

Esa Leivonen

Lämmitysjärjestelmän perusparannus linjasa- neerauksen yhteydessä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

9.9.2018

| | |
|--|--|
| Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika | Esa Leivonen Lämmitysjärjestelmän perusparannus linjasaneerauksen yhteydessä 45 sivua + 2 liitettä 9.9.2018 |
| Tutkinto | insinööri (AMK) |
| Tutkinto-ohjelma | talotekniikka |
| Ammatillinen pääaine | LVI-urakointi |
| Ohjaajat | lehtori Hanna Sulamäki LVI-projektipäällikkö Lauri Saartoala |
| <p>Insinööriyöni tavoitteena oli perehtyä kaukolämmöllä lämpiävän vesikiertoisen patteriverkoston toimintaan ja siihen liittyvän perussäädön toteutuksen eri vaiheisiin. Lisäksi tavoitteena oli perehtyä linjasaneeraushankkeen aikana kaukolämmön alajakokeskuksen uusimiseen liittyviin määräyksiin ja ohjeisiin sekä kiinteistön energiatehokkuutta parantavan poistoilmalämpöpumppujärjestelmän toimintaan. Insinööriyötä hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan linjasaneeraushankkeiden yhteydessä perussäädön toteutuksessa.</p> <p>Patteriverkoston toimintaan ja perussäätöön liittyvää tietoa keräsin kirjallisuuslähteiden avulla sekä tutustumalla ja keskustelemalla yrityksen edustajien kanssa eri kohteiden perussäädön toteutuksesta. Esimerkkikohteeseen asennetun poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän toimintaa on havainnollistettu etävalvontajärjestelmästä saaduin kuvakaappauksin.</p> <p>Insinööriyössä käydään läpi kaukolämmön periaatteet, patteriverkoston liittyvien osien ja laitteiden merkitys verkostossa, perussäädön eri vaiheet, kaukolämmön alajakokeskuksen uusiminen linjasaneeraushankkeessa ja poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän toimintaa.</p> <p>Kiinteistöjen yksi suurimmista kulueristä on lämmityskustannukset. Vesikiertoisen patteriverkoston perussäädöllä pystytään pienentämään kiinteistön lämmitysenergiankulutusta huomattavasti. Perussäätö takaa myös viihtyisät asuinolot asukkailla. Lisäksi linjasaneerausten hankesuunnittelussa näkee yhä enemmän suosituksia energiantehokkuutta parantaville järjestelmille kuten poistoilman lämmöntalteenotolle. Tiukentuvat määräykset ovat myös osaksi tuoneet erilaisia lämmöntalteenottojärjestelmiä markkinoille.</p> | |
| Avainsanat | perussäätö, lämmitysverkosto, LTO, kaukolämpö, linjasaneeraus |

| | |
|---|---|
| Author Title | Esa Leivonen Heating System Upgrade in Connection with Pipeline Renovation |
| Number of Pages Date | 45 pages + 2 appendices 9 September 2018 |
| Degree | Bachelor of Engineering |
| Degree Programme | Building Services Engineering |
| Professional Major | HVAC Engineering, Contracting Orientation |
| Instructors | Lauri Saartoala, Project Manager Hanna Sulamäki, Senior Lecturer |
| <p>The purpose of this bachelor's thesis was to study the balancing of a water circulation radiator heating system and improvements done in the heating system in a pipeline renovation. Furthermore, a goal was to draw up comprehensible guidelines on how to balance a water circulation heating system.</p> <p>The study was based on guidebooks and documents in the building services engineering field. In addition, regulations and rules for HVAC were used to get information. The thesis also discussed a property where the water circulated heating radiator system was balanced.</p> <p>The thesis presented the main components and their impact on the functioning and balancing of the heating system. According the results of the thesis, balancing the radiator heating systems improves the energy use of the property by about 10 per cent. The result of the thesis is a guide to help understanding the various steps of balancing and the purpose of the components.</p> | |
| Keywords | HVAC, heating, energy efficiency, balancing |

Sisällys

Lyhenteet

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Johdanto | 1 |
| 2 | Lämmitys | 2 |
| 2.1 | Lämmityksen merkitys | 2 |
| 2.2 | Kaukolämpö lämmitysmuotona | 3 |
| 2.3 | Kaukolämmön tuotanto | 4 |
| 3 | Vesikiertoinen patterilämmitysjärjestelmä | 6 |
| 3.1 | Patteriverkoston lämmöntuotto ja toiminta | 6 |
| 3.2 | Verkoston osat ja niiden toiminta | 8 |
| 3.2.1 | Termostaattinen patteriventtiili | 8 |
| 3.2.2 | Linjasäätöventtiili | 9 |
| 3.2.3 | Lämmityspatterit | 10 |
| 3.2.4 | Lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppu | 11 |
| 3.2.5 | Paisuntasäiliö | 12 |
| 3.2.6 | Varoventtiili | 12 |
| 4 | Patteriverkoston perussäätö | 13 |
| 4.1 | Perussäädön tavoite | 13 |
| 4.2 | Verkoston tasapainotus | 16 |
| 4.3 | Toteutusvaihe | 21 |
| 5 | Kaukolämmön lämmönjakokeskus | 23 |
| 5.1 | Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen toiminta | 23 |
| 5.2 | Lämmönjakokeskuksen uusiminen linjasaneerauksen yhteydessä | 24 |
| 5.3 | Asennusvaihe | 25 |
| 6 | Esimerkkikohde | 28 |
| 6.1 | Lähtötiedot | 28 |
| 6.2 | Toteutus | 30 |
| 6.2.1 | Patteriverkoston perussäätö | 30 |
| 6.2.2 | Lämmöntalteenottojärjestelmä | 33 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.3 | Järjestelmän takaisinmaksuaika | 40 |
| 7 | Yhteenveto | 41 |
| | Lähteet | 43 |
| | Liitteet | |
| | Liite 1. Patteriverkoston tasapainotus laskentataulukot | |
| | Liite 2. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän raportteja etävalvontajärjestelmästä | |

Lyhenteet

| | |
|-------------|--|
| k_v -arvo | Venttiin läpi virtaava vesivirta (m^3/h), venttiin ollessa täysin auki painehäviöllä 1 bar |
| LSV | Linjasäätöventtiili |
| LTO | Lämmöntalteenotto |

1 Johdanto

Lämmitysjärjestelmän tasapainolla sekä lämmitysjärjestelmään liitettyjen laitteiden uusimisella vähennetään rakennuksen energiankulutusta ja taataan tasaiset lämpöolosuhteet rakennuksen jokaiseen huoneistoon.

Tämän työn tarkoituksena on perehtyä vesikiertoisen patteriverkoston perussäätöön ja tasapainotukseen sekä kaukolämmön alajakokeskuksen uusimiseen, linjasaneeraus-hankkeiden yhteydessä. Työtä hyödynnetään mahdollisuuksien mukaan perussäädön toteutusvaiheen selkeyttämiseksi työmaalla. Työ tehdään yhteistyössä Remonttipartio Oy:n kanssa. Yritys on keskittynyt hankkeissaan linjasaneerausurakointiin. Remonttipartio Oy kuuluu osaksi Lehto Group Oyj:tä.

Lämmitys on taloyhtiöiden yksi suurimmista kustannuksista. Tämän vuoksi on tärkeää, että lämmitysjärjestelmä toimii optimaalisesti ilman turhaa kulutusta ja yllilämmittämistä. Arvioiden mukaan Suomen asuinrakennuskannasta jopa n. 75 % olisi perussäädön tarpeessa. [20]

Huoneilman lämpötilan ohje arvona pidetään lämmityskaudella oleskeluvyöhykkeellä 21 °C. Muutokset huonelämpötiloissa voivat aiheuttaa epämukavuuden ja vedon tunnetta. Lämmitysjärjestelmän oikein tehdyllä perussäädöllä ja tasapainotuksella päästään eroon huoneistojen välisistä liiallisista lämpötilaeroista. [29]

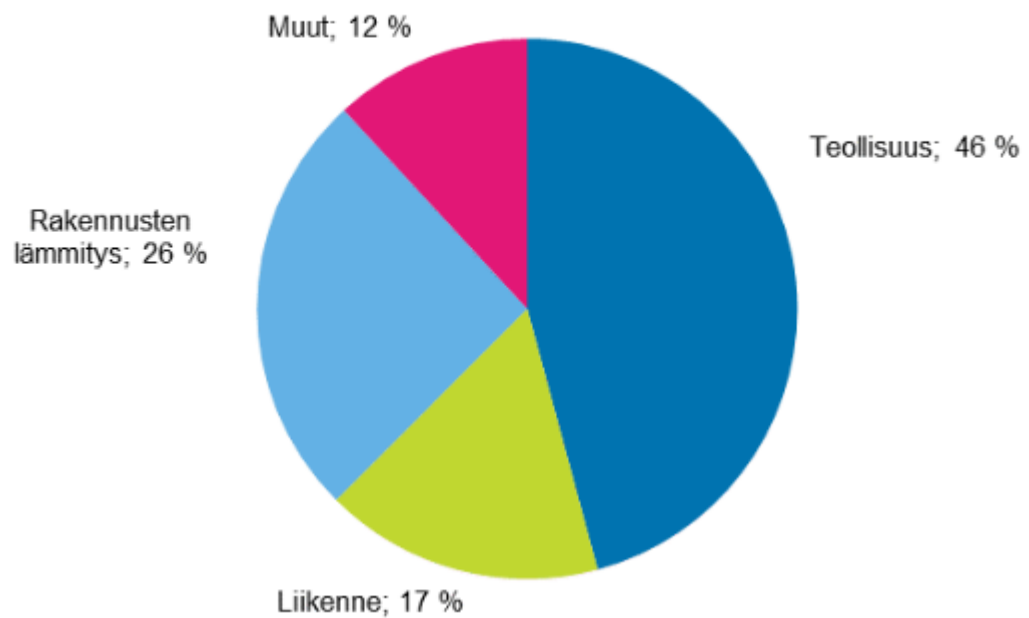
Työssä käydään läpi esimerkkikohde, johon sisältyy patteriverkoston perussäädön toteutus sekä kaukolämmön alajakokeskuksen uusiminen. Lisäksi esimerkkikohteeseen asennettiin lämmöntalteenottojärjestelmä, jonka avulla poistoilmasta otetaan lämpöä talteen ja käytetään lämpö hyväksi lämmitysjärjestelmään sekä käyttöveden lämmittämiseen. Työn tavoitteena on selventää lukijalle lämmitysverkoston ja siihen liitettyjen laitteiden toiminnan perusteet sekä patteriverkoston perussäädön eri vaiheet.

2 Lämmitys

2.1 Lämmityksen merkitys

Rakennusten lämmitys on keskeinen LVI-tekniikan osa-alue. Lämmityksen perusteena on luoda rakennukseen viihtyisät ja terveelliset lämpöolot. Lämmityksen osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta on noin neljännes (kuva 1). Lämmityksen osuus on merkittävä kiinteistöjen energian käytössä.

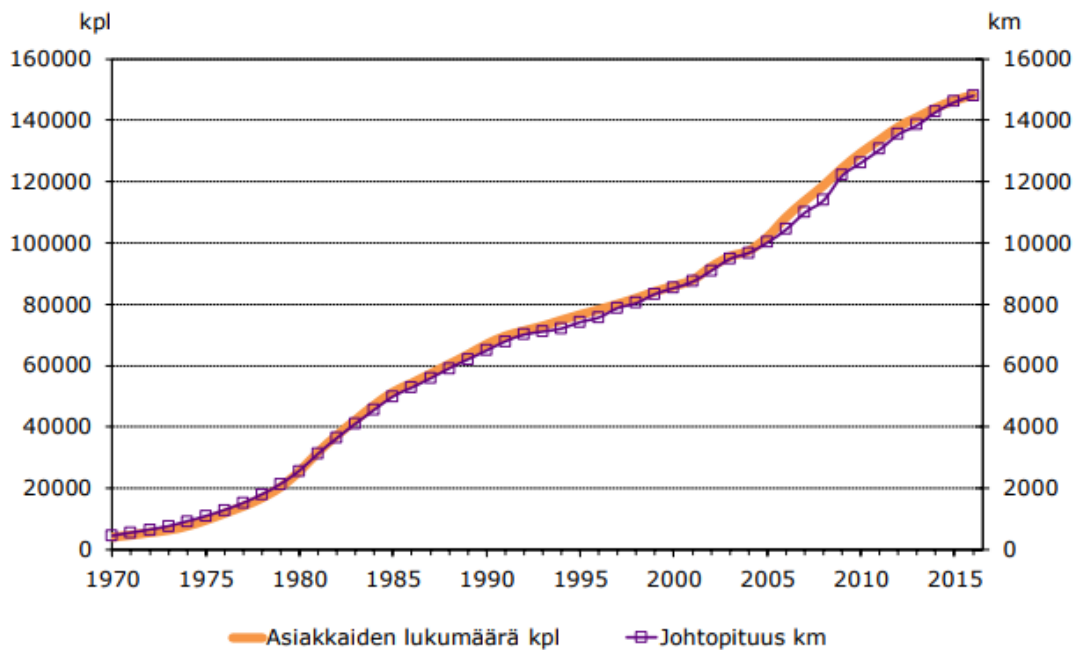
Liitekuvio 14. Energian loppukäyttö sektoreittain 2017*



Kuva 1. Energian käytön jakautuma suomessa sektoreittain vuonna 2017 [21]

2.2 Kaukolämpö lämmitysmuotona

Keskityn työssäni Suomen yleisimpään lämmitysmuotoon eli kaukolämpöön. Lähes puolet suomalaisista asuu kaukolämmöllä lämpenevässä talossa. Kaukolämpö siirretään asiakkaalle kaukolämpöverkostossa kiertävän veden avulla ja lämpö siirretään rakennuksen oman lämmitysjärjestelmän käyttöön lämmönjakokeskuksen avulla. Kaukolämpöverkon yhteispituus Suomessa on tällä hetkellä n. 15 000 km (kuva 2). Kaukolämmityksen osuus lämmitysmarkkinoista on n. 45 %. Lähes 85 % asuinkerrostaloista on liitetty kaukolämpöön.



Kuva 2. Kaukolämmön kehitys Suomessa vuosina 1970-2015 [23, s. 6]

Kaukolämpöverkostossa virtaavan meno veden lämpötila vaihtelee ulkoilman lämpötilan mukaan 65:stä 115 asteeseen. Talvella pakkasjaksoilla veden lämpötila on korkeimmillaan, jolloin lämpöä tarvitaan lämmitysjärjestelmän käyttöön ja käyttöveden lämmittämiseen. Takaisin lämmöntuotantolaitoksella palaavan kaukolämpöveden lämpötila vaihtelee 20:stä 50 asteeseen. [1]

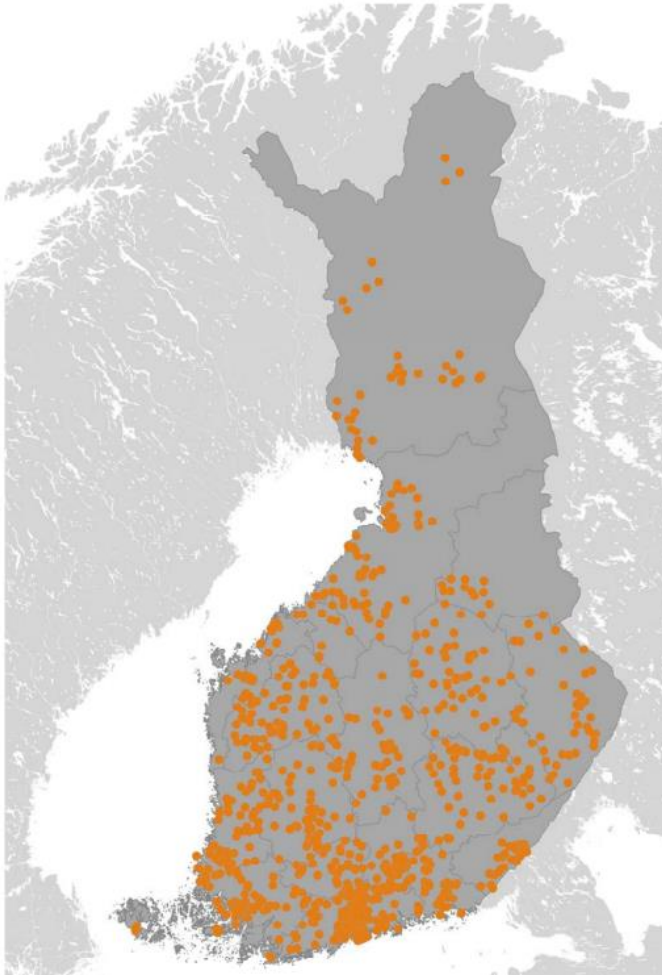
Kiinteistön käyttämä lämpömäärä mitataan lämpöenergiamittarin avulla. Lämpöenergiamittarin osat ovat virtausanturi, lämpömäärälaskin ja lämpötila-anturit. Virtausanturi mittaa kiertävän kaukolämpöveden määrän. Lämpömäärälaskin laskee lämmitykseen ja lämpimään käyttöveteen kulutetun lämpöenergian virtausanturilta ja lämpötila-antureilta tulevien mittaustulosten perusteella. Kiinteistökohtainen lämpöenergian mittaaminen on tarkkaa ja luotettavaa. [2]

Kaukolämmön etuja ovat toimintavarmuus, energiantehokkuus, vähäinen huollon tarve ja saatavuus.

2.3 Kaukolämmön tuotanto

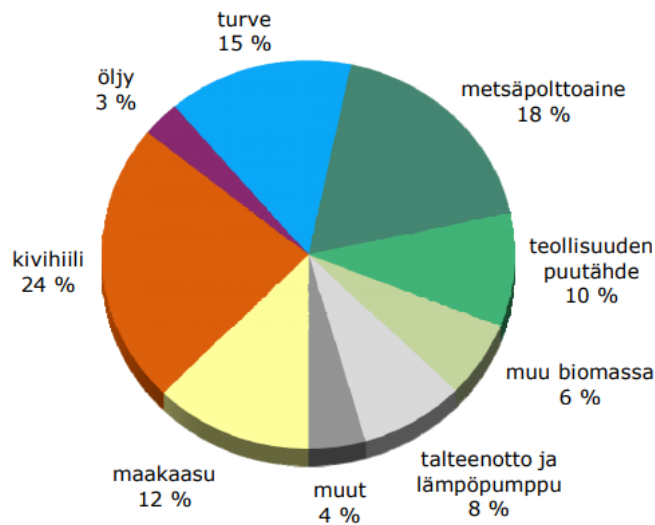
Kaukolämpö tuotetaan sähköä ja lämpöä tuottavissa voimalaitoksissa tai lämpökeskuksissa. Pääkaupunkiseudulla kaukolämmöntuotannosta n. 90 % tuotetaan yhteistuotantolaitoksissa. Yhteistuotantolaitoksessa sähköä voidaan tuottaa esimerkiksi höyry- tai kaasuturbiineilla ja prosessista saatava lämpö hyödynnetään kaukolämpöön. Yhteistuotannossa säästetään kolmannes polttoaineesta verrattuna siihen, että lämpö ja sähkö tuotettaisiin erillisissä tuotantolaitoksissa. Kuvassa 3 on esitetty Suomessa toimivat kaukolämmön tuotantolaitokset

Kaukolämmön ylivoimainen energiatehokkuus ja ympäristömyönteisyys perustuvat erityisesti siihen, että kaukolämmitys hyödyntää hukkaan menevää lämpöenergiaa, joka syntyy sähköntuotannon yhteydessä, teollisuus- ym. prosessien jätelämpönä tai kaupungeissa. [3]



Kuva 3. Kaukolämmön tuotantolaitokset Suomessa [23, s. 2]

Kaukolämmön tyypillisiä polttoaineita ovat maakaasu, kivihiili, turve, öljy sekä lisääntyvässä määrin uusiutuvat energianlähteet kuten puu ja biokaasu (kuva 4). Uusien teknologioiden myötä uusiutuvia energianlähteitä käytetään yhä enemmän kaukolämmön tuotantoon. Kaukolämmön tuotannossa etuna on erilaisten polttoaineiden käytön mahdollisuus, jolla pystytään optimoimaan polttoainekustannuksia.



Kuva 4. Kaukolämmön energianlähteet [4]

3 Vesikiertoinen patterilämmitysjärjestelmä

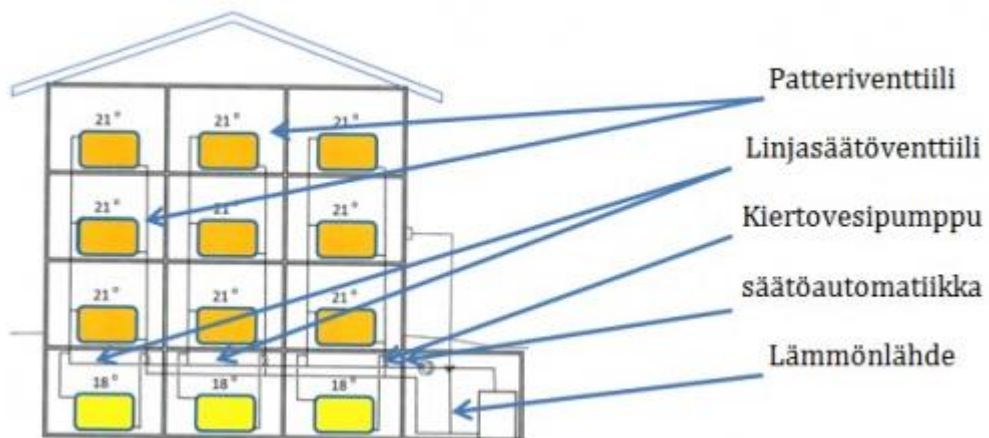
3.1 Patteriverkoston lämmöntuotto ja toiminta

Vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän lämmöntuottotavoiksi sopivat öljy- ja maakaasulämmitys, kaukolämmitys, lämpöpumppulämmitys, lämmitys kiinteällä polttoaineella sekä varaava ja osittain varaava sähkölämmitys. Vesikiertoisessa patterilämmityksessä käytetään matalia veden lämpötiloja, jolloin energiahäviöt ovat pienet ja pattereiden pintalämpötilat eivät ole polttavia. Lämmönsiirtoaineena verkostossa toimii tyypillisesti vesi hyvän lämmönsiirtokykynsä vuoksi. Vesikiertoisen patterilämmityksen lämmönjakotavat ovat yksi- tai kaksiputkijärjestelmä. [5, s. 1.]

Yksiputkijärjestelmässä patterit on kytketty sarjaan yleensä noin 5 patterin piireihin. Vesi kiertää patterilta toiselle ja vasta viimeisen patterin jälkeen palaa lämmönlähteelle. Erona kaksiputkijärjestelmään on pattereiden meno- ja paluueden lämpötilojen vaihtelu patterin sijainnista riippuen. Jokaiselle patterille tuleva johto toimii sekä meno- että paluueden kuljettamiseen. [6, s. 123.]

Yleisin asennustapa nykyisin on kaksiputkikytkentä. Kaksiputkikytkennässä meno- ja paluuedellä on omat putkistonsa, ja kaikkiin lämmityspattereihin johdetaan saman lämpöistä vettä.

Kiinteistön lämmitysjärjestelmään kuuluu lämmönlähde, lämmönjakoputkisto, lämmityspatterit ja verkostoon liitetyt venttiilit (kuva 5). Rakennus saa lämpönsä kaukolämpöverkossa kiertävästä kuumasta vedestä. Kaukolämpövesi virtaa lämmönjakokeskuksella olevan lämmönsiirtimen läpi ja luovuttaa lämpöä rakennuksen lämmitysverkoston käyttöön. Lämmönsiirrin erottaa kaukolämpöverkostossa kiertävän veden ja rakennuksen lämmitysjärjestelmässä kiertävän veden toisistaan, joten ne eivät sekoitu keskenään.



Kuva 5. Lämmitysjärjestelmän keskeisimmät varusteet [26]

Lämmönjakokeskuksella lämmennyt vesi virtaa lämmitysverkoston putkistoa pitkin huoneistojen lämmityspattereille, jotka luovuttavat tiloihin lämpöä. Lämmityspatterissa vesi jäähtyy, ja se palaa takaisin lämmönjakokeskukselle paluuputkistoa pitkin uudelleen lämmitettäväksi.

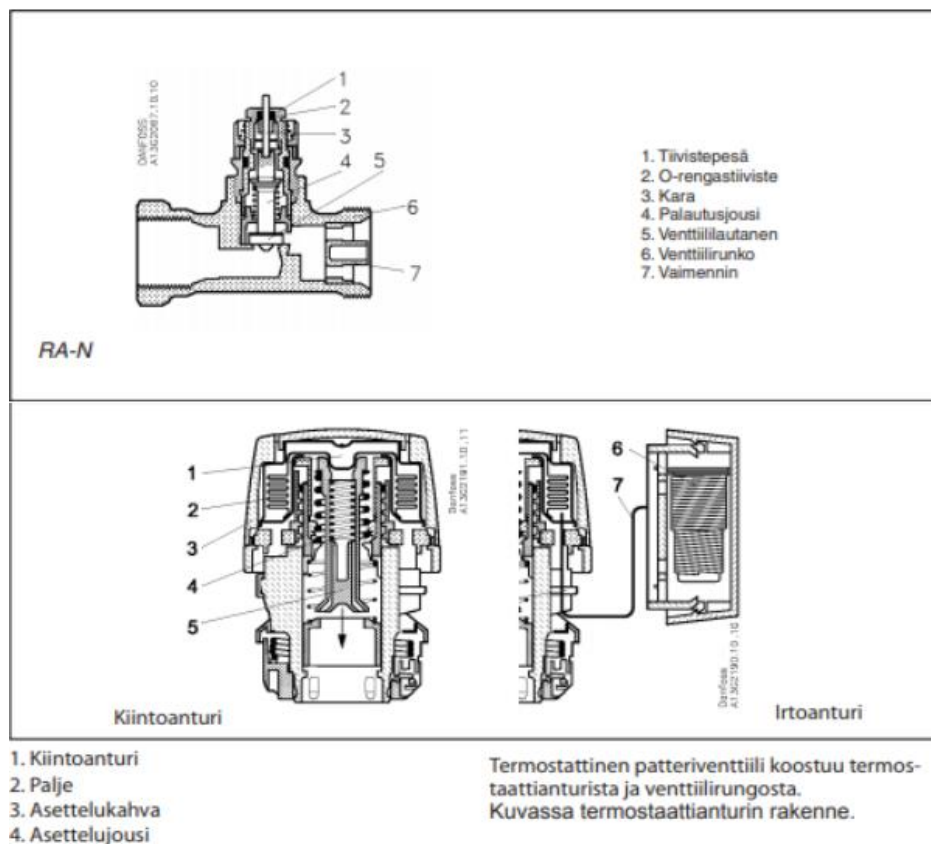
Lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa ohjataan ulkoilman lämpötilan mukaan ohjauskeskuksella olevan säätökäyrän avulla. Ulkoseinälle asennetun lämpötila-anturin avulla ohjauskeskus saa tiedon ulkoilman lämpötilasta. Lämpötilatiedon avulla ohjataan

lämmönjakokeskuksella olevia säätöventtiileitä säätökäyrän mukaisesti. Säätöventtiileiden ohjaus vaikuttaa kaukolämpöveden virtaamaan, ja mitä kylmempää ulkona on, sitä enemmän venttiilit ovat auki ja näin ollen kaukolämpövettä virtaa lämmönsiirtimelle enemmän.

3.2 Verkoston osat ja niiden toiminta

3.2.1 Termostaattinen patteriventtiili

Termostaattisen patteriventtiilin tehtävänä on säätää patterille tulevaa vesivirtaa. Patteritermostaatin avulla asukas pystyy vaikuttamaan oman huoneistonsa lämpötilaan. Termostaatti ottaa huomioon huoneiston mahdolliset muut lämmönlähteet kuten ihmiset, kodinkoneet ja auringon ja säätää tarvittaessa venttiilin läpi kulkevaa virtausta pienemmäksi, jos huoneiston lämpötila on halutun tason yläpuolella. Termostaattisen patteriventtiilin toiminnan edellytyksenä on, että sen ympärillä on riittävästi vapaata tilaa eikä termostaattia ole peitetty.



Kuva 6. Termostaattinen patteriventtiili [8]

Patteriventtiilit ovat yhdessä linjasäätöventtiilien kanssa verkoston tärkeimmät osat perussäädön toteutuksessa. Kuvassa 6 on esitetty Danfoss RA-N –patteriventtiilin rakenne ja siihen liitettävän patteritermostaatin RA2000 rakenne.

Patteriventtiilin esisäätöarvolla määritetään venttiilin virtausaukon maksimikoko. Esisäätö auttaa säätämään veden virtausta lämmityspatterin läpi ja sen ansiosta järjestelmä pystyy täyttämään vaihtelevan lämmöntarpeen, jonka on vastattava muuttuvaa lämmitystarvetta parhaan asumismukavuuden ja energiansäästön saavuttamiseksi. [7, s. 10]

3.2.2 Linjasäätöventtiili

Linjasäätöventtiilin tehtävänä on säätää patteriverkoston runkoputkistosta haarautuvan linjan vesivirtaa. Tyypillisesti asuinkerrostalon patteriverkosto muodostuu useista eri nousulinjoista. Linjasäätöventtiilien avulla saadaan verkoston kokonaisvirtaama jaettua halutusti jokaisen nousulinjan kesken. Linjasäätöventtiilit asennetaan verkoston paluupuolelle, jolloin verkosto on myös tyhjennettävissä venttiilin tyhjennesyhteistä. Tyypillisesti linjasäätöventtiilit on sijoitettu kellaritasolle, jokaisen lämpölinjan alkupäähän. Tällöin linjasäätöventtiilit ovat näkyvillä ja venttiilien säätö/mittaus on helppo toteuttaa.



Kuva 7. Oras 4100 -linjasäätöventtiili [9]

Linjasäätöventtiilin mittausyhteistä saadaan mitattua lämmönsiirtoaineena olevan nesteen paine-ero venttiilin yli. Paine-eron avulla voidaan laskea venttiilin läpi virtaavan nesteen määrä. Käytetyimpiä linjasäätöventtiileitä ovat Oraksen 4100-sarjan venttiilit (kuva 7) ja Ta:n valmistama STAD. Linjasäätöventtiilin kokoon vaikuttavat haluttu vesivirta ja

virtausvastus. Venttiin k_v -arvo kertoo venttiin läpi virtaavan vesivirran venttiin ollessa täysin (m^3/h) painehäviöllä 1 bar. K_v -arvo lasketaan yhtälöllä 1

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (1)$$

q_v on tilavuusvirta, m^3/h

Δp on painehäviö, bar

3.2.3 Lämmityspatterit

Lämmityspatterit jaetaan toimintansa perusteella radiaattoreihin tai konvektoreihin. Radiaattorit ovat levytattereita, joiden lämpöä luovuttava ulkopinta on saman suuruinen sisäpuolisen vesipinta-alan kanssa. Radiaattorin toiminta perustuu pääosin verkostossa kiertävästä kuumasta vedestä lähtevään lämpösäteilyyn. Konvektorit ovat tattereita, joiden lämpöä luovuttava ulkopinta-ala on merkittävästi sisäpuolista vesipinta-alaa suurempi. Konvektorin lämmönluovutus huoneilmaan tapahtuu pääasiassa konvektion avulla, jossa huoneilma kiertää patterin pintojen läpi ja lämpenee. Lämmityspatterin tehtävänä on luovuttaa lämpöjohtoverkossa virtaavan veden tuoma lämpö huonetilaan. [10]

Lämmityspatterit sijoitetaan tyypillisesti ikkunoiden alle, jolloin patterin luovuttama lämpö tasaa ikkunan kautta tulevaa viileää ilmaa ja poistaa vedon tunnetta. Tattereiden koko määräytyy tehontarpeen ja tilan mukaan. Lämmityspattereiden teho määräytyy patterin tyypin, verkoston lämpötilojen ja patterissa olevien levyjen lukumäärällä.

Lämmityspatterin lämmönluovutusteho voidaan laskea yhtälön (2) avulla.

$$\phi = q_v * \rho * C_p * (t_m - t_p) \quad (2)$$

ϕ on lämmönluovutusteho, W

q_v on tilavuusvirta

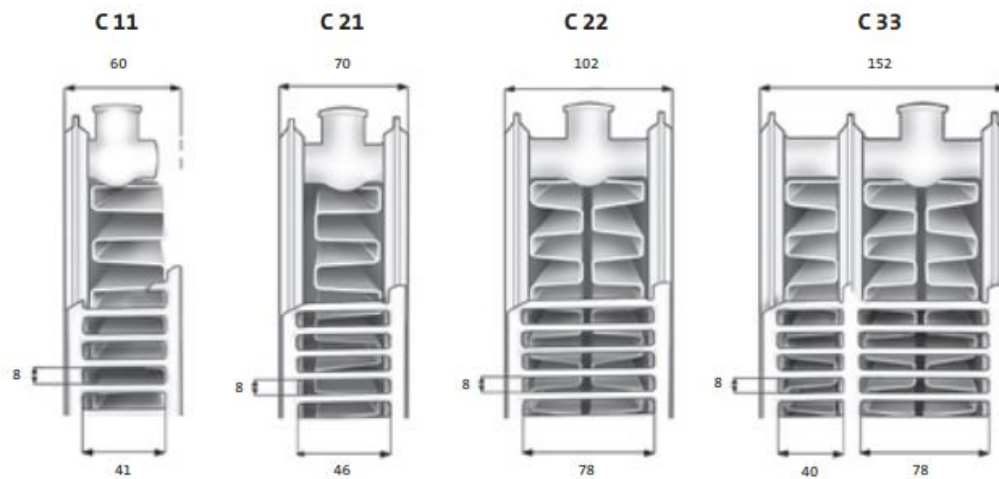
ρ on veden tiheys, 1000 kg/m^3

C_p on veden ominaislämpö kapasiteetti, $4,2 \text{ kJ/(K * kg)}$

t_m on menoveden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

t_p on paluueden lämpötila, $^{\circ}\text{C}$

RADIAATTORITYYPIT



Kuva 8. Purmo Compact –radiaattorityypit [11]

Kuvassa 8 on esitetty Purmo Compact -radiaattorityypit. Kirjain C tarkoittaa patterin mallia Compact. Ensimmäisellä numerolla viitataan levyjen määrään ja toisella numerolla konvektiolamellien määrään.

3.2.4 Lämmitysjärjestelmän kiertovesipumppu

Lämmitysjärjestelmän kiertovesipumpun tehtävänä on kierrättää patteriverkostossa olevaa vettä lämmönlähteeltä aina kauimmaiselle patterille asti. Pumpun mitoitus varten on tiedettävä lämmityspiirin mitoitusvirtaama ja painehäviöllisesti vaikeimman kiertopiiriin

kokonaispainehäviö. Yleensä lämmitysjärjestelmän pumpput ovat taajuusmuuttajalla varustettuja keskipakopumppuja. Taajuusmuuttajan avulla pumpun pyörimisnopeutta pysytetään säätämään portaattomasti, jolloin pumppu pyörii aina prosessin tarpeen mukaisella nopeudella. Taajuusmuuttajan ansiosta järjestelmän energiankulutus pienenee.

3.2.5 Paisuntasäiliö

Patteriverkostossa veden lämpötila muuttuu jatkuvasti. Paisuntasäiliön (kuva 9) tehtävänä on ottaa vastaan veden tilavuuden muutokset, jottei verkoston paine nouse yli haitallisen tason. Paisuntasäiliön avulla verkoston käytössä oleva vesimäärä pysyy samana. Yleisesti asuinkerrostaloissa paisuntasäiliöt ovat kalvopaisuntasäiliöitä. Kalvopaisuntasäiliö on jaettu vesi- ja kaasutilaan säiliön sisällä olevan kalvon avulla. Vesitila liitetään verkostoon ja kaasutila täytetään tyypellä haluttuun esipaineeseen.

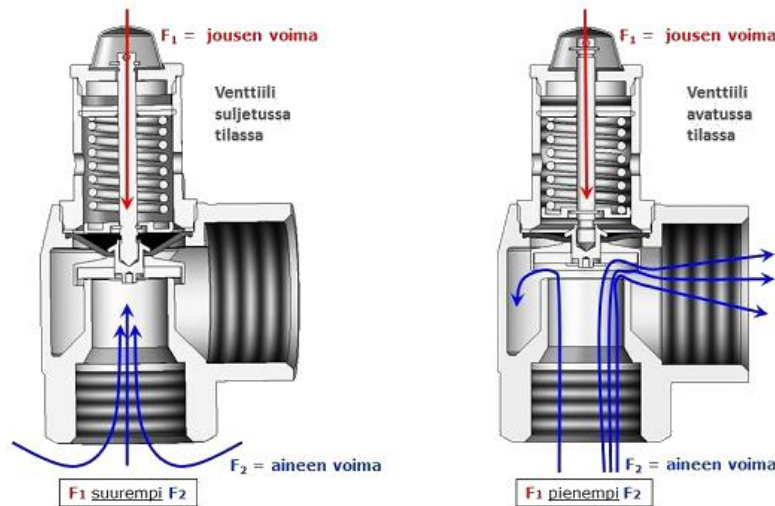


Kuva 9. Kalvopaisuntasäiliö [12]

3.2.6 Varoventtiili

Varoventtiilin tehtävänä on estää liiallisen ylipaineen kehittyminen verkostossa. Suljettussa verkostossa liiallinen ylipaine vahingoittaa verkoston osia ja aiheuttaa verkoston osien rikkoutumisen johdosta esimerkiksi vesivuotoja rakennukseen. Varoventtiilin avautumispainetta mitoitetetaan verkostossa heikoimman laitteen mukaan. Varoventtiilin koko on mitoittettava tarpeeksi suureksi, jotta venttiili ehtii riittävän nopeasti laskemaan verkostossa kehittyvää painetta.

Varoventtiilin toiminta perustuu verkoston paineeseen. Venttiili pysyy suljettuna, kunnes verkoston paine ylittää varoventtiilin avautumispaineen. Paineen ylittyessä varoventtiili päästää verkostossa kiertävää nestettä tai kaasua ulos, kunnes verkoston paine on laskenut alle varoventtiilin avautumispaineen. Varoventtiilistä johdetaan ulospuhallusputki tilassa olevan lattiakaivon läheisyyteen, jolloin purkautuvasta aineesta ei aiheudu vaaraa ihmisille tai laitteille.



Kuva 10. Varoventtiilin toiminta [27]

Yleisimmin käytetyt varoventtiilit ovat jousikuormitteisia. Prosessin aiheuttama voima painaa varoventtiilissä olevaa sulkukeilaa ylöspäin ja jousen voima sulkukeilaa taas alaspäin. Kun prosessin aiheuttama voima kasvaa suuremmaksi kuin alaspäin painavan jousen voima, varoventtiili aukeaa. Kuvassa 10 on kuvattu varoventtiilin toimintaperiaate.

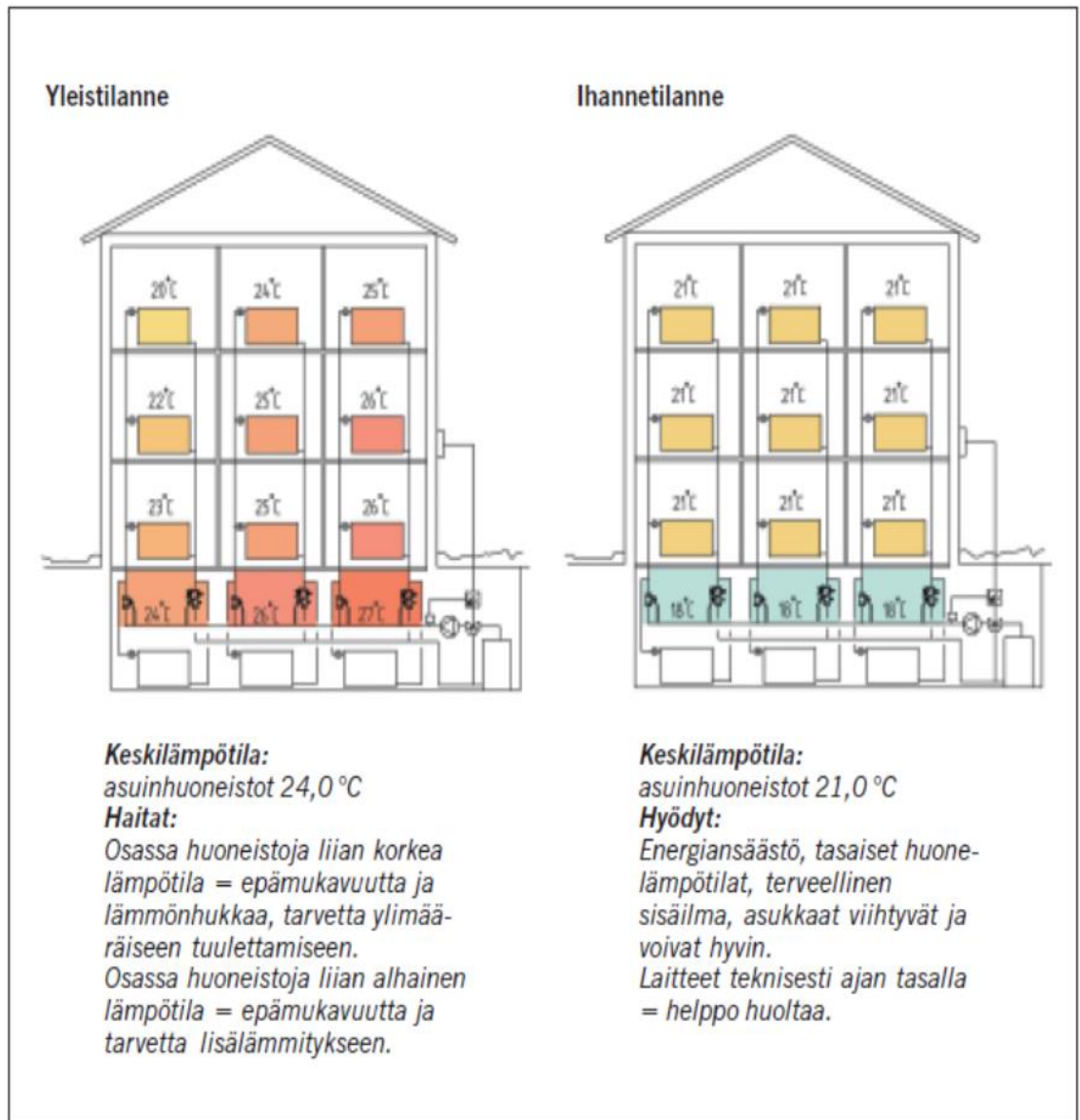
4 Patteriverkoston perussäätö

4.1 Perussäädön tavoite

Patteriverkoston perussäätö on toimenpide, jossa lämmitysverkoston vesimäärät suunnitellaan ja säädetään siten, että jokaiselle lämmityspatterille virtaa riittävä määrä vettä. Patteriverkoston perussäätö jakautuu verkoston tasapainotuksen suunnitteluun, vesivirtojen säätöön, lämpötilojen tarkistusmittauksiin ja takuuajaiseen säätöön.

Patteriverkoston perussäädön tavoitteena on tuottaa rakennukseen mahdollisimman tasaiset lämpötilat huoneistojen välille. Lisäksi perussäädöllä haetaan kiinteistön lämmitysenergian kulutuksen vähentymistä. Tasaamalla rakennuksessa huoneistojen väliset lämpötilaerot tasaiseksi säästetään lämmityskustannuksissa ja luodaan jokaiseen huoneistoon viihtyisät ja terveelliset asuinolot. Perussäädöllä varmistetaan, että verkoston vesi kiertää jokaisen lämmityspatterin kautta ja lämmitys jakautuu tasaisesti talon eri osissa. [20]

Tyypillisesti perussäätämättömissä rakennuksissa lähimpänä lämmönlähdettä olevissa huoneistoissa lämpötila on turhan korkea, minkä vuoksi huoneistoa tuuletetaan avaamalla ikkunoita, jotta lämpötila saadaan laskettua viihtyisälle tasolle. Kauimmaisiin huoneistoihin taas lämpöä ei välttämättä riitä, ja toimenpiteenä yleensä on lämpökäyrän nostaminen, jotta huoneiston lämpötila saadaan halutulle tasolle. Tämä johtaa siihen, että rakennusta lämmitetään kauimmaisen huoneiston tarpeen mukaan (kuva 11), jolloin muiden huoneistojen lämpötilat ovat turhan korkeat ja näissä huoneistoissa lämpöä hukataan avaamalla ikkunoita. Turha lämmittäminen lisää rakennuksen energiankulutusta ja aiheuttaa lisäksi epämukavat asuinolosuhteet.

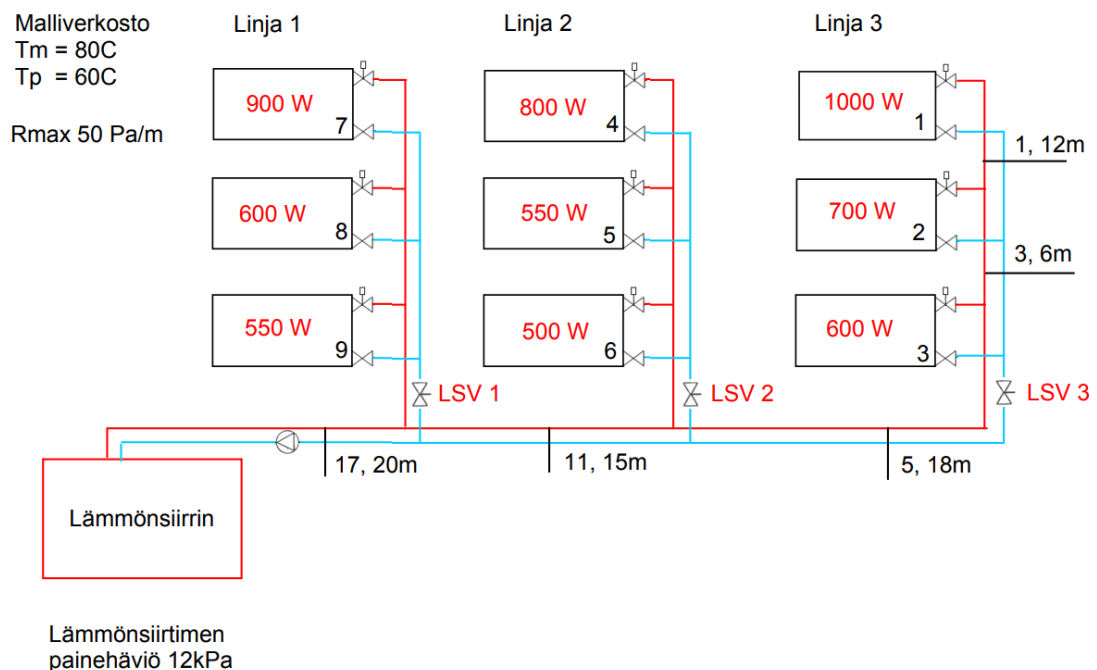


Kuva 11. Tyypillinen tilanne ennen perussäätöä ja tilanne perussäädön jälkeen

4.2 Verkoston tasapainotus

Patteriverkoston tasapainotuksen tarkoituksena on saattaa verkoston eri osissa sijaitsevat lämmityspatterit samalle paine-erotasolle, jolloin verkostossa lämmitys tapahtuu tasanaisesti koko rakennuksessa. Verkoston nousulinjat tasapainotetaan keskenään nousulinjoihin asennettujen linjasäätöventtiilien avulla. Nousulinjan sisällä olevat lämmityspatterit asetetaan tasapainoon patteriventtiilien avulla.

Verkoston tasapainotuksen ensimmäinen vaihe on määrittää painehäviöllisesti verkoston vaikein reitti. Tällä reitillä painehäviöt ovat verkostossa suurimmat. Painehäviötä verkostossa aiheuttavat putkiston kitkapainehäviö, liitososat (käyrät, haarat, supistukset) ja venttiilit (linjasäätöventtiilit, patteriventtiilit). Käytännön kokemusten ja tutkimusten perusteella hyvään lopputulokseen tasapainotuksen ja äänitekniikan kannalta päästää, jos putkisto mitoitetaan siten, että kitkapainehäviö metriä kohden on enintään 50 Pa/m [6 s.147].



Kuva 12. Verkoston tasapainotuksen malliverkosto

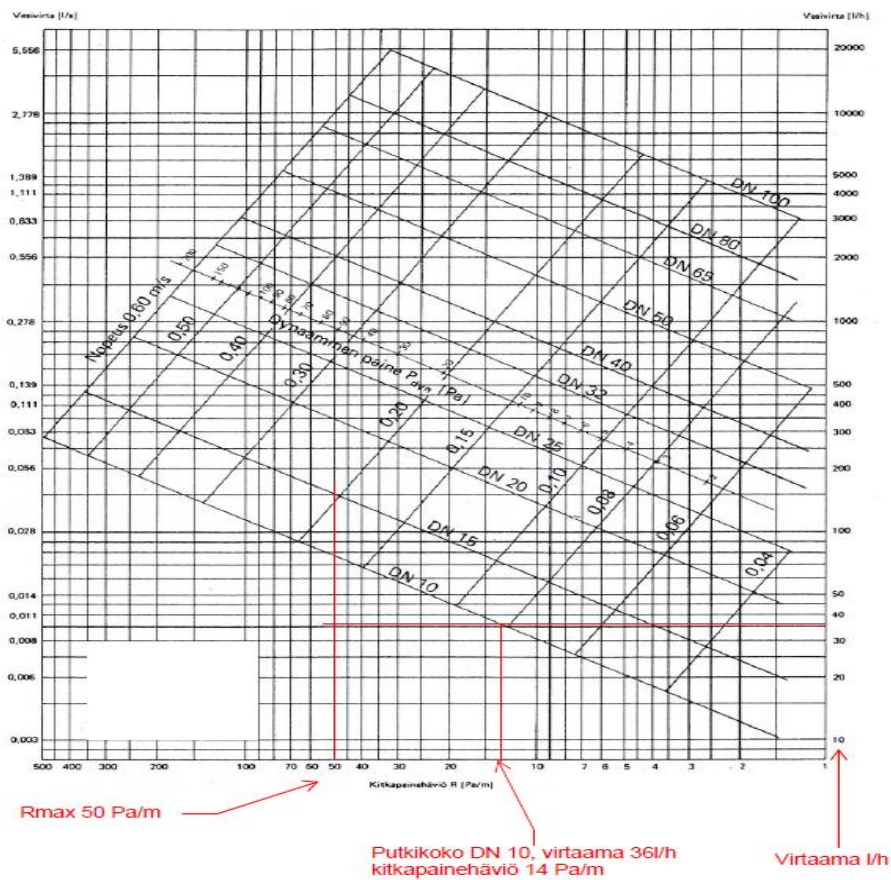
Jokainen lämmityspatterit muodostaa oman kiertopiirin ja jokainen kiertopiiri muodostuu useasta putkiosuudesta (kuva 12). Lämmityspattereille on annettu teho watteina. Tehon avulla lasketaan virtaama jokaiselle patterille yhtälöllä (3).

$$q_v = \frac{\phi}{c_p \cdot \rho \cdot \Delta T} \quad (3)$$

| | |
|------------|--|
| q_v | on virtaama, l/s |
| ϕ | on lämmityspatterin teho, W |
| c_p | on veden ominaislämpökapasiteetti, kJ/kgK |
| ρ | on veden tiheys, 1000kg/m ³ |
| ΔT | on Verkoston meno- ja paluveden lämpötilaero, °C |

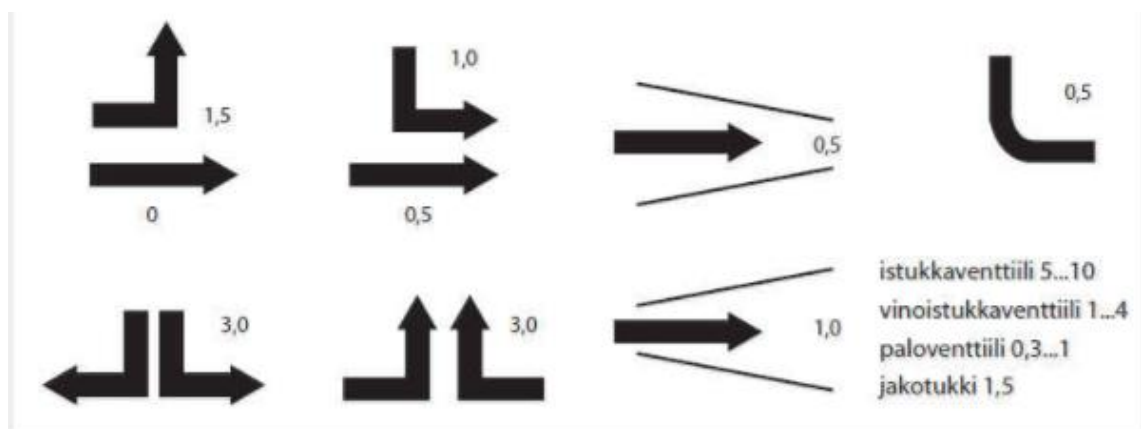
Yhtälön 3 avulla saamme tulokseksi virtamaan arvon l/s. Tämä muutetaan arvoon l/h kertomalla l/s luku 3 600:lla. Tämä yksikön muunnos helpottaa teräsputkien mitoitusdiagrammin käyttöä. Kun tiedetään virtaama jokaisella putkiosuudella, voidaan määrittää osuuden putkikoko käyttäen teräsputken mitoitusdiagrammia (kuva 13). Malliverkossossa putken mitoitettu maksimikitkapainehäviöllä 50 Pa/m.

Teräsputkien mitoitusdiagrammi



Kuva 13. Teräsputken mitoitusdiagrammi [28]

Putkiosuuden aiheuttama kitkapainehäviö lasketaan kertomalla teräsputkien mitoitusdiagrammista saatu kitkapainehäviö R putkiosuuden pituudella l . Toinen putkiosuudella painehäviötä aiheuttava tekijä on putkiston osat (kulmat, haarat, venttiilit). Putkiston eri osille on esitetty kuvassa 14 kertavastusarvot. Esimerkissä verkoston tasapainotuksessa käytetään patterin meno- ja paluupuolen venttiileille yhteistä kertavastusarvoa 3. Kertavastusten aiheuttama painehäviö lasketaan yhtälöllä 4. Yhtälössä esiintyvä veden nopeus putkessa lasketaan yhtälöllä 5.



Kuva 14. Verkoston osien kertavastusarvot

$$\Delta p = \sum \xi * \frac{\rho v^2}{2} \quad (4)$$

Δp on kertavastusten aiheuttama painehäviö (Pa)

$\sum \xi$ on kertavastusten summa

ρ on veden tiheys, 1000 kg/m^3

v on veden nopeus putkessa, m/s

$$V = \frac{4 \cdot q_v}{\pi \cdot d_s^2} \quad (5)$$

v on veden nopeus putkessa, m/s

q_v on tilavuusvirta, m³/s

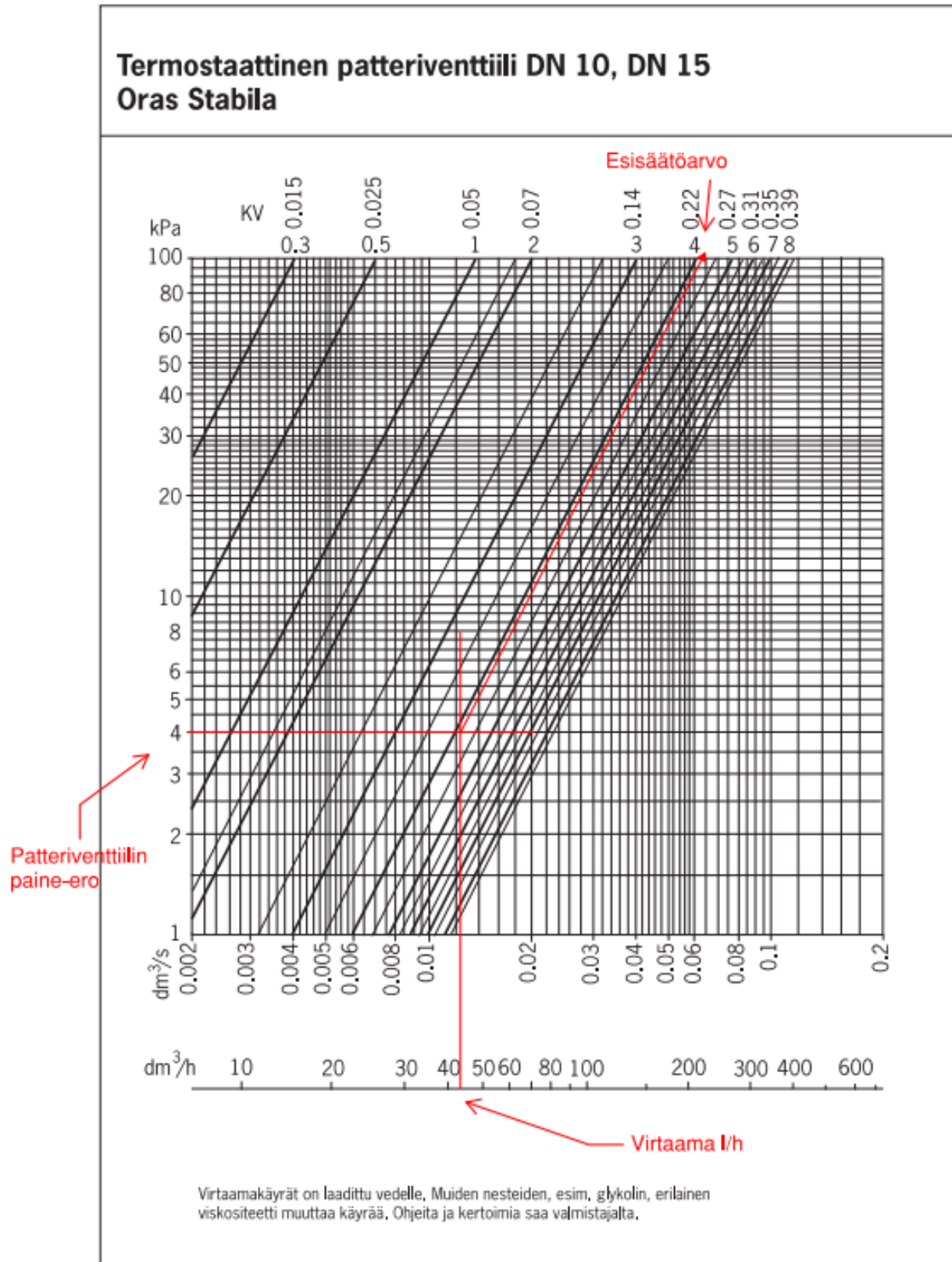
d_s on putken sisähalkaisija, m

Putkiosuuden kokonaispainehäviö saadaan laskemalla yhteen kitkavastusten ja kerta-
vastusten aiheuttamat painehäviöt. Kun jokaisen putkiosuuden painehäviö on tiedossa,
lasketaan jokaisen kiertopiirin kokonaispainehäviö. Kiertopiirin painehäviö lasketaan li-
säämällä jokaisen kiertopiiriin vaikuttavan putkiosuuden painehäviöt yhteen. Esimerk-
kinä malliverkoston kiertopiiri P1, jonka kokonaispainehäviöön lasketaan putkiosuuksien
17, 11, 5, 3 ja 1 painehäviöt.

Kun jokaisen kiertopiirin painehäviö on laskettu, tasapainotetaan linjan sisällä olevat kier-
topiirit keskenään tasapainoon patteriventtiilien avulla. Linjan sisällä vaikeimman kiertopiirin
patteriventtiilille asetetaan paine-ero 4 kPa, esimerkissä linjan 3 vaikein kiertopiiri
on P1. P2:n kiertopiirin patteriventtiilille asetettava paine-ero saadaan laskettua vähentämällä
P1:n kiertopiirin käytettävissä olevasta paine-erosta (4,251 kPa) P2:n kytkentä-
johtojen paine-ero (0,042 kPa). P2:n patteriventtiilille asetettava paine-ero on tällöin
4,209 kPa. Samalla kaavalla käydään läpi jokainen patteriventtiili verkostossa.

Seuraava vaihe tasapainotuksessa on tasapainottaa linjat keskenään linjasäätöventtiili-
leiden avulla. Vaikeimman linjan linjasäätöventtiilille asetetaan paine-eroksi 3 kPa. Mal-
liverkostossa painehäviöllisesti vaikein linja on linja 3. Linjan 2 linjasäätöventtiilin paine-
ero saadaan laskettua vähentämällä linjan 3 + LSV 3 kokonaispainehäviöstä linjan 2
painehäviö (20,8 kPa – 17,3 kPa = 3,5 kPa). Samalla kaavalla lasketaan linjan 1 linjasäätö-
venttiilin paine-ero.

Kun verkosto on tasapainotettu, määritetään patteri- ja linjasäätöventtiileille esisäätöar-
vot toimittajan säätökäyrien mukaisesti. Kuvassa 15 on esitetty Oras Stabila patterivent-
tiilin säätökäyrä ja oikean esisäädön valinta säätökäyrästä. Oraksen venttiileissä esisää-
töarvot määritetään 0,5:n välein. Mikäli säätökäyrästä saatu arvo on esimerkiksi 4,2,
valitaan esisäätöarvoksi seuraava suurempi koko eli tässä tapauksessa 4,5.



Kuva 15. Oras Stabila -patteriventtiilin säätökäyrä [16]

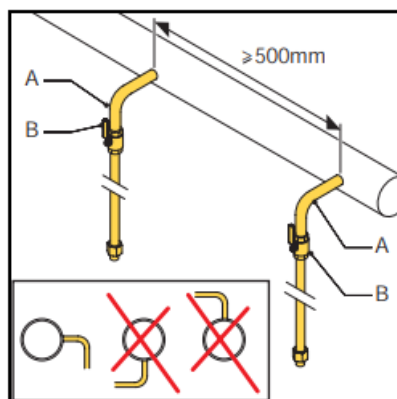
4.3 Toteutusvaihe

Saneerauskohteissa patteriventtiilit ovat usein vanhoja ja linjasäätöventtiilit saattavat puuttua kokonaan. Ensimmäinen vaihe, jotta perussäätö pystytään toteuttamaan, on vaihtaa uudet patteri- ja linjasäätöventtiilit. Vaihtotyön yhteydessä uusiin patteriventtiileihin asetetaan suunnitelman mukaiset esisäätöarvot. Patteriventtiilin termostaattiosia ei kiinnitetä tässä vaiheessa, jotta tulevat virtausmittaukset voidaan tehdä luotettavasti. Patteri- ja linjasäätöventtiilien vaihdon yhteydessä verkosto yleensä tyhjennetään, joten asennusten jälkeen verkosto tulee täyttää uudestaan ja täytön yhteydessä ilmata huolellisesti.

Patteriverkoston täyttö ja ilmaus tehdään vesijohtovedellä. Ensimmäiseksi täytetään ja ilmataan runkoputkisto, minkä jälkeen täytetään ja ilmataan jokainen pystylinja erikseen. Kun putkisto on täytetty ja ilmattu, ilmataan jokainen lämmityspatteri. Täytön ja ilmaustyön jälkeen verkoston lämpötila nostetaan +70 °C ja kiertopumpun annetaan käydä normaalisti. Tavoitelämpötilaan päästyä annetaan kiertopumpun käydä n. 2 tuntia. Tämän ajan jälkeen pumppu pysäytetään ja verkoston annetaan tasaantua esimerkiksi seuraavaan aamuun asti.

Verkostoon jää yleensä ilmaa, vaikka ilmaus olisi suoritettu. Manuaalisen ilmauksen jälkeen verkostoon voidaan asentaa koneellinen alipaineilmanpoistin. Alipaineilmanpoistin asennetaan verkostoon kohtaan, jossa lämpötilat ovat matalimmat. Useimmat liuenneet kaasut sijaitsevat tässä kohdassa. Toiminnan aikana alipaineilmanpoistimen pumppu imee kiertopiiristä nestettä. Ajastettu magneettiventtiili sulkeutuu ja aiheuttaa pumpun ansiosta alipaineen, joka muuttaa liuenneessa muodossa olevan ilman ilmakupliksi, jotka poistuvat ilmanpoistimen kautta. Hyvin ilmaantunut vesi pumpataan takaisin järjestelmään. Toiminta jatkuu, kunnes ilmaa ei enää poistu [25]. Kuvassa 16 on esitetty alipaineilmanpoistimen asennusesimerkki.

Mekaaninen



1. Tee kaksi haarajohtoa ¼" (A) meno/paluuuyhteille. Niiden välisen etäisyyden pitää olla vähintään 500 mm.
2. Asenna venttiili (B) kumpaankin haarajohtoon. Laitteen paine voidaan päästää siitä.

Kuva 16. Alipaineilmanpoistimen asennus [24]

Kun verkostossa patteriventtiilien esisäätöarvot on aseteltu ja verkostosta ylimääräinen ilma poistettu, voidaan suorittaa virtausmittaukset. Mittaus suoritetaan linjasäätöventtiilien mittausyhteistä mittalaitteen avulla. Mittauksen tärkein tehtävä on varmistaa jokaiseen linjaan riittävä suunnitelmien mukainen virtaama. Haluttu virtaama saadaan muuttamalla linjasäätöventtiilin esisäätöarvoa. Virtausmittaukset voidaan suorittaa ulkoilmanlämpötilasta riippumatta ja mittauksista laaditaan pöytäkirja. Mittauspöytäkirja lähetetään kohteen LVI-suunnittelijalle hyväksyttäväksi. Virtausmittausten jälkeen pattereiden termostaattiosat asennetaan paikoilleen ja säädetään lämmitysjärjestelmän säätökäyrä, jolla varmistetaan menoveden oikea lämpötila ulkoilman lämpötilaan nähden. [14]

Seuraava vaihe on huonelämpötilojen mittaukset, jotka tehdään pakkaskaudella vuorokauden keskilämpötilan ollessa alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpötilamittauksista tulee tiedottaa asukkaita hyvissä ajoin ja muistuttaa, että asuntoja ei saa tuulettaa mittausten aikana, jotta mittaus tulokset ovat luotettavat. Lämpötilamittaukset alkavat patteritermostaattien irroituksella, jonka jälkeen annetaan verkoston tasaantua vuorokauden ajan. Tämän jälkeen mitataan jokaisen huoneiston lämpötilat. Mittausten jälkeen työstä laaditaan mittauspöytäkirjat, jotka toimitetaan LVI-suunnittelijalle ja tilaajalle kommentoitavaksi. Hyväksytyjen mittaustulosten jälkeen voidaan termostaattiosat asentaa takaisin paikoilleen. Mikäli säädöissä on korjattavaa, korjaukset säätöihin tehdään suunnittelijan ohjeiden mukaan. Korjausten jälkeen huoneistot mitataan uudestaan ja todetaan, korjaantuivatko lämpötila-

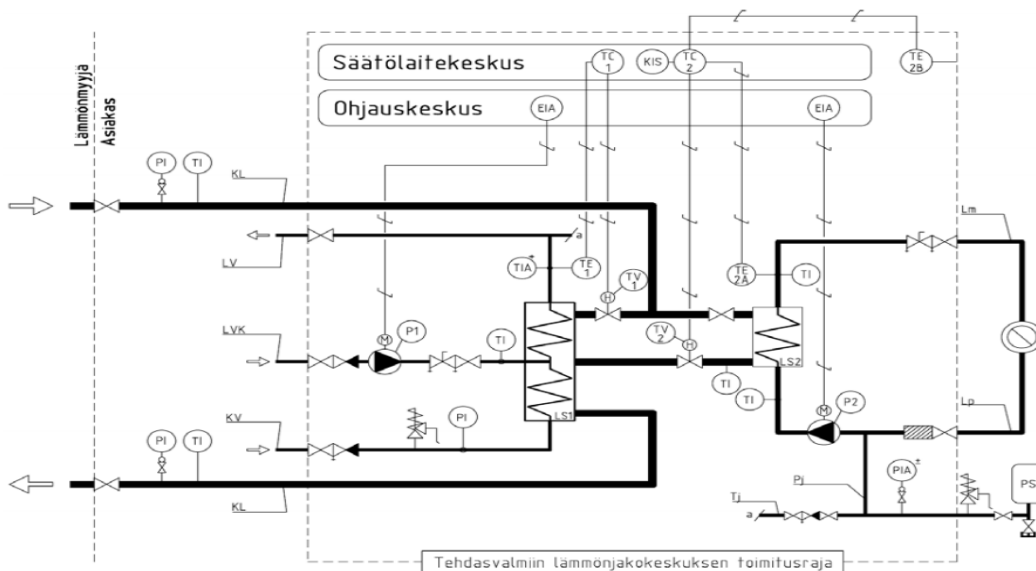
erot. Tämän jälkeen perussäädön kaikki dokumentit toimitetaan tilaajalle. Verkoston toimintaa seurataan, ja takuuajana urakoitsija on velvollinen tekemään verkostoon mahdollisia korjauksia.

5 Kaukolämmön lämmönjakokeskus

5.1 Kaukolämmön lämmönjakokeskuksen toiminta

Kiinteistön lämmönjakokeskus on lämpölaitoksen mittauskeskukseen, käyttövesi- ja lämmitysverkostoihin sekä paisuntalaitteisiin liitettävä laitekokonaisuus, joka sisältää lämmönsiirtimet, ensiöpuolen ja mahdollisesti toisiopuolen säätölaitteet, pumppauslaitteet, venttiilit ja varusteet sekä tarvittavan putkiston [6, s. 271].

Kaukolämmön kuluttajat kytketään kaukolämpöverkkoon lämmönjakokeskuksella olevien lämmönsiirtimien välityksellä. Kytkenämuoto on ns. epäsuora kytkentä, jossa kaukolämpöverkon ja kiinteistön verkoston vedet eivät sekoitu keskenään. Epäsuoran kytkennän hyödyt ovat: hyvä kaukolämpöveden jäähtymä, toisiopuolen vuodot eivät häiritse kaukolämpöverkon toimintaa, ensiö- ja toisiopuolella erilliset painetasot helpottavat laitteen hallintaa ja mitoitus. [6, s.271.]



Kuva 17. Kaukolämmön välisyöttökytkentä [13, s.34]

Kuvan 17 kytkennässä lämmitysverkoston lämmönsiirtimeltä palaava kaukolämpövesi kiertää käyttöveden siirtimen läpi, jolloin kaukolämmön jäähtymä paranee. Välisyöttökäytäntää käytetään, kun käyttövesiteho on yli 120 kW ja lämmitysverkoston lämmönsiirtimeltä palaavan kaukolämpöverkoston veden lämpötila yli 45 °C [13, s. 29–30].

Kaukolämmön lämmönjakokeskuksella lämmönsiirtimien läpi virtaavan kaukolämpöveden määrää säädetään moottoritoimisilla säätöventtiileillä TV1 ja TV2. Säätöventtiiliä TV1 ohjataan säätökeskukselta TC1. Säätökeskus TC1 ohjaa säätöventtiiliä lämpötila-anturin TE1 mittausarvon mukaisesti. Säätökeskukselle on määritetty asetusarvo verkostoon lähtevän lämpimän käyttöveden lämpötilasta, joka on 58 °C.

Lämmitysverkoston lämpötilan säätö tapahtuu säätöventtiilillä TV2. Säätöventtiiliä TV2 ohjataan säätökeskukselta TC2. Säätökeskus ohjaa säätöventtiiliä menoveden lämpötila-anturin TE2A ja ulkoilman lämpötila-anturin TE2B mittausarvojen perusteella pitäen lämmitysverkoston menoveden lämpötilan säätökeskuksen asetusarvon mukaisena [13, s. 34].

Säätöventtiili TV1 avautuu vasta silloin, kun lämmitysverkoston lämmönsiirtimeltä palaava kaukolämpövesi ei riitä lämmittämään lämmintä käyttövettä riittävän korkeaan lämpötilaan.

5.2 Lämmönjakokeskuksen uusiminen linjasaneerauksen yhteydessä

Kaukolämpölaitteiden käyttöikä on noin 20–25 vuotta. Laitteiden luotettavuus heikkenee oleellisesti yli 20 vuoden iässä ja samalla käyttö- ja ylläpitokustannukset kasvavat. Yli 20 vuotta vanhaan lämmönjakokeskukseen ei kannata uusita yksittäisiä laitteita vaan tehdä uusinta kokonaisuusintana. Lämmönjakokeskuksen toimivuutta voi tarkastella kaukolämpöverkoston meno- ja paluueden lämpötilaerosta. Mitä suurempi lämpötilaero on, sitä paremmin lämmönjakolaitteet toimivat. Jäähtymän tulisi olla kesäisin vähintään 25 °C ja lämmityskaudella 40–70 °C.

Kaukolämpösuunnitelmat ovat osa LVI-suunnitelmia linjasaneerauksessa. Kaukolämpösuunnitelmissa esitetään kaukolämpöön liitettävän rakennuksen lämmitystekninen mitoitus ja asennussuunnitelmat niiltä osin kuin ne liittyvät kaukolämpölaitteiden valintaan ja asennukseen. Kaukolämpösuunnitelmat sisältävät seuraavat tiedot, joita eri osapuolet tarkentavat työn aikana [13, s. 44]:

- Lämmitystekniset tiedot
- Toisioverkoston mitoitus
- Lämmönjakokeskuksen mitoitus
- Lämmityspiirien toiminta-arvot
- Toimintakuvaukset
- Lämmönjakohuoneen pohjakuva (laitteiden sijoitus)
- Kytkenät.

Valmiit kaukolämpösuunnitelmat hyväksytetään lopuksi lämmönmyyjällä. Lämmönjakokeskuksen toimitusajat ovat keskimäärin n. 6–8 viikkoa. Toimitusaika on muihin alan tarvikkeisiin verrattuna pitkä, joten suunnitelmassa kaukolämmön alajakokeskuksen vaihtoa tulee toimitusaika ottaa huomioon.

5.3 Asennusvaihe

Ennen varsinaisten asennustöiden alkua lämmönjakohuoneesta tehdään asbestivapaa tila purkamalla vanhojen putkistojen asbestieristeet. Asbestipurku tehdään myös lämmönmyyjän putkien ja laitteiden osalta, joten asiasta tulee olla yhteydessä ennen purkutöiden aloitusta lämmönmyyjään. Samalla voidaan sopia kustannusten jakamisesta ja uudelleeneristämisestä ensiöpuolen osalta. Lämmönjakokeskuksen vaihdosta aiheutuu

käyttöveden ja lämmitysverkoston käyttö katkot. Lämmönjakokeskuksen vaihdosta tiedotetaan asukkaita hyvissä ajoin, jolloin asukkaat osaavat varautua vaihtotyön aiheuttamiin katkoksiin.

Laitteiden sijoittelussa tulee ottaa huomioon tarvittavat huoltotilat lämmönjakokeskukselle ja lämmönmyyjän mittauskeskukselle. Mittauskeskuksen eteen on varattava vapaata huoltotilaa 800 mm koko mittauskeskuksen pituudelta ja huoltotilan korkeuden on oltava vähintään 2 000 mm. Lämmönjakokeskuksen huoltoa tarvitseville sivuille jätetään vapaata huoltotilaa vähintään 600 mm [13, s. 5].

Lämmönjakokeskuksen vaihtotyö aloitetaan sulkemalla kaukolämpöverkon venttiilit, purkamalla sähköt vanhalta lämmönjakokeskukselta ja tyhjentämällä verkostot. Toisiopuolen verkostojen tyhjennys ei ole välttämätöntä, mikäli verkoston sulkuventtiilit toimivat. Vanha lämmönjakokeskus puretaan ja uusi lämmönjakokeskus asennetaan paikalleen. Uusi lämmönjakokeskus on syytä kantaa lämmönjakohuoneeseen valmiiksi, jos tilat vain sen sallivat. Vanhoissa taloissa lämmönjakokeskuksien haalaaminen lämmönjakohuoneeseen voi olla yllättävän haastavaa ja joskus jopa mahdotonta ilman rakenteiden avaamista.

Kun uusi lämmönjakokeskus on saatu paikalleen, aloitetaan putkityöt. Lämmönjakokeskuksen uusimisessa putkitöihin kuuluu mm.

- kaukolämmön meno- ja paluuputkiston venttiilien, painemittareiden, lämpömittareiden ja tyhjennysten uusiminen
- kaukolämpöputkiston liittäminen lämmönjakokeskukselle
- uusitun kaukolämpöputkiston koepaineistus (dokumentoidaan)
- kiinteistön käyttövesi- ja lämmitysverkoston kytkentä lämmönjakokeskukselle
- lämmitysverkoston paisunta- ja varolaitteiden (paisuntasäiliö, varoventtiilit) asennus
- verkostojen uudelleen täyttö, mikäli tyhjennetty
- verkostojen ilmaus.

Asennustöiden valmistuttua säätölaiteurakoitsija tekee säätölaitteiden virityksen ja toimintakokeen, josta dokumentiksi jää virityspöytäkirja. Urakoitsija tilaa töiden valmistuttua lämmönmyyjältä lopputarkastuksen. Lopputarkastuksessa tarkastetaan seuraavia asioita [13, s. 48] :

- Asbesti-ilmoitus tehty
- Kytkenät suunnitelmien mukaiset
- Laitteiden käyttö- ja huoltotilat
- Säätölaitteet suunnitelman mukaiset
- Pumput suunnitelman mukaiset
- Tarvittavat ilmanpoistot ja tyhjennykset
- Tarvittavat lämpö- ja painemittarit
- Paisuntajärjestelmä ja varolaitteet suunnitelman mukaiset ja toimintakuntoisia
- Putkiasennukset, venttiilit ja putkiliitokset
- Lämmönjakohuoneen vesipiste, viemärointi, valaistus ja ilmanvaihto
- Tiiviyskoe hyväksytty
- Kulkureitti lämmönjakohuoneeseen
- Ulkolämpötilan mittausanturin oikea sijoitus
- Säätölaitteiden oikea toiminta ja virityspöytäkirja
- Eristystyö tehty
- Kytkenäkaavio lämmönjakohuoneessa
- Laitteiston ja putkistojen merkinnät
- Laitteiston käytönopastus ja käyttöohjeet.

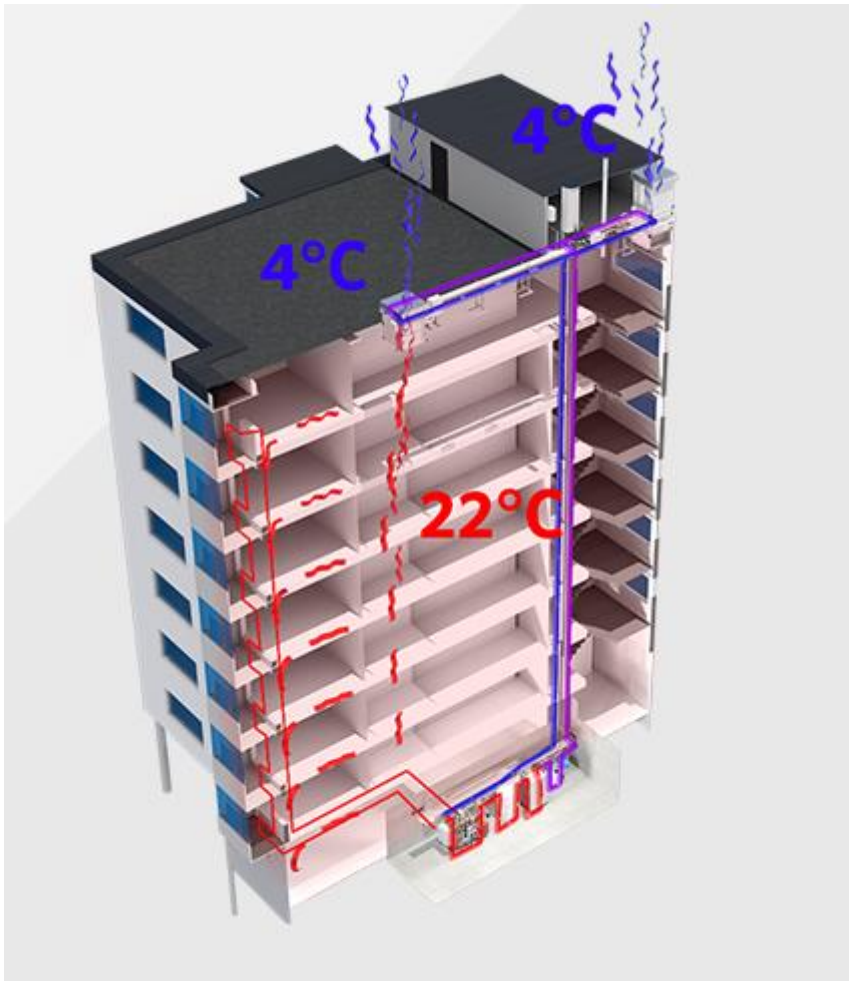
Mikäli lämmönmyyjän tekemässä tarkastuksessa havaitaan puutteita, voidaan määrätä pidettäväksi uusintatarkastus. Lämmönmyyjä katsoo rakennuksen kaukolämpölaitteiden asennustyön valmistuneeksi, kun lämmönmyyjällä on siitä hyväksytty valmistuspöytäkirja liitteineen [13, s. 48].

6 Esimerkkikohde

6.1 Lähtötiedot

Esimerkkikohde on 1960-luvulla rakennettu kahden asuinkerrostalon muodostama taloyhtiö. Kohteessa suoritettiin linjasaneeraus 5/2017–12/2017. Linjasaneerauksen yhteydessä lämpöverkoston uusittiin patteri- ja linjasäätöventtiilit, talojen väliset lämpöjohdot sekä kaukolämmön jakokeskus. Ilmanvaihtojärjestelmään rakennettiin lämmöntalteenottojärjestelmä, joka integroitiin lämmönjakokeskukseen. Kumpikin rakennus koostuu kahdeksasta asuinkerroksesta, kellarikerroksesta sekä ullakkokerroksesta. Asuntoja on yhteensä 64 kpl. Lämmönjakokeskus sijaitsee toisen talon kellarikerroksessa lämmönjako- huoneessa, ja se palvelee kumpaakin rakennusta.

Vanha lämmönjakokeskus oli uusittu vuonna 1989, joten se oli jo käyttöikänsä päässä. Lämmitysverkoston meno- ja paluuveden mitoituslämpötilat olivat 60/80 °C. Lämmityspatterien yhteenlaskettu lämmitysteho 275 kW ja lämmönsiirtimen teho 300 kW. Uudet esisäädettävät patteriventtiilit mallia Danfoss RA-N ja patteritermostaatit Danfossin RA 2977. Uusi lämmönjakokeskus, johon yhdistettiin lämmöntalteenottojärjestelmän laitteet, tilattiin Högfors GST Oy:ltä. Kuvassa 18 on havainnekuva lämmöntalteenottojärjestelmästä.



Kuva 18. LTO, havainnekuva [17]

Poistoilmalämpöpumpun avulla rakennuksen poistoilmasta saadaan lämpöenergia talteen ja hyödynnetään uudestaan lämmitysverkoston ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen. Aiemmin poistoilma on puhallettu suoraan ulos ilman lämmöntalteenottoa, jolloin jopa 30–40 % kiinteistön käyttämästä lämmitysenergiasta hukataan taivaalle. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä soveltuu rakennuksiin, joissa on koneellinen poistoilmanvaihto ja vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä. Lämmöntalteenottojärjestelmä ei yksinään riitä kattamaan kaikkea rakennuksen tarvitsemaa lämpöenergiaa, joten sen rinnalle tarvitaan päälämmönlähde esimerkiksi kaukolämpö. Suunniteltaessa järjestelmän soveltuvuutta kohteeseen ja laskettaessa taloudellisia hyötyjä kohteesta tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- Lämmitettävä ala (m²)

- Rakennustilavuus (m³)
- Lämpöenergian kulutus
- Veden ja sähkön kulutustiedot
- Poistoilmakoneen tilavuusvirta.

LTO-järjestelmän ansioista toimittajat lupaavat jopa 30–40 % vuotuisia säästöjä lämmityskustannuksissa. Lisäksi energialuokan parantuminen nostaa kiinteistön arvoa. Järjestelmän takaisinmaksuajaksi luvataan kohteesta riippuen n. 10–15 vuotta.

6.2 Toteutus

6.2.1 Patteriverkoston perussäätö

Patteriverkoston perussäädön toteutus alkoi patteriventtiilien vaihdolla. Uudet esisäädettävät patteriventtiilit asennettiin asunnon ollessa työn alla. Patteriventtiilien vaihtoa varten kyseinen lämpölinja suljettiin ja tyhjennettiin vaihtotöiden ajaksi. Vaihtotyön yhteydessä uusiin patteriventtiileihin asetettiin suunnitelmien mukaiset esisäätöarvot.

Kun verkoston patteri- ja linjasäätöventtiileiden uusimistyö oli saatu suoritettua ja verkosto täytettyä/ilmattua huolellisesti, voitiin suorittaa lämpöverkon virtausmittaukset. Ennen virtausmittauksia tulee tarkastaa vielä seuraavat asiat:

- mudanerotin, puhdistettu
- patterien sulkuyhdistäjät, avattu
- esisäätöarvot, asetettu
- termostaatit/suojahatut, poistettu
- linjasäätöventtiilit ja sulut, avattu

- lämmitysverkoston pumpun virtaama, asetettu oikeaksi.

Virtausmittauksissa mitattiin jokaisen lämpölinjan virtaama ja paine-ero linjasäätöventtiilien mittausyhteistä. Mittalaitteena käytettiin TA-Scope-vesivirtamittaria. Mittauksista laadittiin pöytäkirja, johon kirjattiin seuraavat asiat:

- Kohteen tiedot, mittaus päivämäärä ja mittaja
- Mitatun linjasäätöventtiilin sijainti, koko ja malli
- Suunnitelmien mukainen esisäätöarvo
- Suunnitelmien mukainen virtaama (l/s)
- Mitattu virtaama (l/s)
- Lopullinen esisäätöarvo
- Linjasäätöventtiilin paine-ero (kPa)
- Kiertovesipumpun tyyppi ja nostokorkeus.

| LJ-Verkosto | | Esimerkkikohde | | 15.12.2017 | | | Meno | 45,9 | Pumppu Wilo Stratos 40/1-12 |
|-----------------|--------|------------------|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|---------------|------|-----------------------------|
| Talo 1 | | Ukolämpötila 1,3 | | | | | Paluu | 39 | h=9,2m Vakionopeus |
| Sijainti | Tyyppi | DN | Suunniteltu esisäätö | Suunniteltu virtaama l/s | Mitattu virtaama l/s | Tarkistettu esisäätö | Paine-ero kPa | | |
| LJ / piha | Oras | 50 | 1,6 | 0,87 | 0,924 | 4 | 37,6 | | |
| LJ / katu | Oras | 50 | 1,4 | 0,75 | 0,747 | 3 | 55,1 | | |
| L1 | Oras | 32 | 1,6 | 0,27 | 0,256 | 8,5 | 0,728 | | |
| L2 | Oras | 32 | 1,9 | 0,22 | 0,202 | 8 | 0,589 | | |
| L3 | Oras | 32 | 1,3 | 0,14 | 0,138 | 3,5 | 6,1 | | |
| L4 | Oras | 32 | 2 | 0,23 | 0,225 | 10 | 0,311 | | |
| L7 | Oras | 32 | 2 | 0,23 | 0,214 | 7,5 | 0,874 | | |
| L8 | Oras | 32 | 0,5 | 0,04 | 0,043 | 1 | 5,5 | | |
| L9 | Oras | 32 | 1,3 | 0,205 | 0,225 | 5,5 | 3,66 | | |
| L10 | Oras | 25 | 1,7 | 0,13 | 0,12 | 8,5 | 0,391 | | |
| L11 | Oras | 32 | 1,5 | 0,16 | 0,165 | 8 | 0,391 | | |
| Kokonaisvirtaus | staf | 65-2 | | | 3,18 | 8 | 1,81 | | |

Kuva 19. Virtausmittauspöytäkirja, lämmitysverkosto

Kuvan 19 mittauspöytäkirjasta voidaan huomata, että suunnitellut esisäätoarvot olivat aivan liian pieniä, jotta tarvittavat virtaamat saatiin. Halutun virtaamaan todellinen esisäätoarvo kirjattiin pöytäkirjaan. Mittausten jälkeen mittauspöytäkirja toimitettiin kohteen LVI-suunnittelijalle kommentoitavaksi ja samalla korjatut esisäätoarvot muutettiin kohteen loppukuviin. Virtausmittausten jälkeen patteriventtiileihin asennettiin termostaatit paikalleen.

Seuraava vaihe patteriverkoston säätöön liittyen oli huoneistojen lämpötilamittaukset, jotka tulee suorittaa lämmityskaudella vuorokauden keskilämpötilan ollessa alle -5 °C . Ennen lämpötilamittauksia lämmitysjärjestelmän säätökäyrä asetetaan halutuksi ja annetaan lämmitysjärjestelmän tasaantua 1–3 vuorokauden ajan ennen lämpötilamittausten suorittamista.

Kohteessa lämpötilamittaukset suoritettiin kohteen luovuttamisen jälkeen, jolloin ulkoilmanlämpötilat olivat otolliset mittauksille. Lämpötilamittauksista tiedotettiin asukkaita hyvissä ajoin ja samalla annettiin ohjeet pitää termostaattien ympäröimä alue vapaana sekä olla tuulettamatta asuntoa ennen mittausten suoritusta, jotta mahdollinen asunnon tuulettaminen ei vääristä saatuja tuloksia. Sallittu poikkeama tavoitelämpötiloista oli kohteessa $\pm 2\text{ °C}$.

Lämpötilamittaukset alkoivat patteritermostaattien irrotuksella, jokaisesta asunnosta. Seuraavana päivänä termostaattien irrotuksesta alkoivat varsinaiset lämpötilojen mittaukset. Huoneistojen huonelämpötilat mitattiin keskeltä huonetta noin metrin korkeudelta. Mittaukset suoritettiin Fluke T3000–K lämpötilamittarilla. Mitattavat huoneet olivat keittiö, olohuone ja makuuhuone. Kun huoneistojen lämpötilat oli saatu mitattua, asennettiin pattereihin termostaatit takaisin paikalleen. Lämpötilamittauksista laadittiin pöytäkirjat, jotka toimitettiin kohteen LVI-suunnittelijalle ja tilaajalle (kuva 20). Lämpötilamittausten jälkeen perussäädön toteutus on suoritettu ja verkoston toimintaa seurataan takuuajana. Lämpötilojen mittauspöytäkirjassa mainittiin seuraavat asiat:

- Mittauksen aika, paikka ja mittaja
- Ulkoilman lämpötila

- Mittauskohdat
- Mittaukseen käytetyt laitteet
- Mittauksessa tehdyt havainnot ja mahdolliset poikkeamat
- Mittaustulokset.

Mittauspöytäkirja huonelämpötila

| Esimerkkikohde | Mittauspäivä | 8.2.2018 | | Mittaja | xx |
|--------------------------|--------------------|----------|---|------------|--------------|
| Talo 1 | | | | | |
| Huonelämpötilamittaukset | Ulkoilmanlämpötila | -6,5 | C | Mittalaite | Fluke T-3000 |

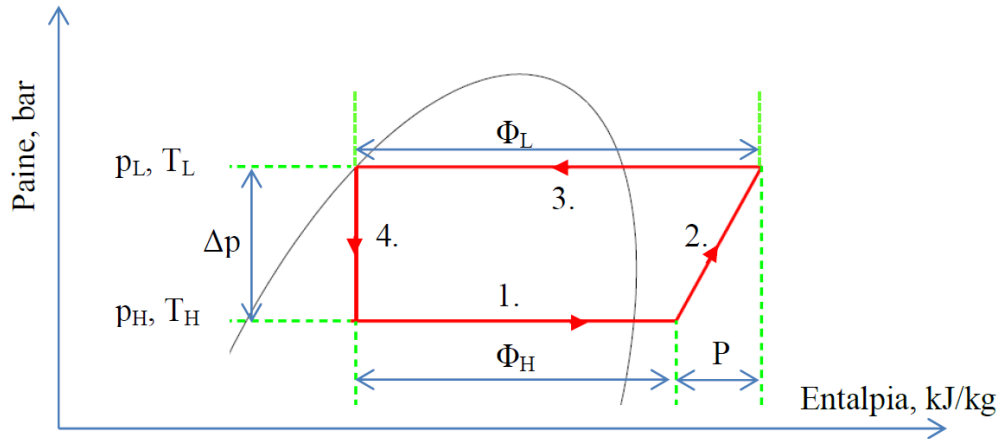
| Huoneisto | K | OH | MH |
|-----------|------|------|------|
| 1 | 22,4 | 22 | 22,5 |
| 2 | 21,5 | 21,5 | |
| 3 | 21,6 | 21,3 | |
| 4 | 22,7 | 23,2 | 22,7 |
| 5 | 22,8 | 22,5 | 22,4 |
| 6 | 22,3 | 22,6 | |
| 7 | 22,3 | 22,3 | |
| 8 | 22 | 22,5 | 22,6 |
| 9 | 22,6 | 23 | 22,8 |
| 10 | 23 | 22,7 | |

Kuva 20. Huonelämpötila, mittauspöytäkirja

6.2.2 Lämmöntalteenottojärjestelmä

Kohteeseen tilattiin poistoilmanlämmöntalteenottojärjestelmä pakettitoimituksella Högfors GST Oy:ltä. Pakettitoimitus tässä tapauksessa tarkoittaa sitä, että järjestelmän kaikki laitteet tulevat samalta toimittajalta ja lisäksi toimittajan kautta tapahtuu myös järjestelmän etävalvonta. Samalta toimittajalta järjestelmän tilaamisen etuna on se, että laitteiden yhteensopivuus on varmistettu ja järjestelmä on koekäytetty tehtaalla ennen toimitusta. Lisäksi mahdolliset ongelmat/takuuasiat järjestelmässä voidaan selvittää yhden toimittajan kanssa.

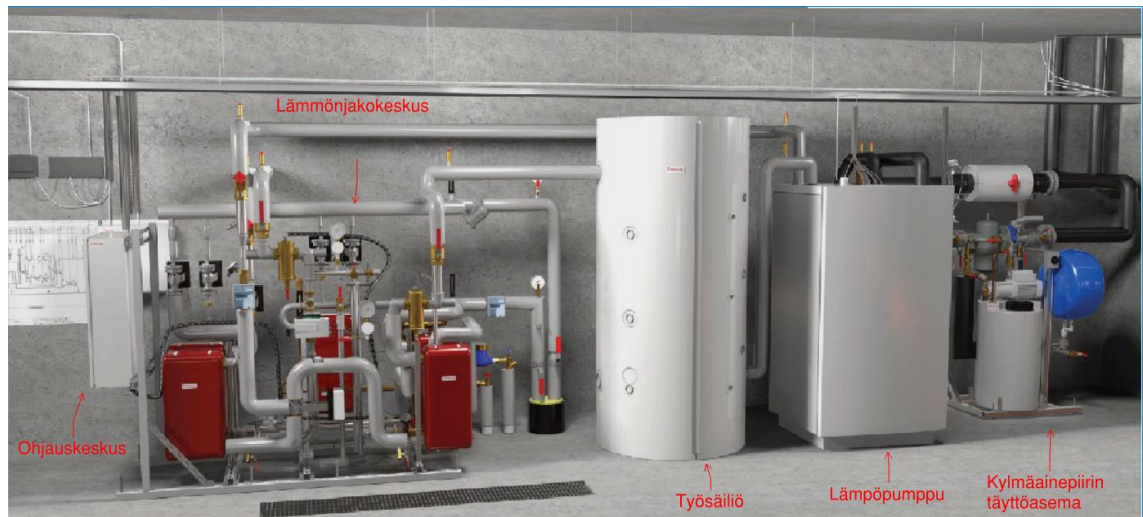
LTO-järjestelmän kokonaisuutta ohjataan FIKSU-etävalvontajärjestelmällä. Seuraavissa kuvissa (21, 22, 23, 24) on esitetty järjestelmän toimintaselostus.



Kuva 25. Poistoilman lämmöntalteenoton kylmäprosessi

Kuvassa 25 on esitetty poistoilman lämmöntalteenoton kylmäprosessi. [22]

1. Poistoilmasta otetaan lämpöä talteen LTO-yksikön liuos patterin läpi virtaavan lämmönsiirtoaineen avulla.
2. Lämpöpumpun kompressorilla höyrystyneen lämmönsiirtoaineen paine ja lämpötila nostetaan käytettävälle tasolle.
3. Lauhduttimella lämpöpumpun tuottama lämpö poistuu lämmönsiirtoaineesta varajiin ja kiinteistön verkostojen käyttöön.
4. Paisuntaventtiilillä lämmönsiirtoaineen paine ja lämpötila laskevat takaisin höyrystimen tasolle ja kierto alkaa uudestaan.



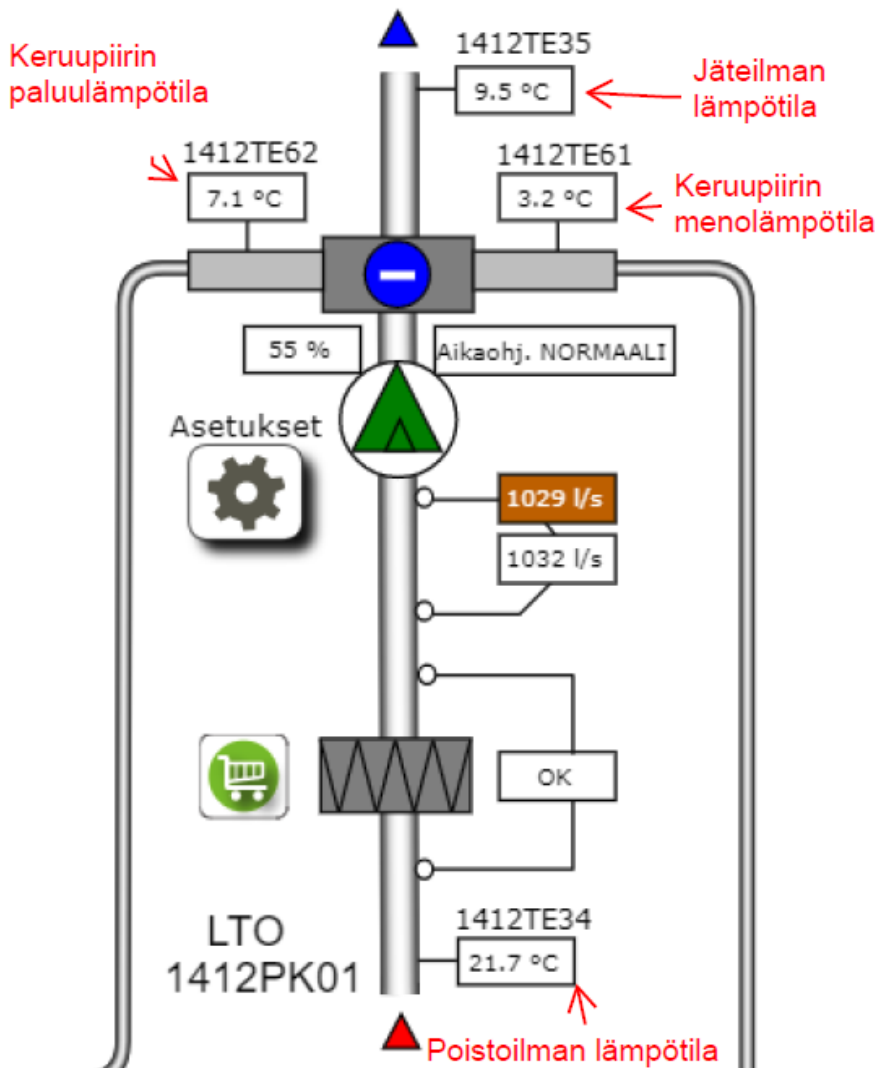
Kuva 26. LTO-järjestelmän laitteet lämmönjakuhuoneessa [17]

Kohteeseen asennettu poistoilmalämpöpumppu toimii epäsuoralla höyrytyksellä, eli LTO-yksikkö sijaitsee erillään lämpöpumppuyksiköstä. LTO-yksikkö sijoitettiin vanhan poistoilmakoneen tilalle kammiohuoneeseen ja järjestelmän muut laitteet lämmönjakuhuoneeseen (kuva 26). Lämpöpumppu ja LTO-yksikkö yhdistettiin liuosputkistolla, jossa lämmönsiirtoaineena toimii 30 %:n vesi-glykoliseos.



Kuva 27. RSP 1000 LTO-yksikkö [17]

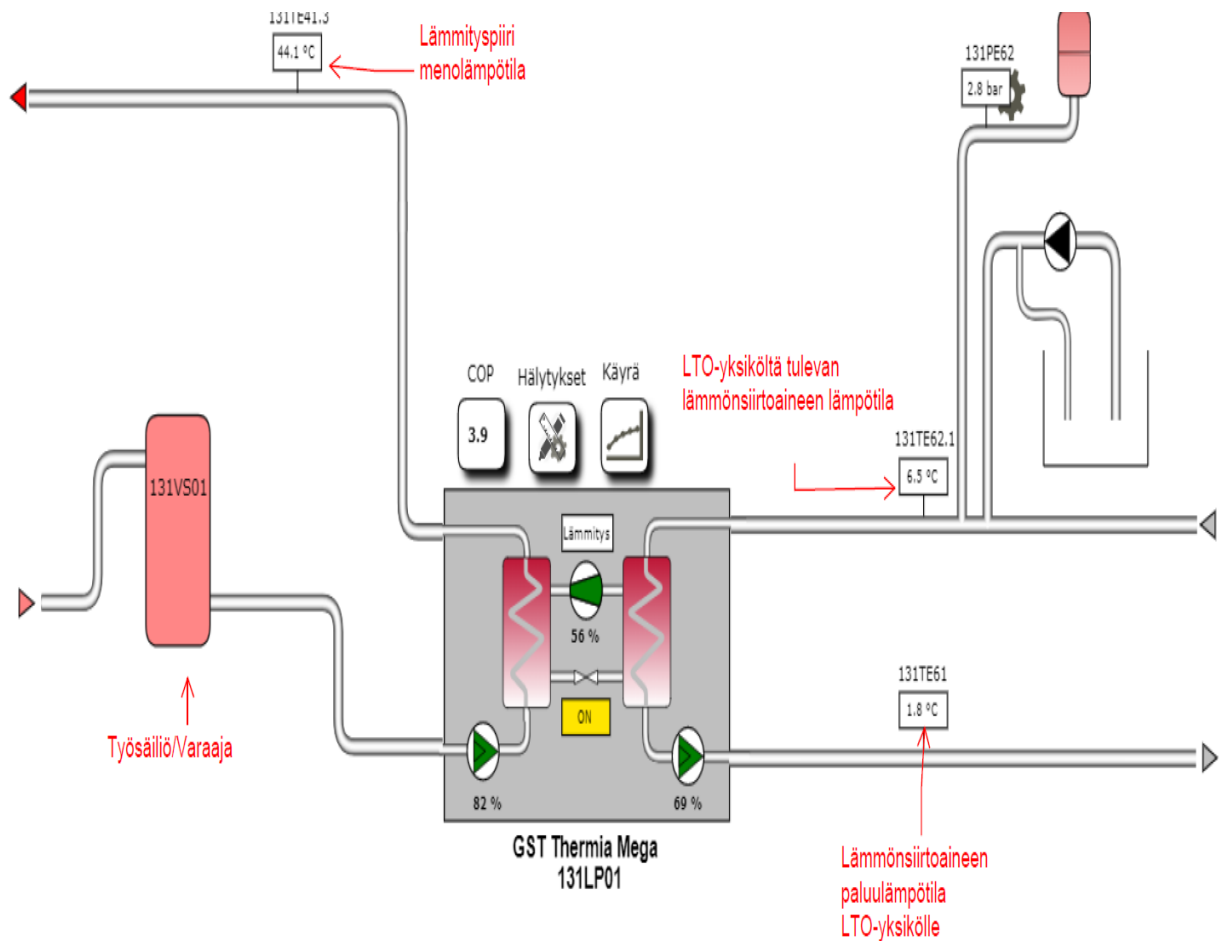
Huoneistoista poistuvan poistoilman lämpötila on noin 21-22C. Poistoilma virtaa kammiuhuoneessa olevan LTO-yksikön (kuva 27) liuospatteerin läpi, jossa virtaava lämmönsiirtoaine, tässä tapauksessa vesi-glykoliseos, lämpenee ja vastaavasti ulos puhallettavan jäteilman lämpötila laskee (kuva 28). Tämä on nähtävissä myös kylmäprosessissa kuvassa 25.



Kuva 28. LTO-yksikön kaaviokuva [19]

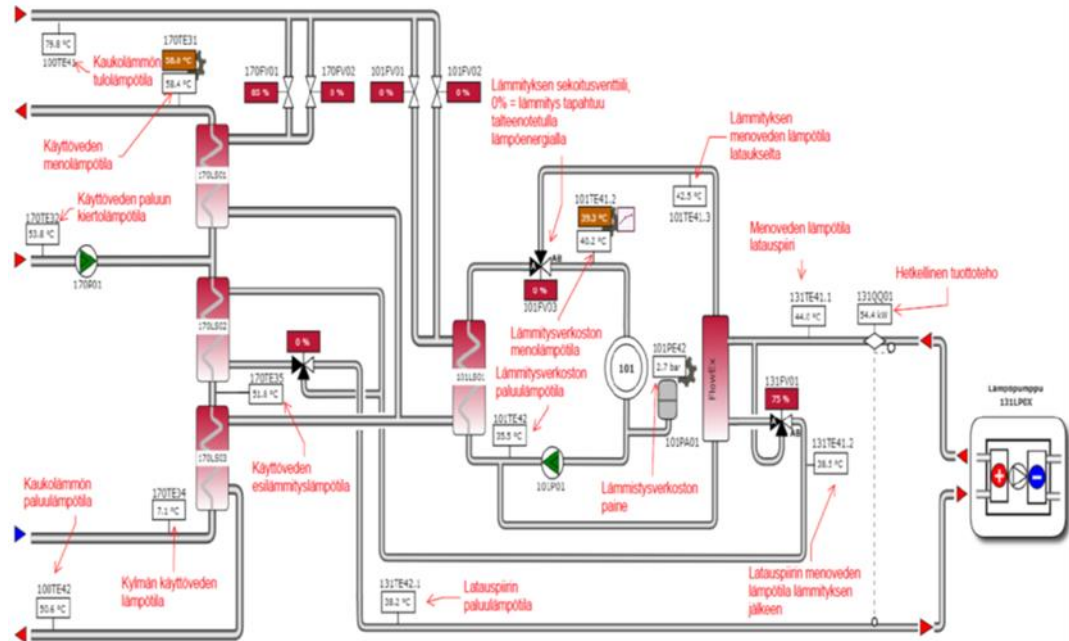
LTO-yksiköltä kerupiiriin lämmönsiirtoaine johdetaan lämmönjakuhuoneessa olevalle lämpöpumpun höyrystimelle ja siitä kompressorille, jonka avulla lämmönsiirtoaineen lämpötila nostetaan käytettävälle tasolle. Kompressorin jälkeen lämpö luovutetaan

lauhduksella varaajiin sekä kiinteistön lämmitys- ja käyttövesiverkoston käyttöön (kuva 29).



Kuva 29. Lämpöpumpun kaaviokuva [19]

Poistoilmasta saatu lämpö ohjataan ensisijaisesti lämmitysverkoston käyttöön. Lämpö, jota lämmitysverkosto ei hyödynnä käytetään käyttöveden esilämmitykseen. Kesäisin rakennusta ei tarvitse lämmittää, jolloin poistoilmasta saatu lämpö käytetään pelkästään käyttöveden esilämmittämiseen. Kuvassa 30 on esitetty LTO-järjestelmän kaaviokuva, johon merkitty mittauspisteiden selitteet.



Kuva 30. LTO, kaaviokuva [19]

6.3 Järjestelmän takaisinmaksuaika

Taulukko 1. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän takaisinmaksuaika

| Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmä Hybridi LTO | | |
|---|--------------|---------------|
| Takaisinmaksuaika laskelma (arvio) | | |
| Aikaväli 1.1-30.4.2018 | | |
| Järjestelmän kokonaiskustannus | 170000 | € |
| Keskiarvo lämpöpumpun tuottamasta energiasta / kk | 38,4 | MWh/kk |
| Keskiarvo lämpöpumpun käyttämästä sähköenergiasta / kk | 11,005 | MWh/kk |
| Kaukolämmön hinta | 65 | €/MWh |
| Sähkön hinta | 110 | €/MWh |
| Keskiarvo tuotoista / kuukausi | 2496 | € |
| Keskiarvo kuluista / kuukausi | 1211 | € |
| Järjestelmän keskiarvoinen tuotto / kuukausi | 1285 | € |
| Tuotto yhteensä / vuosi | 15425 | € |
| Järjestelmän takaisinmaksuaika | 11,02 | Vuotta |

Taulukossa 1 on laskettu poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän takaisinmaksuaika. Laskennassa ei ole otettu huomioon huoltokustannuksia, energian hinnan nousuja tai laitteiston uusimistarvetta aikajaksolla. Taulukkoon saadut arvot on kerätty etävalvonta järjestelmästä ja keskiarvot laskettu neljän kuukauden aikaväliltä. Liitteessä 2 on esitetty tarkemmin etävalvontajärjestelmästä saatavia tuottoraportteja. Sähkön ja kaukolämmön hinnat ovat arvioituja. Taulukossa olevissa arvoissa ei esitetä ilmanvaihtokoneiden kuluttamaa sähköenergiaa.

Järjestelmän kokonaiskustannus sisältää taloyhtiön LTO-järjestelmän laitteet asennettuna. Taulukossa on laskettu keskiarvo lämpöpumpun tuottamasta lämpöenergiasta ja kerrottu se kaukolämmön arvioidulla hinnalla. Näin on saatu euromääräinen summa lämpöpumpun tuottamasta energiasta. Lämpöpumpun kuluttamasta sähköenergiasta on laskettu keskiarvo tarkastelujaksolla ja kerrottu kuukausittainen sähköenergiankulutus sähkön hinnalla. Tuoton ja kulutuksen erotuksena saadaan tuottoarvio kuukaudessa. Kuukausittainen tuotto on kerrottu vuoden kuukausilla, jolloin saadaan vuotuinen tuotto selville. Takaisinmaksuaika saadaan jakamalla kokonaiskustannus vuotuisella tuotolla.

7 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli perehtyä vesikiertoisen patteriverkoston toimintaan, perussäätöön liittyviin vaiheisiin sekä kaukolämmön alajakokeskuksen vaihtoon linjasaneerauskohteessa. Työtä tehdessäni toimin LVI-työnjohtajana linjasaneeraustyömailla. Työssä käsitellyt asiat on pääasiassa kuvattu urakoitsijan näkökulmasta. Esimerkkikohteen lämmöntalteenottojärjestelmän toiminta on havainnollistettu etävalvontajärjestelmästä saaduista kuvakaappauksista. Patteriverkoston perussäätöön liittyvän verkoston tasapainotuksen toteutuksen pyrin havainnollistamaan kaavojen ja kuvien avulla mahdollisimman selkeäksi. Lisäksi liitteissä on laskentataulukko koko malliverkoston tasapainotuslaskelmista.

Työssä käsiteltäviin aiheisiin perehdyttiin pääasiassa kirjallisuuslähteiden kautta. Esimerkkikohteessa tehty perussäätö ja lämmöntalteenottojärjestelmän asennus tehtiin aloittaessani tämän työn kirjoittamista. Työstä tehdään ohjeistus yrityksen käyttöön pe-

russäädön toteutukselle. Pääasiallinen hyöty työstä on tullut itselleni perehtyessäni perussäädön eri vaiheisiin sekä energiatehokkuutta parantavaan poistoilmanlämmöntalteenottojärjestelmään. Tulevaisuudessa linjasaneerauksien yhteydessä asennetaan yhä enemmän kiinteistön energiatehokkuutta parantavia järjestelmiä.

Lähteet

- 1 Lämpöä kotiin keskitetysti. 2012. Verkkoaineisto. Motiva Oy <https://www.motiva.fi/files/7963/Lampoa_kotiin_keskitetysti_Kaukolampo.pdf>. Luettu 11.2.2018
- 2 Kaukolämpö. 2017. Verkkoaineisto. Kannuksen Kaukolämpö Oy. <<http://www.kannuksenkaukolampo.fi/kaukolampo>>. Luettu 3.2.2018
- 3 Miten kaukolämpö toimii. 2017. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <<http://www.lampoalahelta.fi/miten-kaukolampo-toimii/>> Luettu 4.2.2018
- 4 Mistä virtaa. 2014. Verkkoaineisto. Energiamaailma.fi < http://energiamaailma.fi/wp-content/uploads/2014/07/et_energiam_mista_virtaa_naytto_270614.pdf> Luettu 3.2.2018
- 5 Vesikiertoinen patterilämmitys. 2003. RT-ohjekortti, RT-52-10797. Rakennustietosäätiö.
- 6 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. Helsinki. Suomen LVI-liitto ry.
- 7 Patteriverkoston vaivaton suunnittelu ja tasapainotus. 2016. Verkkoaineisto. Danfoss Oy. <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/Optimal_tool_esite.pdf>. Luettu 30.1.2018
- 8 RA 2000 termostaattianturit. 2011. Verkkoaineisto. Danfoss Oy. <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VD53F620_keym.pdf>. Luettu 7.2.2018
- 9 Oras 4100–linjasäätöventtiilit. 2018. Verkkoaineisto. Oras Oy. <<https://www.oras.com/datasheet/4100/fi> >. Luettu 9.3.2018
- 10 Konvektori vs radiaattori. 2018. Verkkoaineisto. Cleverheating. <<http://cleverheating.fi/konvektori-vs-radiaattori/>>. Luettu 3.2.2018.
- 11 Purmo radiaattorit. 2018. Verkkoaineisto. Purmo. <<http://www.purmo.com/fi/tuotteet/vesikiertoiset-radiaattorit/paneeliradiaattorit/purmo-compact.htm#tab-tekniset-tiedot>>. Luettu 13.2.2018
- 12 Altech kalvopaisunta-astia. 2017. Verkkoaineisto. LVI-Dahl Oy. <https://www.lvi-dahl.fi/uploads/tx_mscproducts/Altech_paisunta-astiat.pdf>. Luettu 26.2.2018
- 13 Rakennusten kaukolämmitys, julkaisu K1/2013. 2013. Energiateollisuus ry. Päivitetty 9.5.2014. Luettu 18.4.2018

- 14 Perussäädön toteutus. 2015. Verkkoaineisto. Motiva Oy <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato/perussaaton_toteutus>. Päivitetty 30.11.2016. Luettu 30.3.2018.
- 15 Kertavastusten arvot. 2015. Verkkoaineisto. Cupori. http://www.faktaomkoppar.se/kupariputkien-asennus/asennus-suunnitteluopas/mitoitus-lampojohtot/laskennallinen-mitoitus-lampojohtot_copy>. Luettu 13.3.2018
- 16 Oras Stabila patteriventtiilin säätökäyrä. 2016. Verkkoaineisto. Oras Oy.<https://www.oras.com/fileadmin/resources/15829_Stabila_Saato_kayrat.pdf>. Luettu 3.4.2018
- 17 HybridiLTO. 2017. Verkkoaineisto. HögforsGST Oy. < <http://www.hybridilto.fi/>>. Luettu 4.4.2018.
- 18 Energiansäästö ja lämpökertoimet. Verkkoaineisto. RefGroup. <www.ilmalampopumput.fi/fi/mika-ihmeen-lampopumppu/energiansaasto>. Luettu 15.4
- 19 Fiksuvalvomo. Lämmöntalteenottojärjestelmän etävalvontajärjestelmä. GST Högfors Oy.
- 20 Patteriverkoston perussäätö. 2017. Verkkoaineisto. Motiva Oy < https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato>. Päivitetty 30.8.2017. Luettu 30.3.2018
- 21 Energian loppukäyttö sektoreittain. 2017. Verkkoaineisto. Tilastokeskus <https://www.stat.fi/til/ehk/2017/04/ehk_2017_04_2018-03-28_kuv_014_fi.html>. Luettu 16.4.2018
- 22 PILP-opas 2018. Poistoilmalämpöpumpun (PILP) lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen määrittäminen lämpöhäviöiden tasauslaskentaa varten. Ohjetiedosto. Ympäristöministeriö.
- 23 Kaukolämpötilasto. 2016. Verkkoaineisto. Energiategollisuus ry.<https://energia.fi/files/2085/Kaukolampotilasto_2016.pdf>. Luettu 15.3.2018
- 24 Spirovent air superior. 2005. Verkkoaineisto. Kolmeks Oy < www.kolmeks.fi/Download/21829/s6a_ja_s6a-r_asennus-ja_kayttoohje_.pdf> . Luettu 14.5.2018.
- 25 Spirovent S4 esite. 2010. Verkkoaineisto. Kolmeks Oy < <http://www.kolmeks.fi/ajankohtaista/2010/10/20/uutuustuote-spirolta-spirovent-superior-s3-on-uudistunut>>. Luettu 14.5.2018

- 26 Lämmitysjärjestelmät ja energiansäästö. Verkkoaineisto. Suomen ympäristöopisto SYKLI. < <http://www.ymparistoosaava.fi/kiinteistonhoitoala/index.php?k=22462>>. Luettu 14.5.2018
- 27 Varoventtiilin toiminta. Verkkoaineisto. Goetze KG Armaturen. < <http://varoventtiilit.com>>. Luettu 12.3.2018.
- 28 Valkeapää, Aki. 2015. Putkiverkon painehäviöt. Lehtori, Metropolia ammattikorkeakoulu, Espoo. Luento. 7.9.2015
- 29 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki. Ympäristöministeriö.

Liite 1. Malliverkoston tasapainotus laskentataulukot

| Painehäviö laskenta | | 80 C | | Rmax 50Pa/m | | 60 C | | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|-------|------------|--------------|--------------|---------|--------|----------|--------------------|----------------|---------------------|---|------------------------|--|--|
| Malliverkosto | | | | | | | | | | | | | | | |
| Menovesi | Paluovesi | Teho | W | Virtaama l/s | Virtaama l/h | Koko Dn | R Pa/m | Pituus m | Kitkapainehäviö Pa | Kertavastukset | Nopeus putkessa m/s | Kertavastusten aiheuttama painehäviö Pa | Kokonais painehäviö Pa | | |
| 1 | | 1000 | 0,01190476 | 43 | 10 | 19 | 12 | 228 | 5 | 0,095 | 23 | 251 | | | |
| 2 | | 700 | 0,00833333 | 30 | 10 | 10 | 3 | 30 | 5,5 | 0,067 | 12 | 42 | | | |
| 3 | | 1700 | 0,0202381 | 73 | 10 | 45 | 6 | 270 | 1 | 0,162 | 13 | 283 | | | |
| 4 | | 600 | 0,00714286 | 26 | 10 | 7,5 | 3 | 22,5 | 5,5 | 0,057 | 9 | 32 | | | |
| 5 | | 2300 | 0,02738095 | 99 | 15 | 24 | 18 | 432 | 3 | 0,134 | 27 | 459 | | | |
| 6 | | 1850 | 0,02202381 | 79 | 15 | 17 | 6 | 102 | 3,5 | 0,108 | 20 | 122 | | | |
| 7 | | 500 | 0,00595238 | 21 | 10 | 5 | 3 | 15 | 5,5 | 0,048 | 6 | 21 | | | |
| 8 | | 1350 | 0,01607143 | 58 | 10 | 30 | 6 | 180 | 1 | 0,129 | 8 | 188 | | | |
| 9 | | 550 | 0,00654762 | 24 | 10 | 7 | 3 | 21 | 5,5 | 0,053 | 8 | 29 | | | |
| 10 | | 800 | 0,00952381 | 34 | 10 | 12 | 12 | 144 | 5 | 0,076 | 15 | 159 | | | |
| 11 | | 4150 | 0,04940476 | 178 | 20 | 16 | 15 | 240 | 1,5 | 0,134 | 13 | 253 | | | |
| 12 | | 2050 | 0,02440476 | 88 | 15 | 19 | 6 | 114 | 3,5 | 0,120 | 25 | 139 | | | |
| 13 | | 550 | 0,00654762 | 24 | 10 | 7 | 3 | 21 | 5,5 | 0,053 | 8 | 29 | | | |
| 14 | | 1500 | 0,01785714 | 64 | 10 | 35 | 6 | 210 | 1 | 0,143 | 10 | 220 | | | |
| 15 | | 600 | 0,00714286 | 26 | 10 | 7,5 | 3 | 22,5 | 5,5 | 0,057 | 9 | 32 | | | |
| 16 | | 900 | 0,01071429 | 39 | 10 | 17 | 12 | 204 | 5 | 0,086 | 18 | 222 | | | |
| 17 | | 10350 | 0,12321429 | 444 | 25 | 26 | 20 | 520 | 1,5 | 0,212 | 34 | 554 | | | |

| Kiertopiiri | Δp kPa | Vaikein reitti P1 (putkisuudet 1,3,5,11,17) Patterikiertopiirin P1 putkiston ja kertavastusten aiheuttama painehäviö |
|-------------|-------------------|---|
| P1 | 1,8 | |
| P2 | 1,6 | |
| P3 | 1,3 | |
| P4 | 1,3 | |
| P5 | 1,1 | |
| P6 | 1,0 | |
| P7 | 1,1 | |
| P8 | 0,9 | |
| P9 | 0,7 | |

1,8 kPa

Tasapainotus
 Nimi Esa Leivonen
 Meno 80 C
 Paluu 60 C

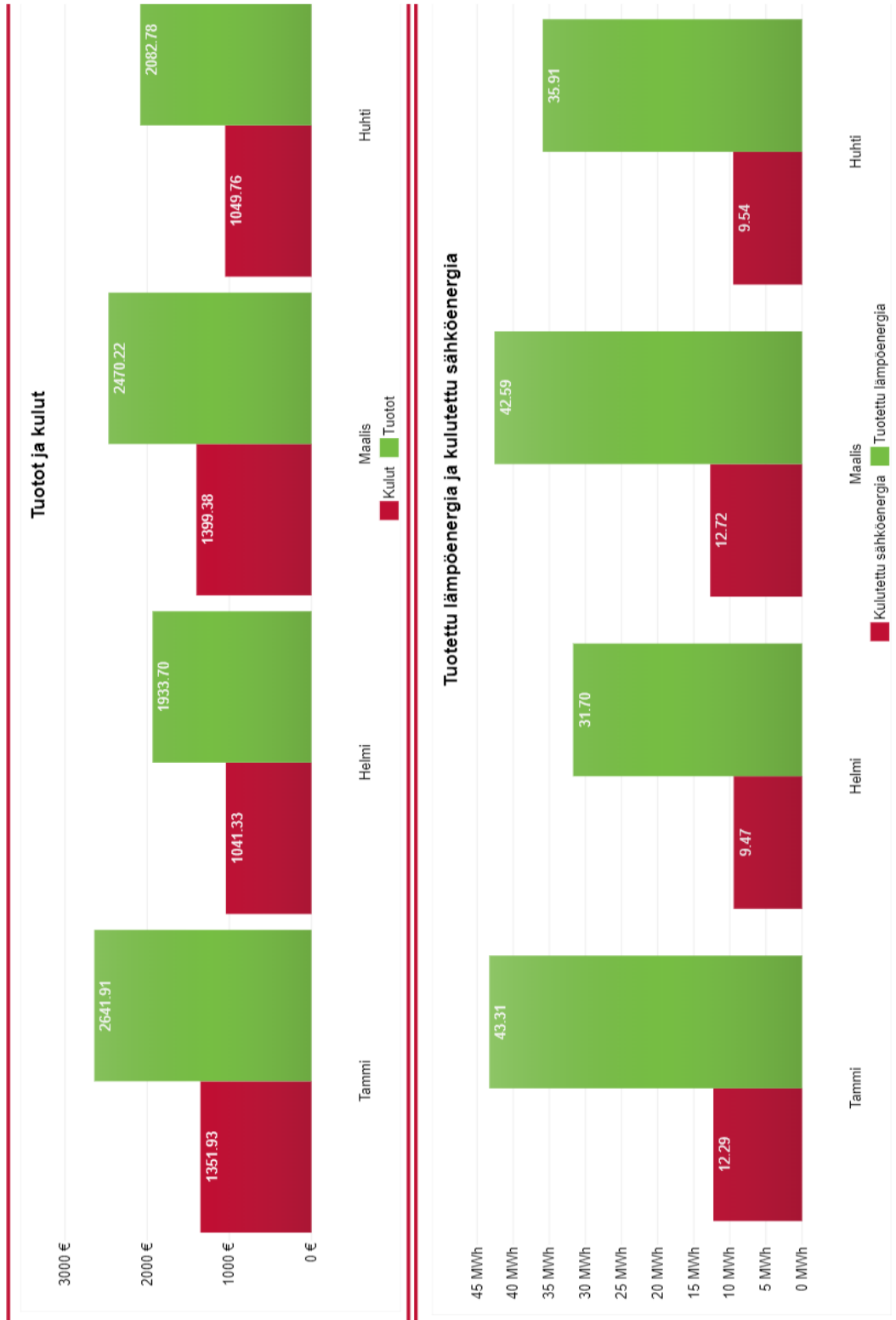
| Patteri | Dpkäyt Pa | Dpput Pa | Dppv Pa | Dpput+pv Pa | Koko Dn | Es | Dpkieropiiri kPa | Linja |
|---------|--------------|-------------|------------|----------------|------------|-----|---------------------|-------|
| P1 | 4251 | 251 | 4000 | 4251 | 10 | 4,5 | 20,8002 | 3 |
| P2 | 4251 | 42 | 4209 | 4251 | 10 | 3 | 20,8002 | 3 |
| P3 | 4534 | 32 | 4502 | 4534 | 10 | 2,5 | 20,8002 | 3 |
| P4 | 4159 | 159 | 4000 | 4317 | 10 | 3,5 | 20,8002 | 2 |
| P5 | 4159 | 29 | 4130 | 4187 | 10 | 2,5 | 20,8002 | 2 |
| P6 | 4347 | 21 | 4326 | 4368 | 10 | 2,5 | 20,8002 | 2 |
| P7 | 4222 | 222 | 4000 | 4445 | 10 | 4 | 20,8002 | 1 |
| P8 | 4222 | 32 | 4191 | 4254 | 10 | 3 | 20,8002 | 1 |
| P9 | 4443 | 29 | 4414 | 4471 | 10 | 2,5 | 20,8002 | 1 |

LSV tasapainotus

| | Dpkiertopiiri kPa | qv, lsv l/s | kv-arvo | ES | DpLSV |
|-------|----------------------|----------------|---------|-----|-------|
| LSV 1 | 17,1 | 0,024 | 0,46 | 3,5 | 3,7 |
| LSV 2 | 17,3 | 0,022 | 0,42 | 3,5 | 3,5 |
| LSV 3 | 17,8 | 0,027 | 0,57 | 4,5 | 3,0 |

Painehäviöllisesti vaikein linja (linja 3). Linjan 3 LSV paine-ero 3kPa

Liite 2. Poistoilman lämmöntalteenottojärjestelmän raportteja



YHTEENVETO

SCOP keskiarvo: 3.50

Lämpöpumpun hyötysuhde (SCOP)

