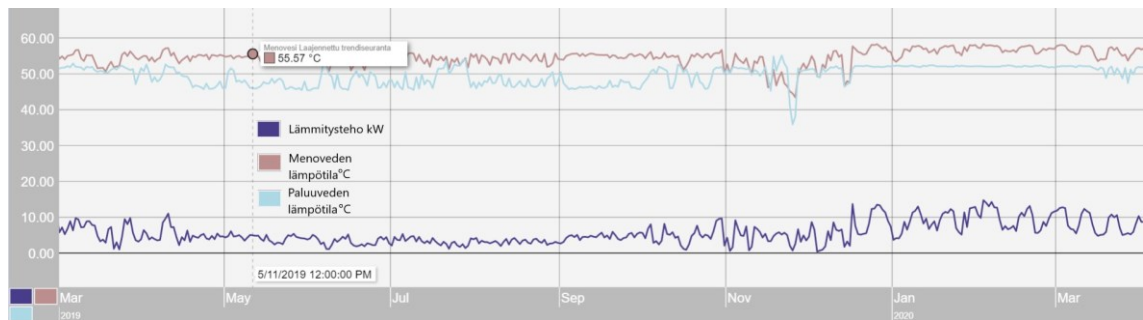
## 8.2.2 Käyttöveden varaajan lämmitys

Yksi kytkentävaihtoehto olisi ollut käyttöveden energiavaraajan lämmitys. Uusi lämpöpumppu olisi kytketty rinnakkain Gemini-lämpöpumpun kanssa lämmittämään käyttöveden energiavaraajaa. Kuviossa 49 nähdään hahmotelma kytkennästä. Sininen viiva kuvaa varaajalta palaavaa jäähtynyttä vettä ja oranssi viiva on varaajalle syötettävää lämmintä vettä. Uusi lämpöpumppu ja maaliuospiiri on kuvassa punaisella.



KUVIO 49. Käyttöveden energiavaraajan lämmitys

Tämän kytkentävaihtoehdon perusteluina oli uudelle lämpöpumpulle sopiva keskimääräinen tehon tarve. Kuviossa 50 on etävalvomosta otettu grafiikka käyttöveden varaajan lämpötiloista ja varaajan lataustehosta. Kuvioista nähdään, että aikavälillä marraskuu 2019 – marraskuu 2020 käyttöveden varaajan lataustehon vuorokauden keskiarvo on suurimman osan ajasta alle 10 kW, meno- ja paluu- lämpötilojen ollessa noin 55 °C ja 45 °C. Uuden lämpöpumpun ominaisuudet riittäisivät teoriassa kattamaan lämmitystarpeen ison osan vuodesta. Käyttöveden kulutus kuitenkin on ajoittaista ja tehon tarve hetkellisesti paljon korkeampi.



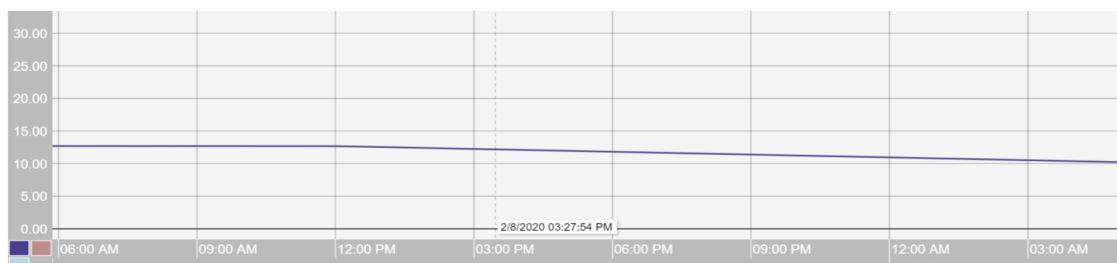
KUVIO 50. 1 vrk:n keskiarvo käyttöveden varaajan meno- ja paluulämpötila sekä varaajaa lataava teho 3.2019-3.2020

Kuvio 51 on L-talon etävalvomon trendiseuranta. Mittausajanjakso 8.2.2020 klo 6-22 on valittu siten, että käyttöveden kulutus on korkea (katso kuvio 50). Kuvion keltainen ja punainen käyrä näyttävät lämpöpumppujen tilatiedon. Arvolla 1 pumppu on käynnissä, ja 0 tarkoittaa pumpun olevan pois päältä. Oranssi käyrä näyttää vaihtventtiilin asennon. 1 tarkoittaa käyttövesivaraajan lämmitystä ja 0 tarkoittaa tilalämmitystä. Kuvaajasta nähdään, että lämpöpumppu 01 on kyseisellä ajanjaksolla käynnissä koko ajan. Lämpöpumppu vaihtelee tilalämmityksen ja käyttöveden lämmityksen välillä (oranssi käyrä). Kuvioista nähdään myös, että lämpöpumppu 02 täytyy käynnistää aina hetkeksi, kun lämpöpumppu 01 on lämmittänyt käyttövettä. Kuvion 51 alaosassa tummansininen käyrä näyttää tankkiin ladattavan hetkellisen tehon. Teho vaihtelee maksimissaan noin 30 kW:n ja 1 kW:n välillä. Lämmitystarve pystyttäisiin mahdollisesti kattamaan pienemmällä lämmitysteholla ja pidemmällä käyntijaksoilla.



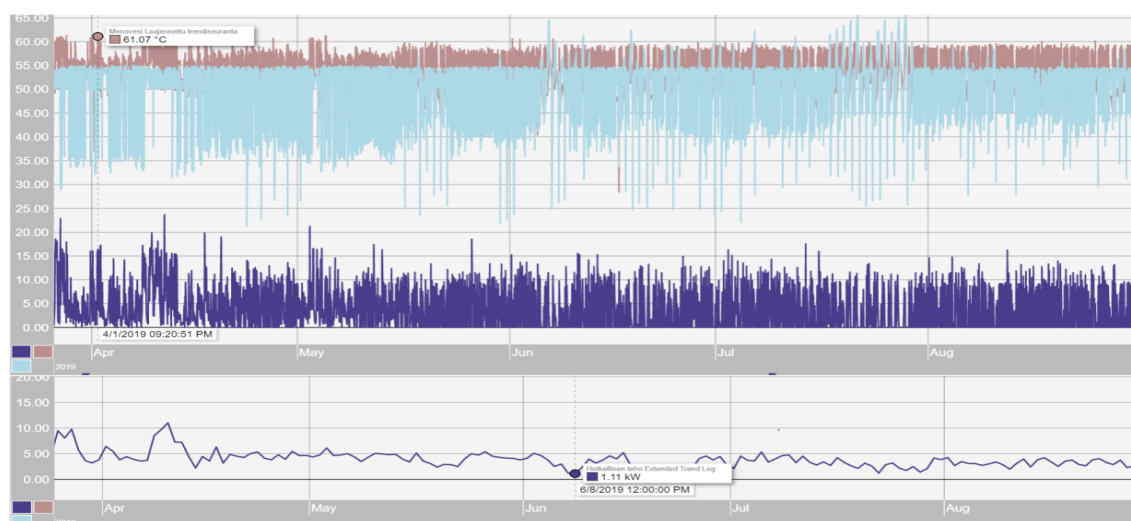
KUVIO 51. Trendiseuranta taloautomaatiikasta

Kuviossa 52 on samalta ajanjaksolta tehon mittaustietojen vuorokauden keskiarvo. Kuvion perusteella uusi lämpöpumppu ei riitä kattamaan koko käyttöveden lämmityksen tehontarvetta, kun kulutusta on paljon ja aurinkolämpöä ei ole saatavilla, mutta mahdollistasi lämpöpumpun 01 käyttämisen enemmän tilalämmitykseen, jolloin lämpöpumppua 02 ei välttämättä tarvitse käynnistää.



KUVIO 52. Lämmitystehon keskiarvo 2.8.2020-3.8.2020

Kuviossa 53 on samat mittaustiedot, mutta ajanjaksolta, jolloin aurinkoenergiaa on saatavilla. Kuviossa on käyttöveden tankin latausveden meno- ja paluulämpötilat sekä tunnin keskiarvo lämmitystehosta sekä kuvion alalaidassa vuorokauden keskiarvoteho. Kuvion perusteella 10 kW:n lämpöpumppu riittäisi käyttöveden lämmitykseen kesäaikaan. Lisäksi rakennuksen tilalämmitykseen tarvittavan lämmitystehon kattamiseen riittäisi todennäköisesti aurinkolämmitys, joten suurempia lämpöpumppuja tarvittaisiin kesäaikaan todella harvoin.



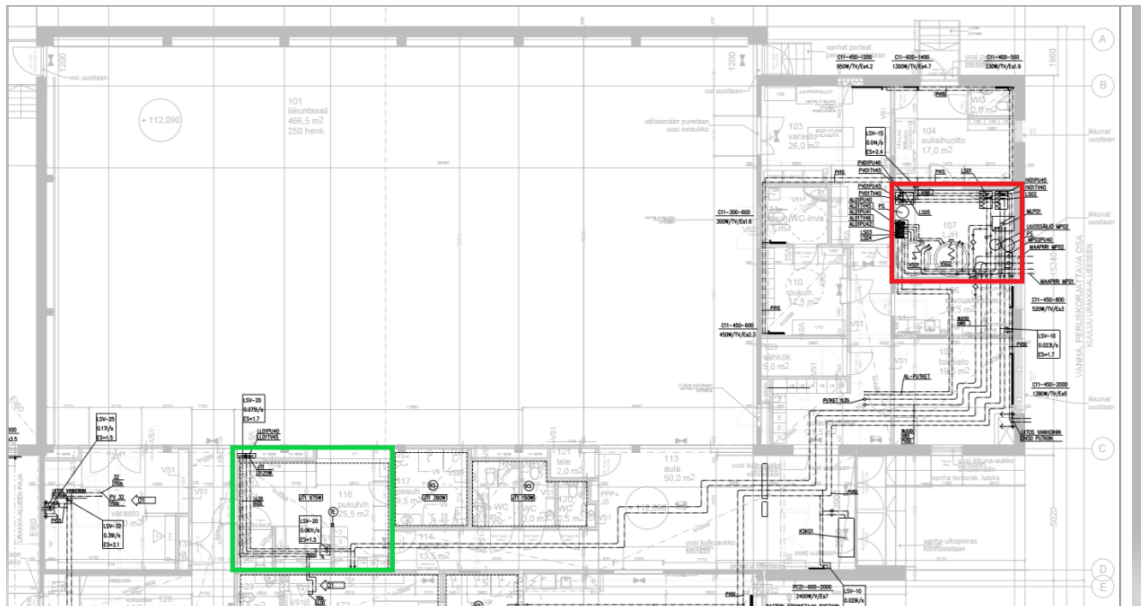
KUVIO 53. Lämmitysteho kesäaikaan

Lämpöpumpun hyötysuhde laskee yleensä voimakkaasti, kun tuotetaan kuumempaa vettä. Lisäksi lämpöpumpun lauhduttimen maksimivirtaama saattaa rajoittaa tämän kytkennän mahdollisuutta. Etävalvomon seurannan perusteella lämpötilaero meno- ja paluuveden välillä on 5-7 °C, joten virtaama kyseisen tehon saavuttamiseksi täytyy olla melko suuri. Lisäksi pieni lämpötilaero vaikeuttaa lämpövaraston käyttöä lämpöpumpussa.

Lisäksi käyttöveden lämpötilatasot ovat ylipäättään lämpöpumppujen kannalta haastavat. Jos puhutaan energiajärjestelmien optimoinnista, lämpöpumppua pitäisi pyrkiä käyttämään sille suotuisissa olosuhteissa.

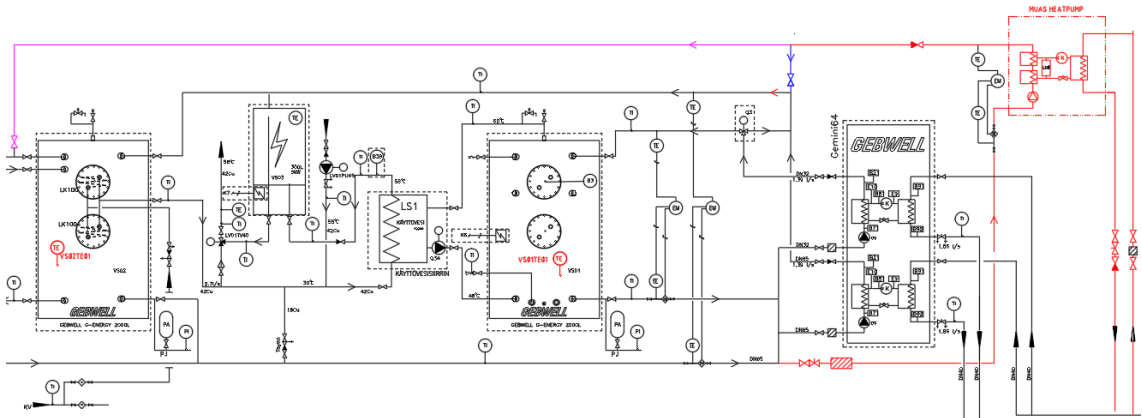
### 8.2.3 Kytkentä tilalämmitysverkoston

Tilalämmityskytkentään tutkittiin useita vaihtoehtoja. Pumpun kytkeminen suoraan lattialämmitysverkoston olisi ollut lämpöpumpun hyötysuhteen ja lämmöntuoton kannalta sopiva vaihtoehto. Ongelmaksi muodostui se, että kytkentää varten olisi tehtävä varsin mittavat putkiasennustyöt. Lattialämmityksen syöttöputki on sama kuin ilmanvaihtokoneilla. Lattialämmitysverkosto haarautuu ilmanvaihtoverkostosta kuvioon 54 vihreällä merkätyn pukuhuoneen katossa ja veden lämpötilaa säätävä sekoitusventtiili sijaitsee pukuhuoneessa olevassa tekniikkakuilussa. Kytkentä pitäisi tehdä IV-verkoston haaran jälkeen. Lämmönjakohuone on merkattu kuvioon 54 punaisella.



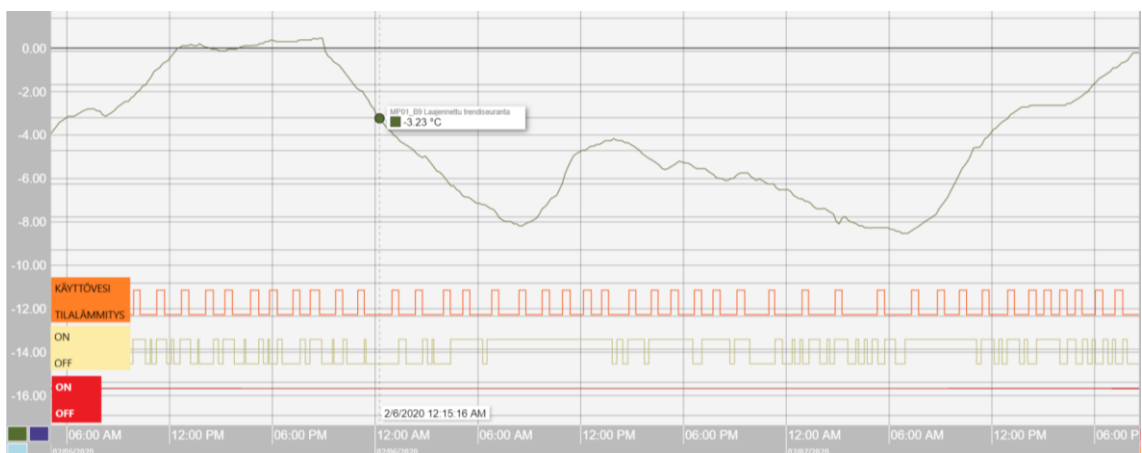
KUVIO 54. Osa L-rakennuksen 1. kerroksen pohjakuvasta (Insinööritoimisto Rejlers. Muokattu)

Muina kytkentävaihtoehtoina olivat kytkentä lämmityksen puskurisäiliöön tai suoraan lämmityksen syöttöputkeen säiliön jälkeen. Hahmotelmat kytkennöistä ovat kuviossa 55. Kytkentäkaavioon on merkattu sinisellä kytkentä puskurivaraajaan ja vaaleanpunaisella kytkentä syöttöputkeen. Kytkentöjen eroavaisuudet tulevat lähinnä pumpun ohjauslogiikassa ja syöttöputkeen kytkettäessä voitaisiin käyttää mahdollisesti hieman matalampia lämmitysveden lämpötiloja, mikä parantaisi lämpöpumpun lämpötilasuhdetta.



KUVIO 55. Kytkentävaihtoehdot tilalämmitykseen (Insinööritoimisto Rejlers, muokattu)

Kuviossa 56 kuvataan esimerkki lämpöpumppujen käyntijaksosta. Ulkolämpötila vaihtelee 0:n ja -8 °C:n (vihreä kuvaaja) välillä. Lämpöpumppu 01 käy koko ajan ja vaihtelee käyttöveden ja tilalämmityksen välillä. Lämpöpumppu 02 käy lyhyitä jaksoja. Esimerkissä lyhimmät käyntijaksot ovat noin 15-20 minuuttia.



KUVIO 56. Lämpöpumppujen käyntijaksot ulkolämpötilan ollessa 0 ja -8 °C



Kuvion 56 mukaisissa olosuhteissa uuden lämpöpumpun tuomat hyödyt lienevät suurimmat. Taloautomaatiikasta on saatavilla trendikäyriä vain talvien 2019 ja 2020 osalta. Viimeiset talvet ovat olleet melko lämpimiä Suomessa, joten on vaikea arvioida, miten osamitoitetun lämpöpumpun hyödyntäminen onnistuu, jos talvesta tulee kylmä.

Kuviossa 57 on lämmitysjärjestelmän meno- ja paluulämpötilat keltaisella ja punaisella käyrä, sekä vihreällä käyrällä lämpöpumppujen tuottama teho lämmitysjärjestelmään aikavälillä maaliskuu 2019- maaliskuu 2020. Kuviosta nähdään, että lämpöpumppuja ei tarvita tilalämmitykseen huhtikuun jälkeen. Lämmöntarpeen puute on haasteellinen tilanne uuden lämpöpumpun testausta ajatellen.



KUVIO 57. Lämmitysjärjestelmän meno- ja paluulämpötila sekä lämpöpumppujen verkostoon tuottama teho

### 8.3 Kytkenän valinta ja perusteet

Lämpöpumpun pienehkö lämmitysteho aiheutti haasteita, koska pumppu vaikuttaa varsin alimitoitetulta kyseiseen verkostoon. Kuitenkin kun seurattiin L-talon lämpöpumppujen toimintaa, huomattiin, että olisi mahdollista vähentää isojen lämpöpumppujen lyhyitä käyntijaksoja käyttämällä niiden rinnalla pienempää lämpöpumppua.

Lämpöpumpun siis haluttiin tuottavan hyötyä L-talon energiatehokkuudelle, ja kytkentäpaikan piti tarjota lämpöpumpun kehityksen kannalta toivotut olosuhteet. Kytkentäpaikaksi valittiin lämmitysverkoston puskurivaraaja, minkä lisäksi haluttiin toinen kytkentä suoraan lämmitysverkoston syöttöputkeen varaajan jälkeen. Kahden eri kytkenän tarkoitus on saada erilaisia testausmahdollisuuksia lämpöpumpulle.

Lämpöpumppu kykenee tuottamaan myös käyttövedelle riittäviä lämpötiloja, ja hyöty L-talon lämmitysjärjestelmän tehokkuutta ajatellen olisi mahdollisesti korkein käyttöveden lämmitysvaraajan kytkiessä. Projektin kokonaisuutta ajatellen pitää ottaa huomioon kaikki kytkenän toteutukselle asetetut tavoitteet. Lämpöpumpun kytkentä lämmitysverkostoon tarjoaa lämpöpumpun kehittämisen näkökulmasta sopivimmat olosuhteet. Lisäksi lämpöpumpun PCM-varaston käytön kannalta lämmitysverkoston lämpötilatasot ovat paremmat. Lämmitysverkoston meno- ja paluuv veden lämpötilaero on huomattavasti suurempi kuin käyttövesivaraajan latausputkistossa. Lisäksi samankaltainen mahdollisuus lämmitysjärjestelmän toiminnan parantamiseksi on saavutettavissa lämmitysverkoston kytkennässä, joskin ajanjakso, jolloin hyöty on yhtä selkeästi näytettävissä, on lyhyempi.

Vaikka hyöty energiajärjestelmälle vaikuttaa olevan selkeä käyttövesiverkostossa, on kytkentä laitteistoon optimointinäkökulmasta melko huono ratkaisu. Lämpöpumppujen hyötysuhde laskee merkittävästi, kun niillä pyritään tuottamaan korkeita lämpötiloja. Alla on Daikin portaalista kerättyjen tietojen perusteella laadittu taulukko 1 lämpöpumpun suorituskyvystä. Taulukon vasemmassa reunassa ”Tebe” on höyrystimelle tulevan maalämpönesteen lämpötila. 35, 45, 55 ja 65 ovat lämmitysverkoston menoveden lämpötiloja. HC on lämmityskapasiteetti ja PI on syötetty sähköteho. Taulukosta nähdään, että lämpöpumpun lämmityskapasiteetti laskee huomattavasti, kun verkoston menoveden lämpötila on kuumempi ja maalämmön keruupiirin lämpötila on matalampi, minkä lisäksi lämpöpumpun hyötysuhde laskee. Hyötysuhteen voi laskea kaavalla 1. Taulukko ei ota mitenkään huomioon lämpöpumpulle tehtyjä muutoksia.

TAULUKKO 2. Daikin suorituskykytaulukko

Daikin EGSAH10DA9									
HC		Heating Capacity (kW)							
PI		Power Input (kW)							
Tebe		Entering Brine Temperature Evaporator (°C)							
		Leaving Water temperature Condenser (°C)							
		35		45		55		60	
Tebe	HC	PI	HC	PI	HC	PI	HC	PI	
0	9,27	2,2	8,88	2,59	8,49	2,98	6,68	2,7	
5	10,83	2,18	10,07	2,52	9,31	2,86	7,7	2,72	
10	12,4	2,16	11,6	2,45	10,12	2,74	8,72	2,75	
15	13,98	2,14	12,43	2,34	10,89	2,55	9,52	2,58	
20	15,56	2,12	13,61	2,24	11,66	2,37	10,31	2,14	
25	17,14	2,1	14,78	2,14	12,43	2,18	11,11	2,25	
30	18,71	2,08	15,96	2,04	13,2	2	11,9	2,08	

Lämpöpumpun toiminnan tehokkuuteen vaikuttaa myös maalämmön keruupiirin lämpötila sekä tuotettavan lämmitysveden lämpötila. Kuviossa 58 on L-rakennuksen maalämmön keruupiirin lämpöpumpuille saapuvan nesteen lämpötila aikavälillä tammikuu 2017- huhtikuu 2020. Kuvioista 58 nähdään, että keruunesteen lämpötila on marraskuusta toukokuuhun 0-5 °C ja kesä – lokakuun noin 10-20 °C, joten lämpöpumpun hyötysuhde on vaativimpaan aikaan vuodesta käyttövesilämpötiloissa melko huono. Jos lämmönkeruunesteen lämpötila on 0 °C ja pyritään tuottamaan 55-60 °C lämpöpumpun lämpötilakerroin (lämmitysteho/otto-teho) on noin 2,5. Hyvissä olosuhteissa ja sopivammilla lämpötilatasoilla lämpötilakerroin voi olla yli 4.



KUVIO 58. Maalämmön keruupiirin tulolämpötila 2017-2020

## 8.4 Lämpöpumpun käyttö

Lämpöpumpulla on tarkoitus suorituskyvyn rajoissa korvata L-talon omat lämpöpumput tilalämmityksessä. Koska pumpun tarkoitus on myös tuottaa hyötyä lämmitysjärjestelmän tehokkuudella, pitää pumppujen yhtäaikainen käyttö määritellä.

L-talossa on Gebwell Gemini 64 -lämpöpumppu, jossa on kaksi kylmäkoneikkoa 01 ja 02. Kylmäkoneikko 01 on ns. johtava koneikko, jota käytetään käyttö- ja lämmitysvesiverkoston lämmittämiseen. Koneikkoa 02 käytetään kun 01 ei riitä kattamaan järjestelmän lämmityksen tarvetta. Tarkoitus olisi asettaa uusi lämpöpumppu ensisijaiseksi pumpuksi tilalämmitykseen. Pumppua ohjattaisiin anturin B10 mittauksen perusteella. Lämpöpumput 01 ja 02 toimisivat tilalämmityksessä energiavaraajaan asennetun lämpötila-anturin perusteella. Käynnistymislämpötilat asetetaan siten, että kun uuden lämpöpumpun teho ei riitä ja energiavaraajan lämpötila alkaa laskea, ensin 01 ohjataan tilalämmitykseen, jos mahdollista. 02 käynnistyy, jos varaajan lämpötila edelleen laskee, vaikka uusi pumppu ja 01 ovat käytössä. Uusi lämpöpumppu pysähtyy, kun 02:a käytetään lämmitykseen.

Optimointilogiikasta riippuen uuden lämpöpumpun sisältämän lämpövaraston käyttöä voidaan ajoittaa eri tavalla. Jos pyritään pienentämään rakennuksen sähkötehon kulutusta, lämpövaraston purkamisen pitäisi ajoittaa hetkiin, jolloin saunan kiukaat ovat päällä. Jos taas pyritään optimoimaan kustannuksia, lämpövarastoa pitäisi käyttää vuorokauden hetkinä, jolloin sähkön ostaminen on kalleinta. Molemmissa tapauksissa varaston lataus kannattanee tehdä yöaikaan, jolloin sähkön hinta on yleensä edullisimmillaan ja rakennuksen laitteiden käyttö pienintä.

Lisäksi pumpun kahta eri kytkentää voisi käyttää palvelemaan eri vuodenaikojen tarpeita. Kesäaikaan ei L-rakennuksessa pääosin liene muuta lämmitystarvetta kuin märkätilojen lattialämmitys. Toisella kytkennällä mahdollistettaisiin uuden lämpöpumpun käyttäminen tämän pienen lämmitystarpeen kattamiseen. Todennäköisesti kyseinen tarve hoidetaan aurinkolämmityksen avulla, mutta aurinkolämmityksestä saatava teho voitaisiin ohjata käyttöveteen, jolloin vähennettäisiin isojen lämpöpumppujen käyttöä.

## 8.5 Kytkentää varten laadittavat suunnitelmat

Lämpöpumpun asennusta varten hahmoteltiin vaadittavat suunnitelmat. Työn lopussa on liitteenä lämmitysjärjestelmän kytkentäkaavio, 1.krs:n lämmitysputkiston pohjakuva, työselostus, sekä järjestelmän säätökaavio ja toimintaselostus.

Kytkentäkuvia varten putkiston uudet osuudet piti mitoittaa. Vanhan kytkentäkuvan perusteella vaikuttaa siltä, että lämpöpumppujen liuosputkiston mitoitusperusteena on käytetty virtausnopeutta 1,5 m/s. Uuden putkiston mitoitukseen käytettiin samaa periaatetta.

Liuosputkien mitoittava teho on höyrystimen teho. Lämpöpumpun höyrystimen teho on 8 kW (Daikin Altherma GEO). Tarvittava nestevirtaus lasketaan kaavalla (4). Lämmönkeruuneste on noin 30 % etanoli-vesiliuos (LVI 11-10623). Liuoksen lämpökapasiteetti on noin 3,7 kJ/kgK ja tiheys 970 kg/m<sup>3</sup> (Teollisuusetanolit). Lämpötila ero 4K (Gebwell).

$$q_v = \frac{8 \text{ kW}}{3,7 \text{ kJ/kg} \cdot 970 \text{ kg/m}^3 \cdot 4 \text{ K}} = 0,00056 \text{ m}^3/\text{s}$$

eli 0,56 l/s. Virtaaman perusteella laskettiin putken halkaisijan ala kaavalla 6.

$$\frac{0,00056 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m/s}} = 0,000373 \text{ m}^2$$

Ja putken halkaisija laskettiin pinta-alasta

$$\frac{\sqrt{4 \cdot 0,000373 \text{ m}^2}}{\pi} = 0,022 \text{ m}$$

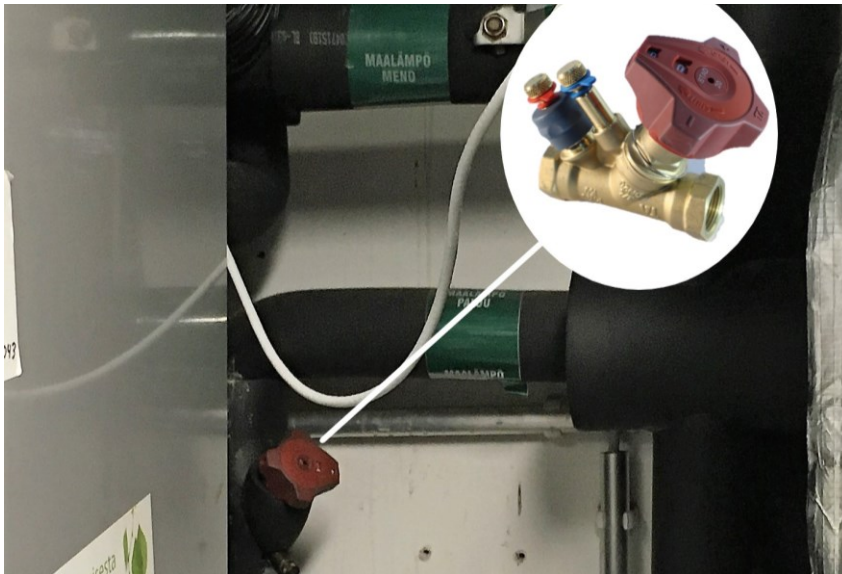
eli 22mm, nimellisuuruus on DN 25.

Lämmityspuolen putkisto mitoitetaan kitkapainehäviön 50-100 Pa/m perusteella. Ensin lasketaan virtaama. Pumpun lämmitysteho on 9,6 kW ja verkoston lämpötila ero noin 10K. Virtaama lasketaan kaavalla (4)

$$\frac{9,6kW}{4,2 \text{ kJ/kg} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 10K} = 0,00023 \text{ m}^3/\text{s}$$

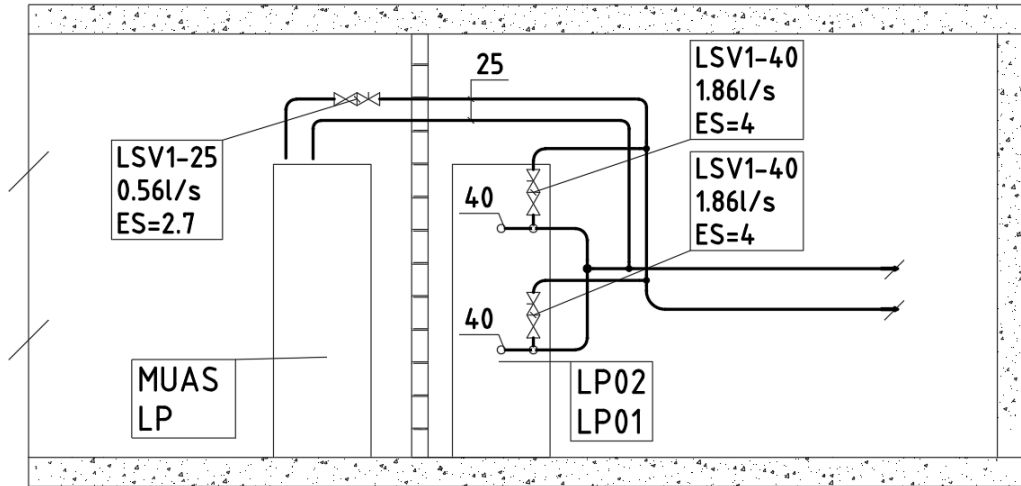
eli 0,23 l/s. Liitteenä (1) olevan taulukon mukaan DN 25 -putkella painehäviö olisi noin 90 Pa/m. Lienee perusteltua valita DN 25, koska kyseinen putkiosuus on varsin lyhyt.

Verkoston säätöä varten valittiin verkoston uusiin osiin linjasäätöventtiilit. L-talon lämmitysjärjestelmästä otetusta valokuvasta (Kuva 1) voitaneen päätellä, että venttiilit ovat mallia IMI hydraulics STAD. Linjasäätöventtiilien valinnassa käytettiin MagiCad for Autocad -sovellusta.



KUVA 1. Lämmitysjärjestelmän linjasäätöventtiili L-talossa

Sovelluksella piirrettiin mitoitukseen vaikuttava putkisto ja siihen kytketyt laitteet. Sovelluksen työkalu mitoittaa verkoston linjasäätöventtiilit automaattisesti virtaaman mukaan siten, että putkiston painehäviöt ovat joka linjassa yhtä suuret. Kuviossa 59 esitetään linjasäätöventtiilien virtaamat ja esisäädöt.



KUVIO 59. Putkiston tasapainotus



## 8.6 Lämpöpumpun käyttöönotto TAMK:ssa.

Lämpöpumpun testaus on tarkoitus aloittaa Tampereella loppuvuodesta 2020. Asennustöiden jälkeen tehdään järjestelmän käyttöönotto. Käyttöönoton tarkoitus on varmistaa, että laitos toimii halutulla tavalla. Käyttöönottovaiheeseen kuuluu asennusten tarkistus, lämmönjakoverkoston tarvittavat mittaukset ja säädöt sekä laitteiston koeajo.

Asennukset tarkastetaan silmämääräisesti, sekä putkistolle tehdään tiiveyskoe. Järjestelmään kuuluvien venttiilien ja varolaitteiden toiminta on syytä tarkistaa. Jotta rakennuksen toiminta ei häiriinny, uusi pumppujärjestelmä on pystyttävä helposti kytkemään irti verkoston toiminnasta mahdollisten ongelmien ilmaantuessa.

Automaation osalta testataan, että rakennuksen automaatiojärjestelmän kommunikointi uuden laitteen kanssa toimii molempiin suuntiin. Laitteistosta on syytä tarkistaa esimerkiksi, että mittaukset tulevat toimilaitteille ja toimilaitteiden säätö ja ohjaus toimivat, minkä lisäksi hälytysrajat on asetettava oikein. On myös varmistettava, että halutut mittaustiedot tallentuvat valvomon historiatietoihin.

Käyttöönottovaihe on otollinen myös käyttävän henkilökunnan opastamiseen laitteiston käytöstä. Opastuksen lisäksi laitteistosta on syytä laatia käyttäjälle ohje mahdollisten ongelmatilanteiden varalle.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia, miten lämpöpumppu latentilla lämpövarastolla integroidaan L-talon lämmitysjärjestelmään. Lämpöpumpulla tavoiteltiin mahdollista lämmitysjärjestelmän tehokkuuden parantumista. Lisäksi haluttiin lämpöpumpun toiminnan testaamisen ja kehitystyön tavoitteiden mukaiset testausolosuhteet. Lisäksi tavoitteena oli esitellä lämpöpumpun kehitysprosessia.

Erilaisia käyttömahdollisuuksia löydettiin useita. Kuitenkin vain kytkentä tilalämmitysjärjestelmään täyttää molemmat asetetut kriteerit. Tässä vaiheessa on vaikea arvioida, saadaanko todellista säästöä energiankulutuksessa tai sähkötehojen hallinnassa. Kuitenkin lämpöpumpun testaamiseen asetetut edellytykset varmasti täyttyvät.

Työn aikana konkretisoitui rakennus- tai korjaushankkeen loppudokumentoinnin tärkeys. Vaikeuksia tuotti vajavainen dokumentointi lämmitysjärjestelmän toiminnasta. Esimerkiksi lämmitysjärjestelmän säätökaaviossa mainittua toimintaselostusta maa- ja aurinkolämpöjärjestelmän toiminnasta ei ollut olemassa. Kyseinen järjestelmä lienee hyvä esimerkki ongelmista, joita aiheutuu, kun saman järjestelmän eri osiot toteuttaa eri urakoitsija. Kun on kyseessä monimutkaiset talotekniset järjestelmät, pitäisi urakoitsijoiden, laitetoimittajien ja suunnittelun yhteistyö olla saumatonta, jotta saataisiin optimaalisesti toimiva järjestelmä.

Lisäksi huomattiin rakennusautomaation valvontaohjelmiston potentiaalinen hyöty säästöjen etsimiseen. Optimointipotentiaalia on mahdollista etsiä esimerkiksi historiatietoja seuraamalla. Säästöpotentiaalini löytäminen energiasysteemeistä vaatii kuitenkin työtä.

Jatkotutkimuksena voitaisiin selvittää, onko mahdollista ohjata lämmitysjärjestelmää siten, ettei lämpöpumppuja tai sähkövastusta tarvittaisi ollenkaan, kun sauna on päällä. Yksi mahdollisuus voisi olla lämpövaraajien lämmittäminen ennalta hieman kuumemmaksi, jolloin energiasäilytys mahdollisesti riittäisi käyttöveden ja tilojen lämmitykseen. Varsinkin kesäaikaan, kun aurinkolämpöä on saatavilla ja lämpöpumppuja ei tarvita tilalämmitykseen, voisi hyvinkin olla mahdollista

ohjata järjestelmää siten, ettei sauna ja lämpöpumput ole yhtä aikaa päällä. Tila-lämmityksen energiavaraajan lämpötilan nostaminen kyseisessä järjestelmässä vaatisi todennäköisesti ohjauksen lisäksi hieman erilaisen energiavaraajien kyt-kennän.

Toinen jatkotutkimuksen aihe voisi olla lämpöpumppujen mitoitus. Rakennuksen lämpöpumpussa on tällä hetkellä kaksi 32 kW:n kylmäkoneikkoa. Rakennuksen energiajärjestelmän toimintaa seurattessa vaikutti siltä, että lämpöpumppujen lyhyet käyntijaksot johtuvat usein siitä, että lämpöpumput olivat todella tehokkaita lämmityksen tarpeeseen nähden. Invertteriohjaus kompressoreissa helpottaisi tilannetta, mutta olisiko mahdollisesti hyödyllistä mitoittaa laitteisto siten, että teho jakautuisi kylmäkoneikoilla esimerkiksi 35 ja 65 % 50/50 sijaan. Varsinkin kun lämpöpumput valitaan mitoituslämpötilan mukaisten lämpöhäviöiden perusteella ja viime vuosina talvet ovat olleet melko leutoja, ja huipputehoja lämmityksessä ei ole tarvittu.

Ilmastonmuutos ja sitä kautta energiantuotannon muuttuminen lisää painetta uuden energiatehokkaamman teknologian kehittämiseen. Tämän työn ohessa tehtyjen huomioiden perusteella uuden teknologian lisäksi jo olemassa olevan teknologian tehokkaammassa käytössä on paljon potentiaalia rakennusten energiatehokkuuden parantamisessa.

## LÄHTEET

Alanen, R. Koljonen, T. Hukari, S. Saari, P. 2003. Energian varastoinnin nykytila. VTT. Luettu 1.5.2020 <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2003/T2199.pdf>

Barton, M., tekniikan tohtorikoulutettava. 2020. LES-Freitagssseminar. Julkaisematon.

Barton, M., tekniikan tohtorikoulutettava. 2020. Haastattelu. Munich University of Applied Sciences.

Daikin altherma 3 GEO. Daikin. Luettu 20.4.2020. [https://www.daikin.fi/content/dam/document-library/catalogues/heat/ground-to-water-heat-pump/egsah-d9w/Daikin%20Altherma%203%20GEO\\_Product%20flyer\\_ECPEN20-751\\_English.pdf](https://www.daikin.fi/content/dam/document-library/catalogues/heat/ground-to-water-heat-pump/egsah-d9w/Daikin%20Altherma%203%20GEO_Product%20flyer_ECPEN20-751_English.pdf)

Direktiivi EPBD 2018/844/EU. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2010/31/EU ja energiatehokkuudesta annetun direktiivin 2012/27/EU muuttamisesta. Luettu 10.3.2020. [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2018.156.01.0075.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG)

Euroopan komissio a. 2020 Climate and Energy Package. Luettu 14.03.2020. [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en)

Euroopan komissio b. 2030 Climate and Energy Framework. Luettu 14.03.2020 [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en)

Euroopan komissio c. Energy Consumption. Luettu 23.02.2020. [https://ec.europa.eu/energy/content/energy-consumption-end-use\\_en](https://ec.europa.eu/energy/content/energy-consumption-end-use_en)

Eurostat 2020. Renewable Energy in the EU in 2018. Luettu 28.02.2020. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/10335438/8-23012020-AP-EN.pdf/292cf2e5-8870-4525-7ad7-188864ba0c29>

Eurostat Database. Complete Energy Balances. Luettu 01.03.2020. [https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg\\_bal\\_c&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_bal_c&lang=en)

Fang, Y. Niu, J. Deng, S. 2017. Numerical analysis for maximizing effective energy storage capacity of thermal energy storage systems by enhancing heat transfer in PCM. <https://www.sciencedirect-com.libproxy.tuni.fi/science/article/pii/S0378778817332000?via%3Dihub>

Gebwell. Asennus, käyttö ja huolto-ohje GEMIINI lämpöpumpu. Gebwell Oy. Luettu 05.03.2020. <https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/07/GEMINI-Asennus-kaytto-ja-huolto-ohjekirja.pdf>

Grözinger, J., Hermelink, A., von Manteuffel, B., Offermann, M. & Schimscha, S. 2017. Optimising the energy use of technical building systems – unleashing the power of the EPBD's Article 8. Cologne: Ecofys. Cologne

Hakala, P. & Kaappola, E. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. 3. painos. Tampere: Suomen yliopistopaino.

Harju, P. 2014. Talotekniikan mittauksia, säätöjä ja automatiikkaa. 3. painos. Kouvola: PACKAGEMEDIA.

Heljo, J., Harsia, P., Holttinen, H., Aalto, P., Björkqvist, T., Järventausta, P., Kaivo-oja, J., Kojo, M., Korpela, T., Rautiainen, A., Repo, S., Ruostetsaari, I. & Sorri, J. 2016. Tammikuun tehopiikki – mitä tapahtui 7.1.2016? Miten tehoa hallitaan paremmin jatkossa? EL-TRAN analyysi 7, 1-15.

Inkinen, P. & Tuohi, J. 1999. Momentti 1. 4.-9. painos. Helsinki: Kustannusosa-  
keyhtiö Otava.

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., & Belonogova, N. 2015. Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkkoyhtiöille (DR pooli): Loppuraportti. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.

Kangas, H-L., Turunen, T., Karhinen, S., Kotilainen, A., Piikkilä, V., Pihlajamaa, P., Harsia, P., Vainio, T., Vesanen, T., Mattinen-Yuryev, M. & Ohring, T. 2018. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi: Automaatiovelvoite, tekniset järjestelmät sekä lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastukset. Luettu 02.04.2020. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B069B79BA-48AE-4D78-B9BB-E995B7F0E06A%7D/146152>

Keeling, S. & Butcher K. (toim.) 2013. Ground Source Heat Pumps. TMI 51. London: CIBSE.

Kemna, R. 2014. Average EU building heat load for HVAC equipment. Luettu 16.03.2020. . [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014\\_final\\_report\\_eu\\_building\\_heat\\_demand.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2014_final_report_eu_building_heat_demand.pdf)

Kianta, J. & Kapanen, M. 2019. Välilliset jäähdytysjärjestelmät. Suomen Kylmäyhdistys ry. Luettu 14.04.2020. [www.skll.fi/www/att.php?type=2&id=331](http://www.skll.fi/www/att.php?type=2&id=331)

Kumpulainen, L., Rinta-Luoma, J., Voima, S., Kauhaniemi, K. & Sirviö, K. Koivisto-Rasmussen, R. Valkama, A-K. Honkapuro, S. Partanen, J. Lassila, J. Kaipia, T. Haakana, J. Annala, S. Järventausta, P. Valkealahti, S. Repo, S. Verho, P. Suntio, T. Rautiainen, A. Nikander, A. Pakonen, P. Roadmap 2025 sähkömarkkina- ja verkkovisio 2035 & roadmap 2025. [https://energia.fi/files/786/Roadmap\\_2025\\_loppuraportti.pdf](https://energia.fi/files/786/Roadmap_2025_loppuraportti.pdf)

- Laiho, E-M. 2010. Putkijohtojen virtausteknisen mitoituksen perusteita. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Laiho, E-M. 2010. Lämmönsiirtymisen perusteita. Mikkeli: Mikkelin ammattikorkeakoulu.
- Litiu, A. (toim.) 2017. Introduction to Building Automation, controls and Technical Building Management. REHVA Guidebook 22. Bryssel: REHVA Office.
- LVI 11-10623 Maalämpöpumput pientalo. 2018. Rakennustieto RT tietoväylä.
- LVI 12-10343 Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002. Rakennustieto RT tietoväylä.
- Mitsubishi Electric. The Impact of Control Strategies on Building Energy Performance Using BS EN 15232. Luettu 15.04.2020. [https://library.mitsubishielectric.co.uk/pdf/book/The\\_impact\\_of\\_control\\_strategies?model\\_query=CPD#page-1](https://library.mitsubishielectric.co.uk/pdf/book/The_impact_of_control_strategies?model_query=CPD#page-1)
- Nevanlinna, H. (toim.) 2008. Muutamme ilmastoa. Ilmatieteen laitoksen tutkijoiden katsaus ilmastomuutokseen. Helsinki: Karttakeskus.
- Pulli, M. 2018. Virtaustekniikka. 3. painos. Tampere: Tammertekniikka.
- Repomäki, H. & Salomaa, P. Luettu 13.3.2020. [https://energia.fi/linjaukset/energiapolitiikka/toimivat\\_markkinat/kulutusjousto](https://energia.fi/linjaukset/energiapolitiikka/toimivat_markkinat/kulutusjousto)
- Schweigler, C. Flexible heat pumps with integrated latent heat storage. Tutkimussuunnitelma. Luettu 03.03.2020. [https://www.hm.edu/en/research/projects/project\\_details/schweigler/smart\\_case.en.html](https://www.hm.edu/en/research/projects/project_details/schweigler/smart_case.en.html)
- Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. painos. Jyväskylä: Gummerus kirjapaino Oy.
- Stadler, I., Hauer, A. & Bauer, T. 2019. Thermal energy storage. Teoksessa Sterner, M. & Stadler, I. (toim.) 2019. Handbook of energy storage. Berlin: Springer Verlag, 563-610.
- Sterner, M. & Stadler, I. (toim.) 2019. Handbook of energy storage. Berlin: Springer Verlag.
- Suomäki, J. & Vepsäläinen, S. 2018. Talotekniikan automaatio. Käyttäjän opas. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus Oy.
- Teollisuusetanolit - yleistietoa etanolista. Altia Oyj. Luettu 29.04.2020. <https://docplayer.fi/178676-Teollisuusetanolit-yleistietoa-etanolista-tuotetiedot.html>

Tichelen, P. & Verbeke, S. 2018. Paul Van Tichelen Ecodesign preparatory study for Building Automation and Control Systems (BACS) implementing the Ecodesign Working Plan 2016 –2019. Luettu 1.4.2020. [https://ecodesign-bacs.eu/sites/ecodesignbacs.eu/files/attachments/BACS\\_scopeReport.pdf](https://ecodesign-bacs.eu/sites/ecodesignbacs.eu/files/attachments/BACS_scopeReport.pdf)

Tilastokeskus 2019. Asumisen energiankulutus 2018. Luettu 03.04.2020. [https://www.stat.fi/til/asen/2018/asen\\_2018\\_2019-11-21\\_fi.pdf](https://www.stat.fi/til/asen/2018/asen_2018_2019-11-21_fi.pdf)

Tilastokeskus. Px Web tietokannat. Energian hankinta ja kulutus. Luettu 03.04.2020. [http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin\\_ene\\_ehk/statfin\\_ehk\\_pxt\\_010.px/](http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_ene_ehk/statfin_ehk_pxt_010.px/)

Värjä, P. & Mikkola, J-M. 1999. Uusi kiinteistöautomaatio. 10. painos. Koria: Kukkomäki.

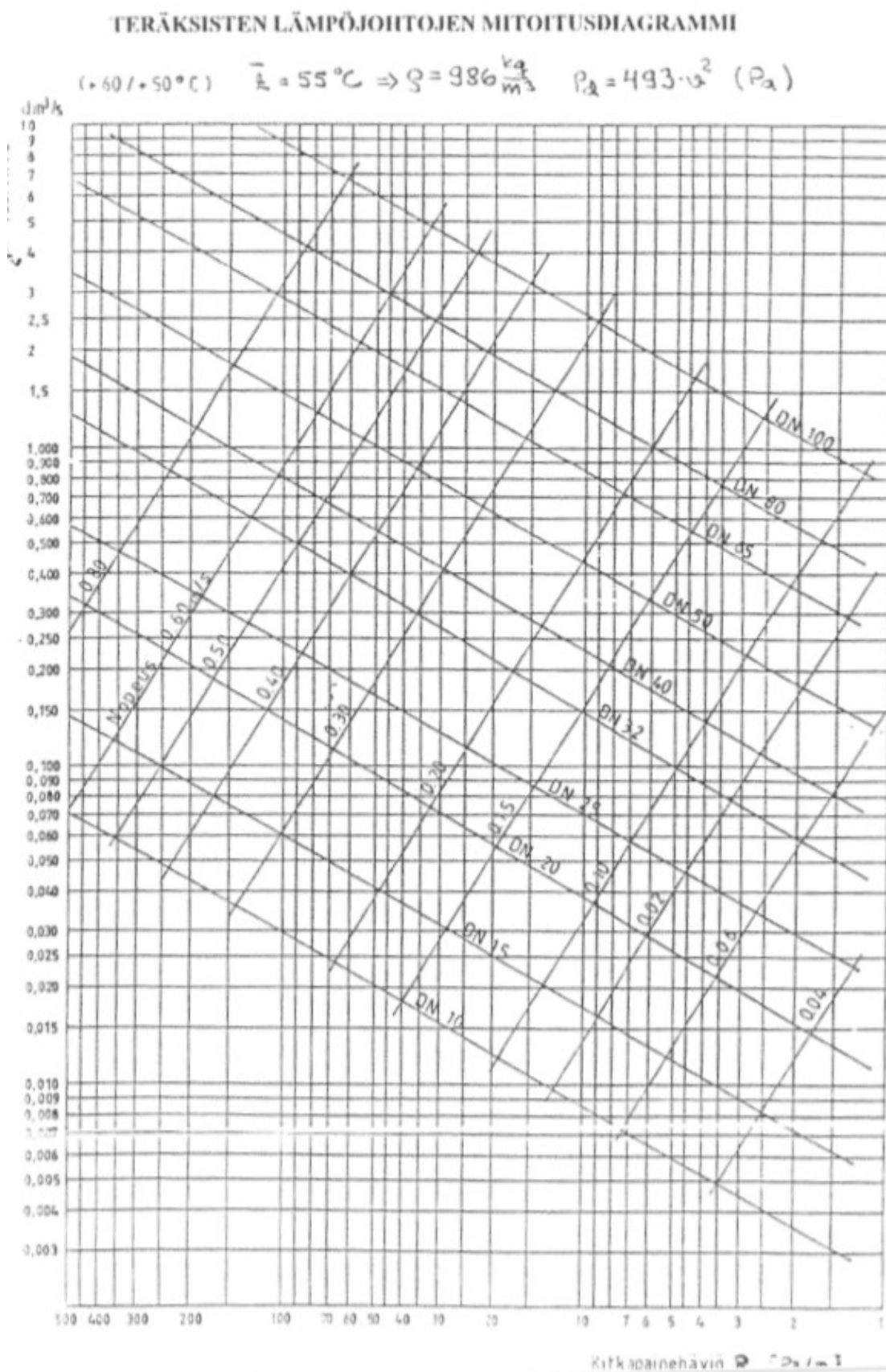
Waide, P., Ure, J., Karagianni, N., Smith, G. & Bordass, B. 2014. The scope for energy and CO2 savings in the EU through the use of building automation technology. Second edition. Manchester: White Strategic Ltd.

Wong, K. 2016. Climate change. New York: Momentum press.

Ympäristöministeriö. 29.11.2018. Pariisin ilmastopöytäkirja. Päivitetty 14.02.2019. Luettu 02.04.2020. [https://www.ymparisto.fi/FI-FI/Ymparisto/Ilmasto\\_ja\\_ilma/Ilmastonmuutoksen\\_hillitseminen/Kansainvaliset\\_ilmastoneuvottelut/Pariisin\\_ilmastopöytäkirja](https://www.ymparisto.fi/FI-FI/Ymparisto/Ilmasto_ja_ilma/Ilmastonmuutoksen_hillitseminen/Kansainvaliset_ilmastoneuvottelut/Pariisin_ilmastopöytäkirja)

## LIITTEET

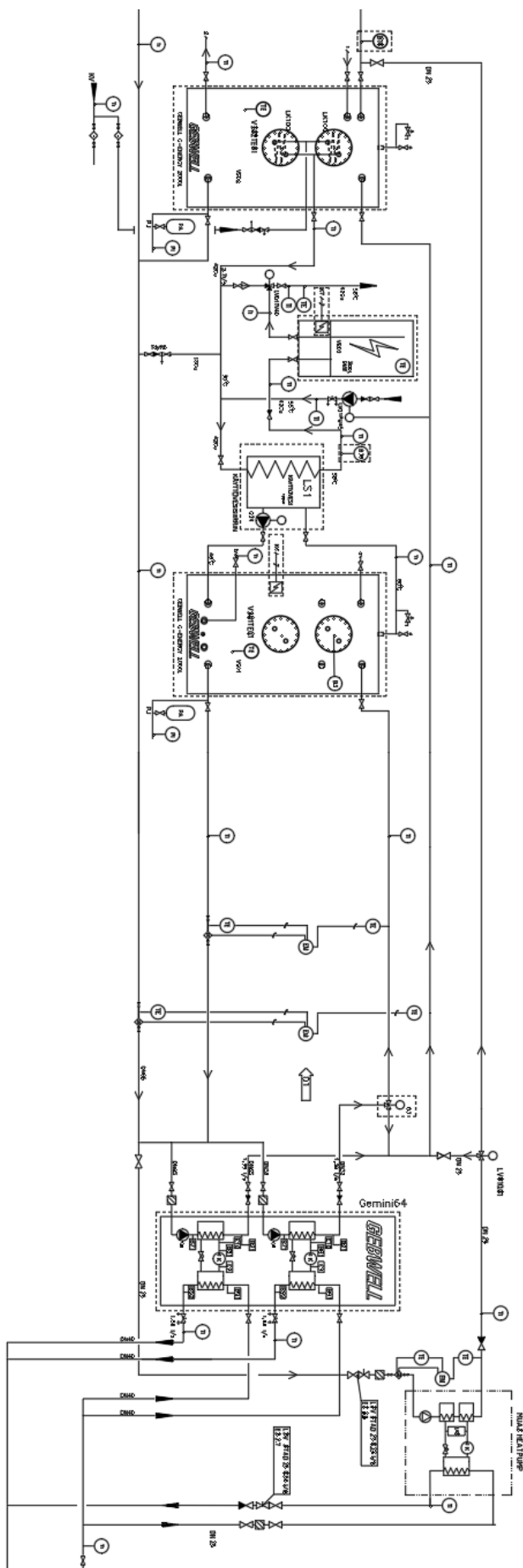
Liite 1. Teräksisten lämpöjohtojen mitoitusdiagrammi (Laiho, 2010)





Liite 2. Lämmityksen kytkentäkaavio L-talo

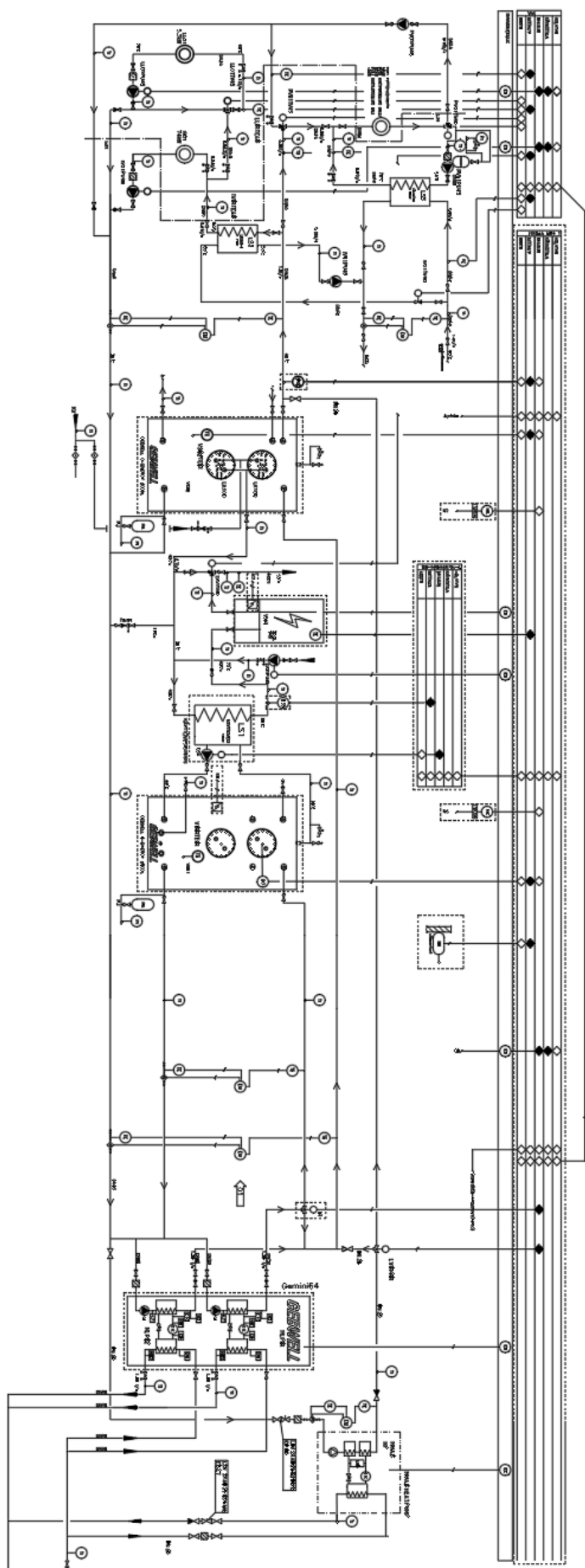
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

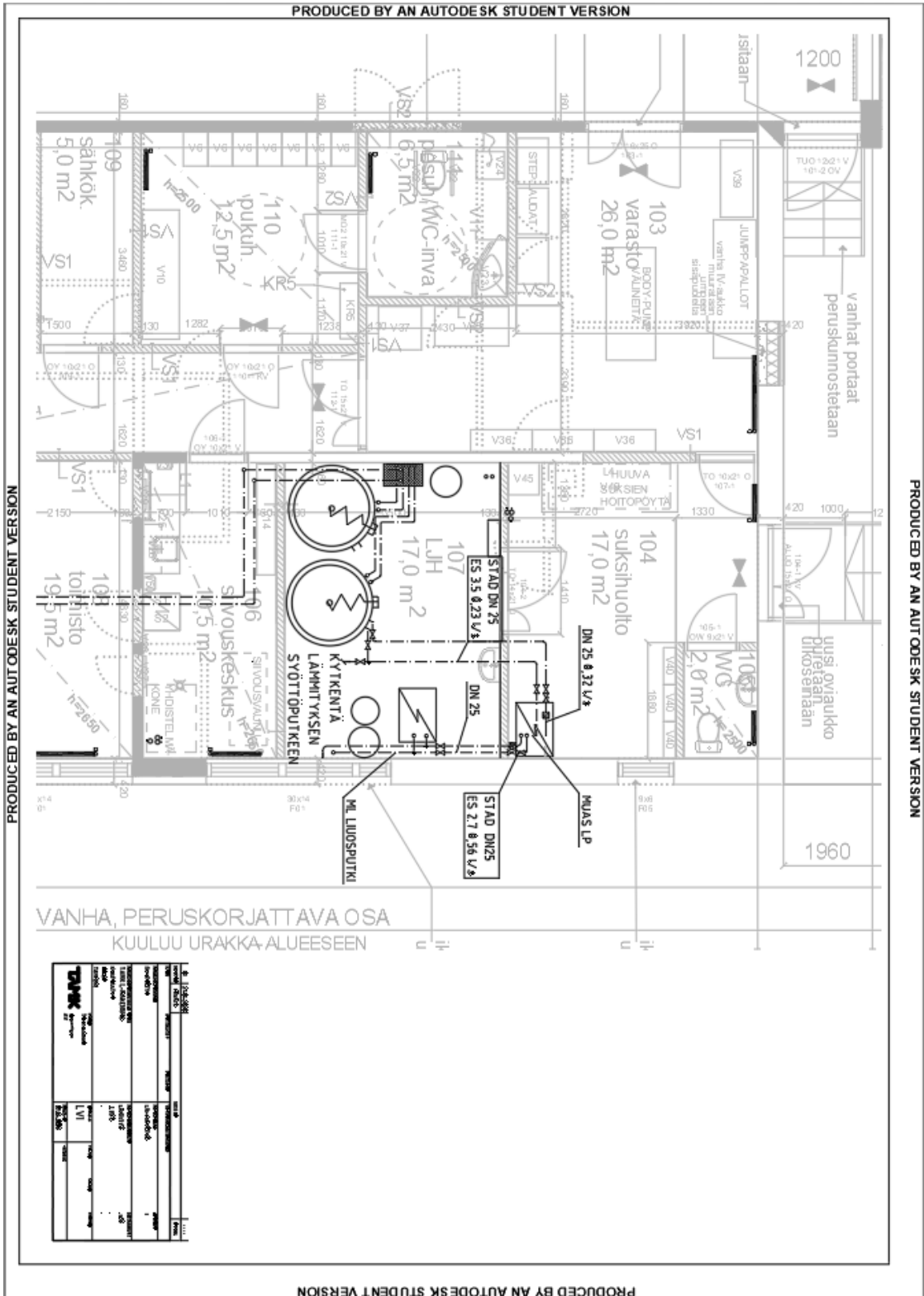
## Liite 3. Lämmityksen säätökaavio L-talo

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

Liite 4. Lämmitys 1.krs



## Liite 5. Toimintaselostus (ks. säätökaavio liite 2)

### Muas LP KYTKENTÄ LÄMMITYKSEN VARAAJAAN

- Taloautomaatiikka antaa käyntiluvan lämpöpumpuille lämpötilamittausten perusteella
- MLP 01 lämmittää käyttövettä mittauksen B3 perusteella
- Lämpöpumput MLP01 ja MLP02 toimivat varaajaan asennetun lämpötilanturin VS02TE01 perusteella
- Muas LP pyrkii pitämään varaajan lämpötilan B10 asetusarvossa
- MLP 01 käytetään tilalämmitykseen (jos käyttöveden kulutus mahdollistaa), kun varaajan lämpötila VS02TE01 laskee asetusarvoon esim. B10 - 4°C
- MLP 02 käynnistyy kun tilalämmityksen tehontarve on suuri (jos varaajan lämpötila VS02TE01 laskee B10 - 7°C)
- Kun MLP 01 & 02 ovat käynnissä:
  - o Yösähkö (Muas LP lataa oman lämpövaraston täyteen, ja pysähtyy.
  - o Päivä Muas LP pysähtyy
- Muas LP lämpövarastoa pyritään lataamaan sähkön hinnan mukaan (aikaohjelma)
- Muas LP lämpövarastoa puretaan aikaohjelman tai sähkötehomittauksen perusteella

### MBT KYTKENTÄ VARAAJAN JÄLKEEN

- Gemini 01 lämmittää käyttövettä.
- Gemini 01 ja 02 toimii varaajaan asennettavan lämpötilanturin VS02TE01 perusteella
- Gemini 01 ja 02:lla on omat käyttöä ohjaavat lämpötilat (esim. B10 -4°C JA -7°C)
- Järjestelmä pyrkii täyttämään tilalämmityksen lämmitystarpeen Muas LP:n avulla.
- Muas LP toimii ulkolämpötilan perusteella (IV-säätökäyrä)
- Jos Muas LP:n lämmitysteho ei riitä MLP01 käytetään mahdollisuuksien mukaan tilalämmitykseen
- MLP 02 käynnistyy kun lämmitysverkoston varaajan lämpötila VS02TE01 laskee määritellyn asetusarvon verran
- kun Gemini 02 on käynnissä
  - o Yösähkö (MHP lataa oman lämpövaraston täyteen, ja pysähtyy.
  - o Päivä Muas HP pysähtyy
- Muas LP lämpövarastoa pyritään lataamaan sähkön hinnan mukaan (aikaohjelma)
- Muas LP lämpövarastoa puretaan aikaohjelman tai sähkötehomittauksen perusteella

1

**LVI- TYÖSELITYS****L-talon lämmitysjärjestelmän muutos/laajennustyö****29.04.2020****Antti Virta TAMK. Talotekniikka LVI**

(jatkuu)

	2
<b>SISÄLLYS</b>	
<b>YLEISTIEDOT KOHTEESTA.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 TOIMENPIDE.....</b>	<b>3</b>
<b>URAKAN LAAJUUS.....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 Putkiurakka.....</b>	<b>4</b>
<b>Työn kuvaus.....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 PIIRUSTUKSET.....</b>	<b>4</b>

3

**YLEISTIEDOT KOHTEESTA**

Kohteen nimi: TAMK L-rakennus  
Osoite: Kuntokatu 3  
33520  
Tampere

Kaupunginosa 3  
Kortteli ja tontti 54/2

Rakennustoimenpide: Korjaus  
Rakennustyyppi: Urheiluhalli

Yhteyshenkilö \_\_\_\_\_  
Sähköposti \_\_\_\_\_

**1.1 TOIMENPIDE**

Lämmitysverkoston muutokset, ja uuden lämpöpumpun kytkentä L-talon lämmitysverkostoon.

4 (4)

## **URAKAN LAAJUUS**

### **1.2 Putkiurakka**

Urakkaan kuuluu tässä työselityksessä ja ko. piirustuksissa mainittujen LVI-laitteiden, tarvikkeiden, -kojeiden ja – järjestelmien hankinta, haalaus, asennus ja eristys täyteen käyttökuntoon. Lisäksi läpivientien teko ja niiden asianmukainen paloeristys.

Piirustuksissa on putkistot mitoitettu nimellissuuruuksia käyttäen. Putkien sisämitan tulee olla vähintään ilmoitetun DN-mitan suuruinen. Putkiverkosto tehdään ja eristetään kuhunkin käyttökohteeseen soveltuvin materiaalein ja liitostaivoin.

### **Työn kuvaus**

Lämmitysverkostoon sekä maalämmön liuospiiriin lisätään piirroksen mukaiset kytkentä pisteet uutta lämpöpumppua varten. Uudet liitoskohdat varustetaan suluiin. Lämmityksen- ja käyttövedenpuskurisäiliöihin VS01 ja VS02 lisätään mitta-anturit.

Uuden lämpöpumpun varolaitteiston purkuputki ohjataan olemassa olevaan säiliöön.

Järjestelmän asennustöiden jälkeen verkosto täytetään ja ilmataan sekä tehdään tiiveys koe.

### **1.3 PIIRUSTUKSET**

Työselitys ja siihen liittyvät piirustukset täydentävät toisiaan.

Selostukseen liittyvät suunnitelmat:

Kytkentäkuva lämmitys Muas LP.pdf

Säätökaavio lämmitys Muas LP.pdf

Lämmitys pohjakuva 1.krs Muas LP.pdf