



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Anton Beijar

Smatrix-säätöjärjestelmän toimivuus automaattisen virtauksenrajoittimen kanssa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

23.4.2019

Tekijä Otsikko	Anton Beijar Insinööriyön otsikko
Sivumäärä Aika	52 sivua + 1 liite 23.4.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI-suunnittelu
Ohjaajat	hankekehityspäällikkö Jussi Kilpelä yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää, kuinka virtausta rajoittava automaattinen virtauksenrajoitin toimii yhdessä Smatrix-säätöjärjestelmän kanssa. Lisäksi tavoitteena oli vertailla manuaalisen linjasäätöventtiilin säätöyön vaiheita automaattisen virtauksenrajoittimen säätöyön vaiheisiin.</p> <p>Tavoitteet toteutettiin seuraamalla tutkimiskohdetta, johon asennettiin Smatrix-säätöjärjestelmät sekä automaattiset virtauksenrajoittimet. Arvioitiin, kuinka automaattinen virtauksenrajoitin helpottaa lämmitysverkoston säätötyötä rakentamisen aikana ja jälkeensä tehtävässä säätötyössä. Automaattisen virtauksenrajoittimen toimintaan ja yhteensopivuuteen Smatrix-säätöjärjestelmän kanssa perehdyttiin käyttäen lähteinä teknisiä esitteitä sekä haastattelemalla asiantuntijoita.</p> <p>Automaattisen virtauksenrajoittimen ja Smatrix-säätöjärjestelmän toimivuus selviää vasta pidemmällä tarkastelujaksolla. Työssä pohdittiin ongelmatilanteita ja ratkaisuja yhdistelmän toimivuudessa. Automaattisen virtauksenrajoittimen vaatiman säätöyön vertaamiseksi manuaalisesti säädetävään linjasäätöventtiilin vaatiman säätötyöhön laadittiin taulukko, jossa kummankin säätömenetelmän säätöyön vaiheet esitetään yksityiskohtaisesti.</p> <p>Insinööriyössä nostetaan esille huomioon otettavia seikkoja, joista voi olla hyötyä painesäätöistä lattialämmitysverkostoa suunniteltaessa. Lisäksi työssä esitellään tutkimuskohteen lämmitysverkoston rakentamiskäytäntö, jota voidaan hyödyntää vastaavia kohteita suunniteltaessa. Vertailutaulukkoa voidaan käyttää suunniteltaessa lämmitysverkoston säätöyön ohjeita eri ohjausmenetelmillä. Työ antaa perustietoa lattialämmitysverkoston ohjausmenetelmistä sekä painesäätöisen ohjauksen toiminnasta.</p>	
Avainsanat	Smatrix, säätöjärjestelmä, automaattinen virtauksenrajoitin, virtauksenrajoitin, lattialämmitys

Author Title	Anton Beijar Operations of Smatrix Underfloor Heating Regulation System with Pressure Independent Control Valve
Number of Pages Date	52 pages + 1 appendix 23 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Professional Major	HVAC Design
Instructors	Jussi Kilpelä, Project Development Manager Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The goal of this Bachelor's thesis was to examine, how a pressure independent control valve and a Smatrix underfloor heating regulation system co-operate. Furthermore, the goal was to compare the installation process between a conventional control valve and a pressure independent control valve in an underfloor heating system.</p> <p>The advantages and the disadvantages of using a pressure independent control valve together with the Smatrix underfloor heating regulation system, were discussed with professionals in the field. In addition, technical sheets were used, to show the working principles of the different components discussed in the thesis. By physically following the construction of a new high-rise building, the installation process of a pressure independent control valve in an underfloor heating system could be documented. The installation process of both a pressure independent control valve and a conventional valve in an underfloor heating system were listed and compared in detail.</p> <p>The result of the project shows, that the co-operation of the pressure independent control valve together with the Smatrix underfloor heating regulation system needs to be measured for a long period of time, in order to prove the functionality. The content of this thesis can benefit the design process of heating systems, similar to the one presented.</p>	
Keywords	Smatrix, underfloor heating regulation system, pressure independent control valve, underfloor heating

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vesikiertoinen keskuslämmitys ja viilennys	1
3	Lattialämmitys	5
3.1	Toiminta	5
3.2	Suunnitteluperiaatteet	9
3.2.1	Lämmitystehontarve sekä lattialämmitysteho	9
3.2.2	Jakotukit ja niiden sijoittaminen	11
3.2.3	Putkitus ja suunnitteluratkaisut	12
3.2.4	Lattialämmitys ja -viilennys kytkentäkaavio	15
3.3	Toteutus	17
3.3.1	Lattialämmitysjärjestelmän täyttö ja koepaine	17
3.3.2	Käyttöönotto	20
3.4	Lattialämmityksen säätöjärjestelmät	20
3.4.1	Toiminta	20
3.4.2	Smatrix-säätöjärjestelmä	22
3.4.3	Toimilaitteen toiminta	23
3.4.4	PWM-ohjaus	24
4	Lämmitysverkoston tasapainotus	28
4.1	Perussäätö manuaalisella linjasäätöventtiilillä	28
4.1.1	Manuaalinen linjasäätöventtiili	29
4.1.2	Perussäädön vaiheet	32
4.2	Perussäätö painesäädöllä	33
4.2.1	Paine-erosäätimen toiminta	36
4.2.2	TA-COMPACT-P	39
4.2.3	Perussäädön vaiheet	41
5	As Oy Tampereen Kalliorinne	41
5.1	Työmaakäynnit	42
5.2	Automaattisen virtauksenrajoittimen asennus	45

5.3	Kiertovesipumpun ohjaus	46
5.4	Täyttö- ja ilmausvaiheet	47
6	Pohdinta	48
7	Yhteenveto	51
	Lähteet	53
	Liitteet	
	Liite 1. Lattialämmityksen säätötyöt eri säätöventtiileillä	

1 Johdanto

Insinööriyön tilaaja on Uponor Suomi Oy, joka on yksi johtavista asumisen ja rakentamisen järjestelmätoimittajista Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Uponor on myös markkinajohtaja yhdyskuntatekniikan putkijärjestelmissä Pohjoismaissa. Uponor tarjoaa LVI-suunnittelu- ja laskentapalveluita rakennusalan eri osa-alueilla.

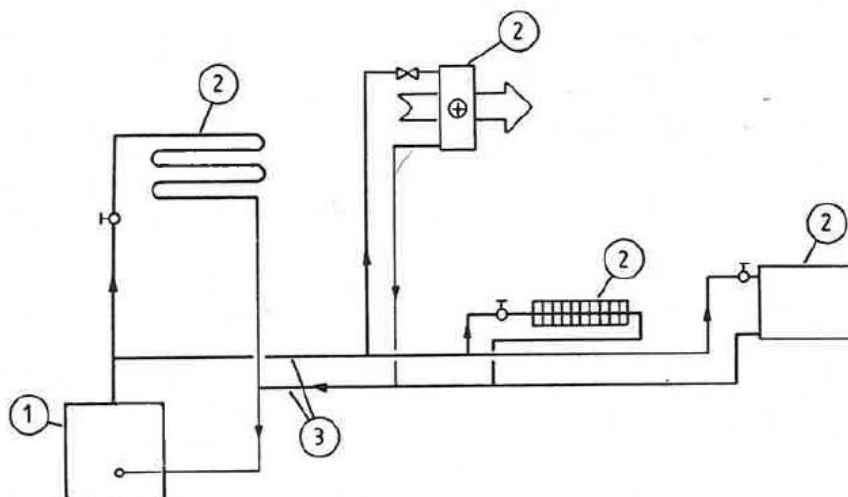
Insinööriyön tavoitteena on selvittää, kuinka lattialämmitykseen tarkoitettu Uponor Smatrix-säätöjärjestelmä toimii yhdessä virtausta rajoittavan automaattisen virtauksenrajoittimen kanssa. Työssä tutkitaan myös lämmitysjärjestelmän säätötyön helpottumista automaattista virtauksenrajoitinta käyttäen verrattuna säätötyöhön manuaalisella linjasäätöventtiilillä. Toteutus tapahtuu seuraamalla Tampereelle rakennettavaa kerrostalokohdetta, johon tulee kyseinen yhdistelmä käyttöön. Jos yhdistelmä toimii hyvin, sitä voidaan suositella käytettäväksi tarkan lämpötilaohjauksen sekä lattialämmitysverkoston säätötyön ajansäästön takia, sekä lämmitysverkoston käyttöönotossa, että jälkikäteen tehtävässä säädössä.

Tässä työssä keskitytään asuinrakennusten lattialämmitykseen sekä asuinrakennusten lämmitysverkoston säätöön. Työn alussa käsitellään lattialämmitystä lämmitysjärjestelmänä, lattialämmityksen suunnitteluperiaatteita sekä lattialämmityksen säätöjärjestelmää. Tämän jälkeen työssä käsitellään lämmitysverkoston tasapainotuksen periaatteita antamaan lukijalle ymmärrystä painesäätöisen lämmitysjärjestelmän toiminnasta. Painesäätöisen lämmitysverkoston säätötyön ajansäästön osoittamiseksi, on laadittu taulukko, jossa verrataan manuaalisesti säädettävän lämmitysverkoston säätövaiheita painesäätöisen lämmitysverkoston säätövaiheisiin. Työn loppuosassa käydään läpi esimerkkikohteen lämmitysverkoston rakennusvaiheet ja kohteen lämmitysverkoston alustavaa säätötyötä. Pohdinnassa käsitellään painesäätöisen lämmitysverkoston mahdollisia haasteita, niiden ratkaisuja sekä esitetään tarpeet jatkotutkimusta vaativista asioista.

2 Vesikiertoinen keskuslämmitys ja viilennys

Yleisin käytetty lämmitysjärjestelmä asuinrakennuksissa on niin kutsuttu keskuslämmitysjärjestelmä. Tällä tarkoitetaan rakennuksen lämmitystä yhteisestä lämmönlähteestä

putkistossa kulkevan lämmönsiirtoaineen avulla. Yleisimmin käytetty lämpöä siirtävä lämmönsiirtoaine on vesi, hyvän ominaislämpökapasiteettinsa vuoksi. Keskuslämmitysjärjestelmä voidaan jakaa lämmöntuotantolaitteisiin, lämmönsiirtoverkostoon ja lämmönluovuttimiin. [1, s. 119.] Kuva 1 havainnollistaa keskuslämmitysjärjestelmän toimintaperiaatetta.

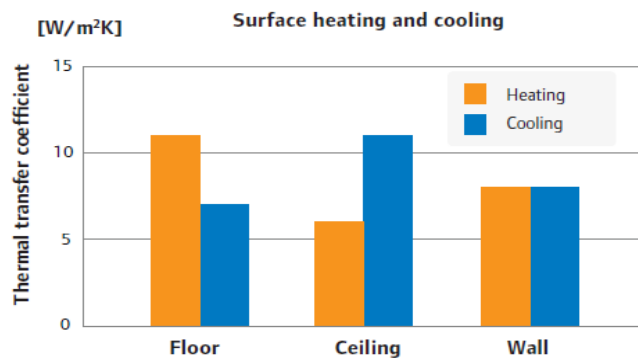


Kuva 1. Keskuslämmitysjärjestelmän toimintaperiaate. Numero 1 on lämmönlähde. Numero 2 on lämmönluovutin, joka tässä kuvassa kuvastaa vasemmasta oikealle lattialämmitystä, puhallinkonvektoria, lämmityspalkkia ja lämmityspatteria. Numero 3 on lämmönsiirtoverkosto. [1, s. 120.]

Lämmönjakelujärjestelmän lämmönsiirtoverkosto muodostuu yleensä runkoputkistosta, jakojohdoista sekä lämmönluovuttimista. Putkiston materiaalivalinta riippuu järjestelmän koosta ja käyttötarkoituksesta. Käytetyimmät putkimateriaalit ovat teräs, kupari, komposiitti ja muovi. Lämmönjakelujärjestelmän muita tärkeitä komponentteja ovat muun muassa kiertovesipumppu, sulku- ja säätöventtiilit, suodattimet ja lämpömittarit. [2, s. 116.]

Keskuslämmitysjärjestelmässä lämmönsiirtoaine johdetaan runkoputkistosta lämmönluovuttimeen, jonka kautta lämpö siirtyy lämmitettävään tilaan. Lämmönluovuttimien jälkeen jäähtynyt vesi palaa lämmityssiirtimeen lämmitettäväksi. Lämmitysverkosto on suljettu ja virtausreittejä kutsutaan kiertopiireiksi. Yleisimmin käytetty lämmönluovutin on lämmityspatteri, joka sijoitetaan ulkoseinän ikkunan alle. [2, s. 116.] Nykyään käytetään kuitenkin yhä enemmän lattiaan asennettua putkea, toisin sanoen lattialämmitystä. Lämmityspotkea voidaan myös asentaa seinään tai kattoon, mutta nämä asennustavat ovat

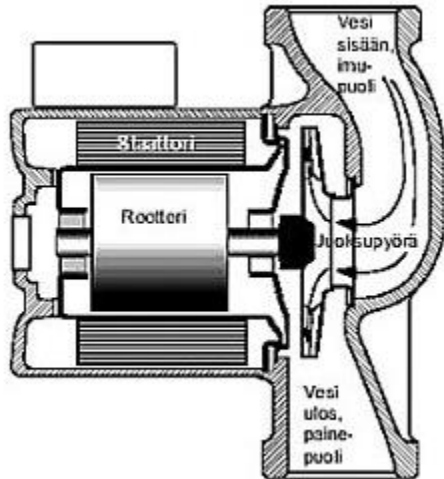
harvoin käytettyjä asunnoissa. Kuvassa 2 esitetään eri asennuspaikkojen lämpö- ja viilennyssiirtokerroimet. Lämmönsiirtokerroin kuvaa lämpötehoa, joka siirtyy pinnasta ympäristöön yhtä neliometriä kohti, kun pinnan ja ympäristön lämpötilaero on 1 °C. Lattia-lämmityksen lämmönsiirtokerroin on korkeampi kuin lattiaviilennyksen. Kattolämmityksessä lämmönsiirtokerroin on pienempi kuin kattoviilennyksessä. Seinäasennuksessa lämmönsiirtokerroin on yhtä suuri sekä lämmitykselle että viilennykselle.



Kuva 2. Eri asennustapojen lämpö- ja viilennyssiirtokerroimet [3].

Käytetyin lämmöntuotantotapa asuinkiinteistössä on kaukolämpö. Lähes puolet suomalaisista asuvat kaukolämmitetyissä kiinteistöissä. Useimmat liikerakennukset, julkiset rakennukset, asuinkerrostalot sekä puolet rivitalokannastamme ovat liitettyjä kaukolämpöverkkoon. Muita lämmöntuotantotapoja, joita on käytettävä esimerkiksi haja-asutusalueilla, ovat maalämpö sekä öljy-, sähkö-, tai maakaasulämmitys. [4, s. 8–10.]

Lämmitysverkoston vesi saadaan kiertämään putkiverkostossa kiertovesipumpun avulla. Asuinkerrostalossa on yleensä kaksi kiertovesipumppua, joista yksi palvelee käyttöveden verkostoa ja yksi lämmitysverkostoa. Lämmitysverkostossa kiertovesipumppu kiertää vettä lämmönluovuttimen ja lämmönlähteen välillä. Yleisin pumpputyyppe on keskipakopumppu, joka esitetään kuvassa 3. Keskipakopumpussa kiertovoima syntyy sähkömoottorin pyörittäessä juoksupyörää, joka saa aikaiseksi alipaineen imupuolella. Juoksupyörän pyörimisliike sekä muotoilu pakottavat veden ulos putken paineelliselle puolelle. [5]



Kuva 3. Keskivakopumpun leikkauskuva [5].

Kiertovesipumpun valintaan vaikuttavat lämmitysverkostossa kiertävä veden määrä sekä lämmitysverkoston painehäviöt. Kiertävän veden virtaama lasketaan rakennuksen lämmöntarpeiden, sekä veden lämpötila-erojen perusteella. Painehäviöt syntyvät verkostossa veden kitkavastuksesta sekä haarojen, kulmien ja venttiilien kertavastuksista. Suljetun putkiston mitoituksessa huomioidaan yleensä ainoastaan putkiverkoston virtausvastus ja kertausvastukset, jotka lasketaan yhtälöllä 1. Lämmitysverkoston virtaus-tekniisesti vaikeimman reitin painehäviö määrittää pumpun mitoituksessa käytettävän painehäviön. [6]

$$\Delta p = \Delta p_{vir} = \sum \Delta p_{\lambda} + \sum \Delta p_{\zeta} = \sum * \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \zeta \right) * \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (1)$$

, jossa

Δp	kiertopiirin kokonaispainehäviö, Pa
$\sum \Delta p_{\lambda}$	kiertopiirin peräkkäisten johto-osuuksien kitkavastusten painehäviöt, Pa
$\sum \Delta p_{\zeta}$	kiertopiirin peräkkäisten johto-osuuksien kertavastusten painehäviöt, Pa
λ	kitkavastuskerroin
l	putken pituus, m
d_s	putken sisähalkaisija, m
ρ	nesteen tiheys, kg/m ³
v	virtausnopeus, m/s

3 Lattialämmitys

3.1 Toiminta

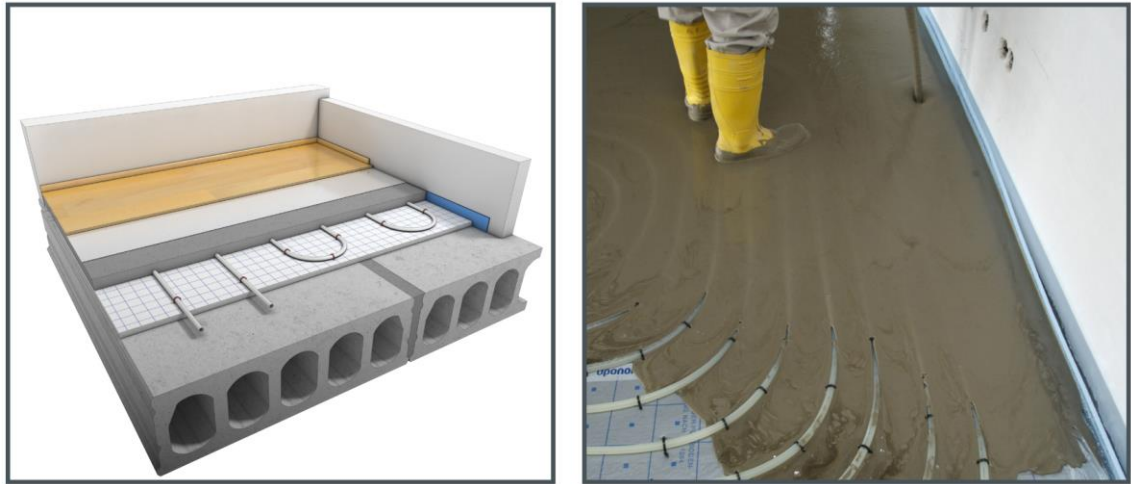
Vesikiertoisesta lattialämmityksestä on ennen vanhaan ollut huonoja kokemuksia. Tämä johtui lattialämpötilojen nousemisesta liian suuriksi sekä putkivuodoista. Rakennusmateriaalien ja rakennustekniikan kehittyttyä lämmitystehontarve asuinrakennuksissa on kuitenkin laskenut niin, että lattialämpötilaa ei enää tarvitse nostaa niin korkealle. Lisäksi lattialämmityksen putkimateriaalien ja asennustekniikan kehittyttyä vuotoriskit ovat pienentyneet merkittävästi. [1, s. 183.] Lattialämmitysputkistolla voidaan myös viedä pois ylikuumuutta huonetilasta, jolloin järjestelmä toimii viilennysjärjestelmänä.

Nykyään lattialämmitys on varsin yleinen lämmönluovutusjärjestelmä varsinkin pientalorakentamisessa. Myös kerrostaloissa lattialämmityksen käyttö on yleistynyt selkeästi. Uusista pientaloista noin 90 %:iin asennetaan vesikiertoinen lattialämmitys, ja uusiin kerrostaloihin vastaava prosentti on arvioiltaan 30 % [7]. Kuvassa 4 on esitetty kerrostalon lämmitysverkoston asennusesimerkki, jossa märkätilalle on oma nousurunko ja kuiville tiloille oma nousurunko. Porraskäytävässä viedään alas lasketussa katossa lämmitysverkoston runkojohtoja, joihin kytketään huoneistokohtaiset jakojohdot. Kuivatilojen lattialämmityspiirit kulkevat jakotukin kautta, ja märkätilan lattialämmityspiirin jakojohdot on kytketty suoraan runkojohtoon.



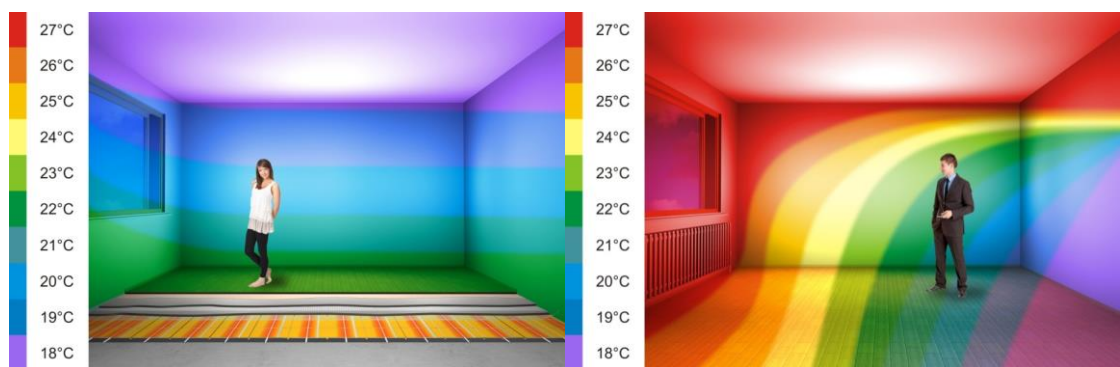
Kuva 4. Kerrostalon lattialämmitysverkoston asennusesimerkki [8].

Lattialämmityksessä putket asennetaan eristeen päälle, joka toimii sekä lämpö- että ääneneristeenä eri kerrosten välillä. Putket valetaan betoniin kelluvaan rakenteeseen laatan lämpölaajenemista varten, eli seinän ja betonivalun välille jää pieni rako. Kelluvan lattiarakenteen ansiosta välipohjarakenteen askelääneneristys paranee merkittävästi. Putkitus tehdään lisäksi ilman läpivientejä välipohjissa tai seinissä. Asennustapa eliminoi putkien kautta kulkevaa tilojen välistä meluhäiriötä, joka on yleinen haitta esimerkiksi vesikiertoisessa patteriverkostossa. Kuvassa 5 on esitetty Uponorin Tacker-lattialämmitysratkaisu sekä kelluva pintabetonilaatan valu. Reunanauhan avulla laatan ja seinän välille jää rako lämpölaajenemista varten. Betonin kuivuttua leikataan ylimääräinen reunanauha lattiatason myöten. [8]



Kuva 5. Uponor Tacker-lattialämmitysrakenne. Lattialämmitysputket asennetaan eristelevyn päälle kiinnitysväkäillä. Oikealla puolella kuvassa näkee reunanauhan betonimassan ja seinän välillä. [9]

Putket asennetaan lattialämmityksessä tasaisin välein koko lämmitettävän tilan lattiarakenteeseen. Tämän ansiosta lämmitettävä pinta-ala on suuri, ja lämpö siirtyy tasaisesti ylöspäin lämmitettävään tilaan [10]. Tasainen lämmönsiirto poistaa vedon tunteen, joka syntyy lämpötilojen epätasaisuudesta tilassa. Varsinkin lämpiminä kesäpäivinä viilentävät ilmastointilaitteet saattavat aiheuttaa vedon tunnetta, mutta ongelma ilmenee myös järjestelmissä, joissa on erillinen lämmityslaitte. Vedon vähentyessä ilmanlaatu paranee, sillä ilmaa sekoittuu vähemmän, ja pölynpitoisuus ilmassa vähenee. [11, s. 3]. Kuvassa 6 esitetään lämmön ja viileän ilman jakautuminen huoneisiin eri lämmitysjärjestelmästä riippuen. Kuvan vasemmalla puolella on lattialämmitteisen huoneen lämmönjakautuminen ja oikealla patterilämmitteisen lämmönjakautuminen.

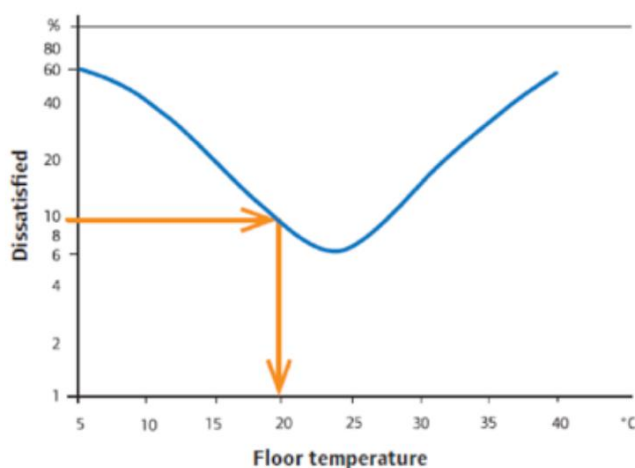


Kuva 6. Lämmön jakautuminen huoneessa lämmönluovuttimesta riippuen [3].

Energiat ehokkaampaan rakentamiseen siirryttäessä lattialämmitys on soveltuva lämmitysjärjestelmä. Rakenteiden päästäessä vähemmän lämpöä hukkaan ja ikkunapinta-alojen kasvaessa rakennusten ylälämpeneminen yleistyy. Samalla kun huonetilaa viilenne-
tään lattialämmitysjärjestelmällä, ylälämpö voidaan ottaa hyötykäyttöön esimerkiksi läm-
pimän käyttöveden esilämmitykseen. [8]

Huoneen koettu kokonaislämpötila, eli operatiivinen lämpötila, koostuu sekä huoneen
lämmityselementtien lämpösäteilystä, että ilman lämpötilasta. Järjestelmässä jossa sä-
teilylämmön osuus on suuri, huoneen lämpötila koetaan lämpimämmäksi kuin järjestel-
mässä, jossa on korkea konvektio, eli lämmön siirto ilmavirran mukana. Toisin sanoen
lattialämmitetyn huoneen lämpötilaa voidaan pitää 1–2 °C matalampana kuin esimer-
kiksi patterilämmitetyssä huoneessa, ja silti koetaan huonelämpö yhtä lämpimäksi. [12]

Kuvassa 7 esitetään ihmisten tyytymättömyysaste lattian pintalämpötilaan. Optimaalista
lattian pintalämpötilaa ei voida määrittää, sillä jokaisella on hieman eri käsitys mukavasta
lämpötilasta. Kuvasta 7 nähdään, minkä lämpötila-alueen ihmiset kokevat epämiellyttä-
väksi. Ainoastaan noin 6 % kokee pintalämpötilan epämiellyttäväksi 24 °C:ssa. Raken-
tamisessa pyritään pitämään pintalämpötilaa välillä 20–27 °C, jolloin järjestelmä toimii
hyvin ja enintään 10 % käyttäjistä on tyytymättömiä. [8]



Kuva 7. Ihmisten tyytymättömyysprosentti lattian pintalämpötilaan [8].

Lattiaviilennyksessä lasketaan lattian pintalämpötilaa yleensä ainoastaan 22–23 °C:seen, joka on monelle vielä miellyttävä pintalämpötila. Lattiaviilennyksen tehon arviointi on usein haastavaa, koska auringon paistaessa auringonsäteily tuo tilaan ison lämmitystehon. Näin ollen ikkunoiden koot ja ilmansuunnat vaikuttavat merkittävästi lattiaviilennyksen tehojen laskelmiin, ja suositeltavaa on käyttää simulointiohjelmaa viilennystehoja tarkasteltaessa.

3.2 Suunnitteluperiaatteet

3.2.1 Lämmitystehontarve sekä lattialämmitysteho

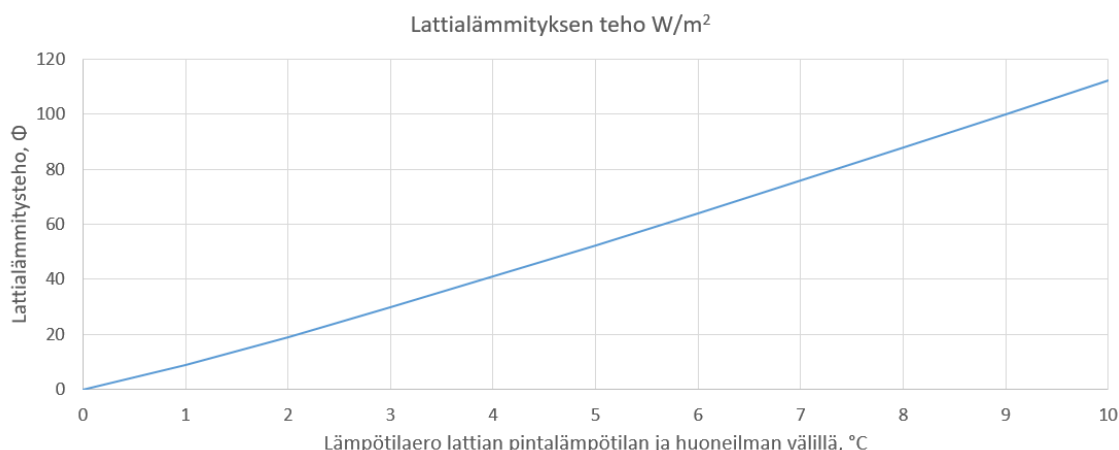
Lattialämmityksen suunnittelu alkaa rakennuksen lämmitettävien tilojen lämpiöhäviöiden määrittämisellä, joka tehdään Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 mukaan. Lämpöhäviöiden avulla voidaan laskea tilojen keskimääräinen lämmitystehontarve W/m^2 . Korkein laskettu lämmöntehontarve sekä lattiarakenne määrittävät, kuinka menojen ja paluuveden lämpötilat lämmitysverkostossa tarvitaan lämmitystehontarpeen kattamiseksi. [9]

Lattian lämmönluovutusteho voidaan laskea yhtälöllä 2 [8]. Kuvassa 8 esitetään kaavalla 2 laskettua lattialämmityksen tehoa yhtä neliometriä kohti riippuen lattian pintalämpötilan ja huoneilman lämpötilan välisestä lämpötilaerosta. Koska laminaatti ja parketti kestävät enintään noin 27 °C:n pintalämpötilan ja huonelämpötilasuositus on 21 °C, kuvasta nähdään, että lattialämmityksen maksimitehoksi asuinrakennuksissa saadaan noin 66 W/m^2 . Käyttäessä klinkkeriä tai muovimattoa lattiapäällysteenä saavutetaan suurempi teho, sillä nämä pintamateriaalit kestävät korkeamman pintalämpötilan eivätkä ne eristä ylöspäin nousevaa lämpöä yhtä paljon, kuin puu- tai laminaattipäällysteet eristävät. [13, s. 5.]

$$\dot{Q} = 8,92 * (t_l - t_s)^{1,1} \quad (2)$$

, jossa

\dot{Q}	lattialämmitysteho, W/m^2
t_l	lämmitettävän lattian keskimääräinen pintalämpötila, °C
t_s	huoneilman keskimääräinen lämpötila, °C



Kuva 8. Lattialämmityksen teho huoneilman ja lattiapinnan lämpötilaerosta riippuen.

Laskettaessa lattialämmityksen tehoja on otettava huomioon monta tekijää, kuten muun muassa lattiarakenteen kokonaisuus, putkien teknilliset ominaisuudet, putkien asennussyvyys, veden virtausnopeus ja veden lämpötilaero. RT-ohjekortissa 52-10801 [14] on taulukko, jota voidaan käyttää lattialämmityksen yleismitoitukseen. Monien erilaisten huomioon otettavien tekijöiden takia lattialämmitysjärjestelmien valmistajilla on usein käytössä omat mitoitusohjelmat.

Taulukko 1. Ohjeelliset suositus-, vähimmäis- ja enimmäisarvoja lattialämmitykselle [14].

	Suositus-arvo	Vähimmäis-arvo	Enimmäis-arvo
Menoveden lämpötila °C	35...45 ¹⁾	25...30 ¹⁾	45 ¹⁾
Meno/paluuveden lämpötilaero °C	5...10 ¹⁾		
Lattian pintalämpötila °C	25...27 ²⁾	23 ²⁾	30 ²⁾
Putkien asennusväli, mm	100...300	100	450
Asennussyvyys, mm	40 ³⁾	30 ³⁾	70 ³⁾

¹⁾ Riippuu lattiarakenteesta.

²⁾ Laskennallinen raja-arvo, riippuu lattianpäällysteestä, huonetilan käyttötarkoituksesta ja keskimääräisistä lämpöhäviöistä. Tiloissa, joissa säännöllisesti työskennellään seisten, lattian pintalämpötila on enintään +25 °C.

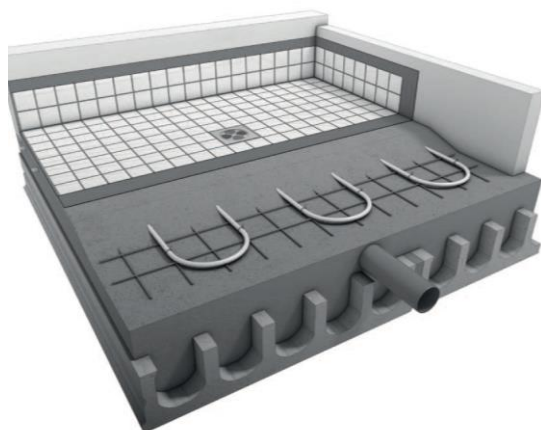
Asuinhuoneiden lattian pintalämpötila on enintään +26...+27 °C.

Kylpyhuoneissa, WC:ssä, uimahalleissa ja tiloissa, joita käytetään harvoin, lattian pintalämpötila on enintään +30 °C.

Varastoissa, autotalleissa ja vastaavissa tiloissa lattian pintalämpötilana voidaan käyttää vähimmäisarvoa +23 °C, jos lämpötehontarve sen sallii.

³⁾ Asennussyvyys riippuu putkien asennusvälistä ja lattiarakenteesta.

Pohjakerroksessa lattialämmityspotkisto asennetaan kerrostaloissa suoraan raudoitusverkkoon, kun pohjarakenne on maanvarainen laatta. Maanvaraisen laatan alla oleva maantäyttö toimii eristeenä, eikä erillistä eristettä tarvitse tällöin asentaa. Käytettäessä kololaattaa märkätiloissa tehdään myös lattialämmitys ilman eristettä valumistyön helpottamiseksi. Kuvassa 9 esitetään lattialämmityksen asennus märkätilassa.



Kuva 9. Märkätilan lattialämmitysratkaisu [3].

Muiden pohjarakenteiden käytössä sekä kerrostalon muissa kerroksissa lattialämmityspotkisto asennetaan kantavan laatan päälle asennetun eristeen päälle. Eristeen käytöllä on suuri merkitys lämmön siirtymissuunnan kannalta. Asennettaessa putket välipohjaan ilman eristettä noin 30–50 % lämmöstä siirtyy alaspäin, pintamateriaalista ja välipohjarakenteesta riippuen. [3]

3.2.2 Jakotukit ja niiden sijoittaminen

Lattialämmityssuunnittelun alkuvaiheessa on määritettävä jakotukkien sijainnit ja huonetermostaattien paikat. Asuinkerrostalossa jakotukit sijoitetaan useimmiten huomattomaan paikkaan asuntoihin mahdollisimman keskeiseen paikkaan, jotta piirien siirtomatkat ovat mahdollisimman lyhyet. On myös mahdollista asentaa jakotukit seiniin upotettaviin kaappeihin porraskäytäviin. Tällöin putkimenekki kasvaa pitkien siirtomatkojen takia, asennus on hankalampaa ja järjestelmästä saatava teho on alhaisempi.

Jakotukin valmistaja ilmoittaa maksimipiirimäärän jakotukkia kohden. Piirimäärän ylittyessä maksimimäärän jaetaan piirit useammalle jakotukille. Siirtomatkojen ollessa pitkät

voi myös useamman jakotukin käyttö olla tarpeen suurten painehäviöiden välttämiseksi piireissä. Vaikka piirejä on mahdollista vetää yhdestä kerroksesta toiseen, käytetään omaa jakotukia jokaisessa kerroksessa, jotta ilmaa ei kerry piireissä jakotukin korkeuden yläpuolelle.

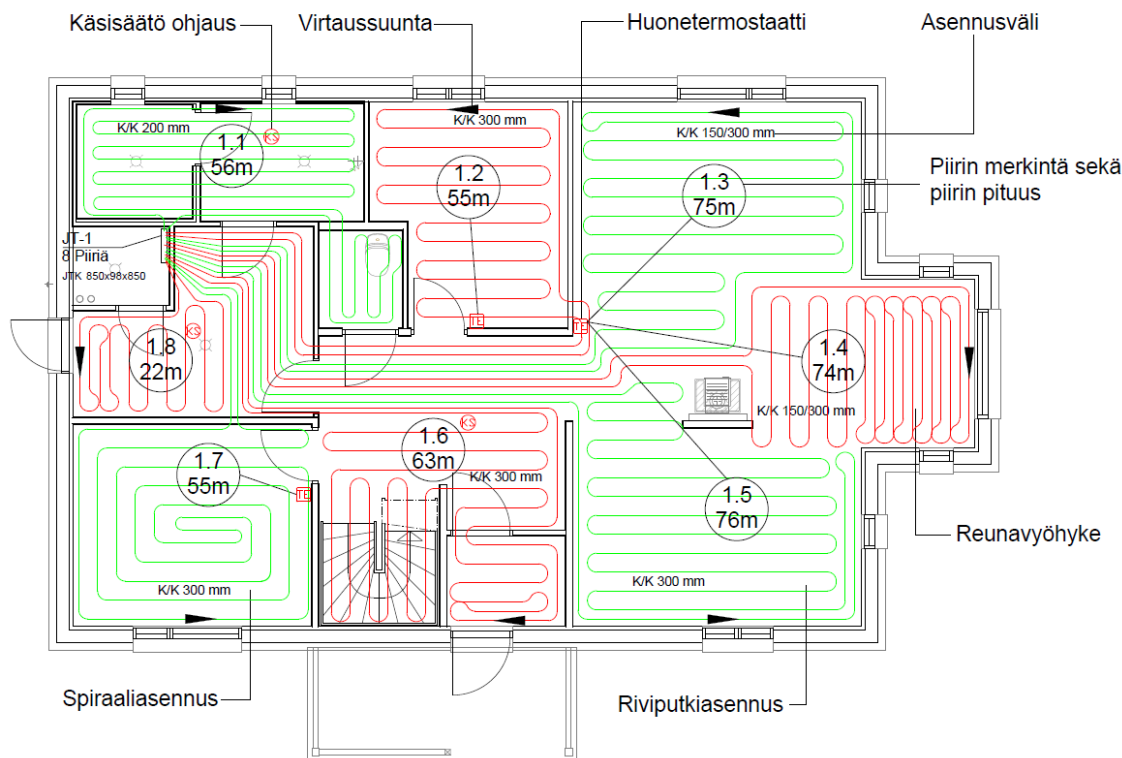
Jos lattialämmityksen siirtoputket jakotukilta toiseen tilaan kulkevat pitkän matkan tai jos putket tuodaan seinän kautta lattiaan, sijoitetaan putket suojaputkeen siirtomatkalla lämpöhäviöiden pienentämiseksi. Suojaputken ja lämmitysputken välille jäävä ilmakerros toimii eristeenä. Lähelle jakotukia tulee usein tiheä putkitus, ja tässäkin tapauksessa menoputket voidaan sijoittaa suojaputkeen lattian liiallisen lämpiämisen estämiseksi. Putket sijoitetaan suojaputkeen myös silloin, kun ne asennetaan liikuntasauaman yli tai kantavan seinän läpi, jotta rakenteiden liikkuminen ei rasittaisi putkea. [15]

3.2.3 Putkitus ja suunnitteluratkaisut

Piirit tuodaan jakotukista lattiassa lämmitettävään tilaan. Yleensä jokainen huonetila muodostaa oman lattialämmityspiirin, jota ohjataan omalla huonetermostaatilla. Isot tilat lämmitetään useammalla lattialämmityspiirillä, sillä piirin kasvaessa liian pitkäksi painehäviö kasvaa liikaa järjestelmän optimaalisen toiminnan kannalta. Lattialämmityspiirit suunnitellaan aina yhtenäisiksi ilman lattiarakenteeseen jääviä liitoksia. [10]

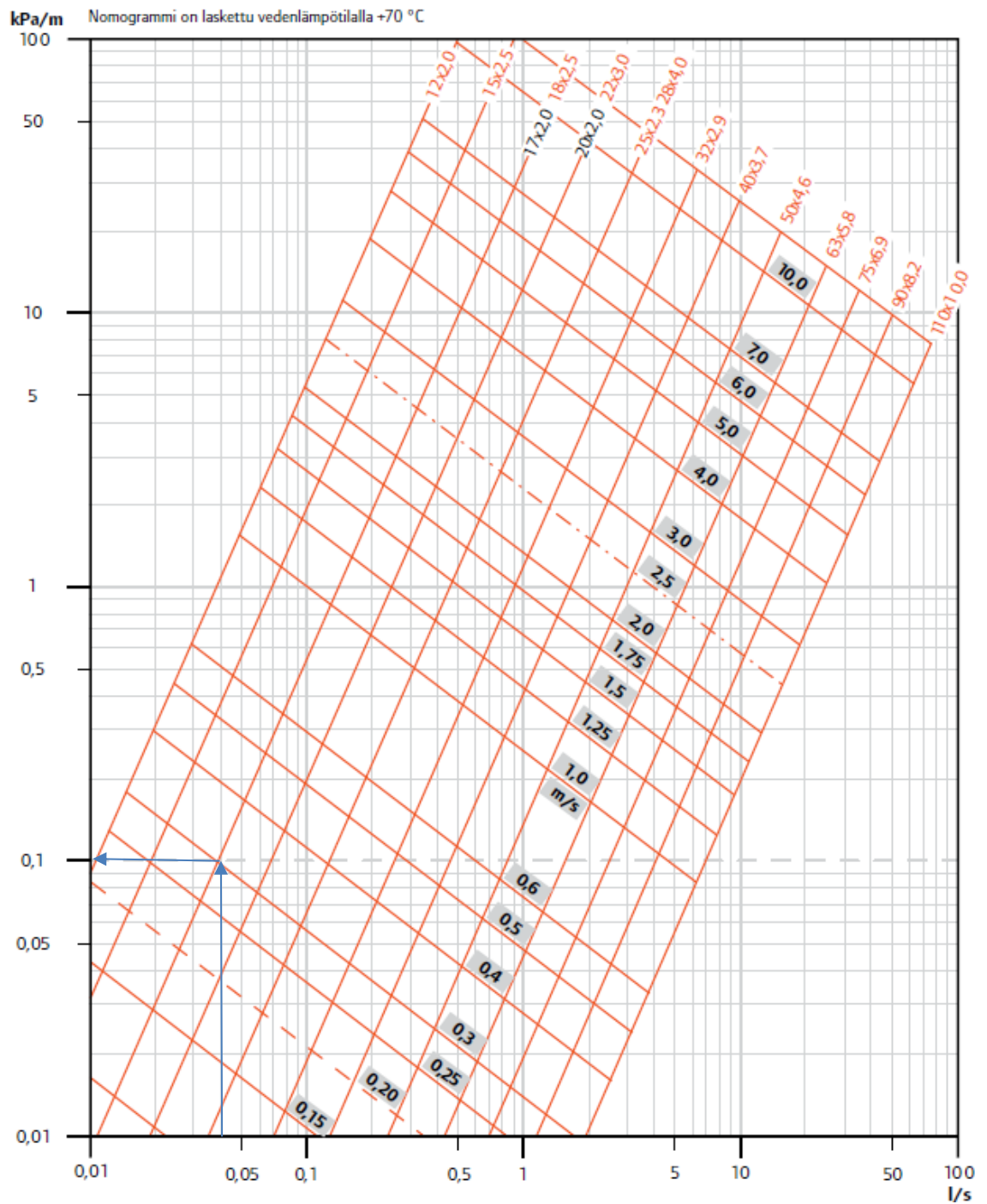
Kuvassa 10 esitetään pientalon lattialämmityssuunnitelma. Suunnitteluperiaate on sama pientalossa ja kerrostalossa. Lämmitysputket voidaan lattialämmityksessä asentaa joko spiraaliasennuksella tai riviputkiasennuksella. Spiraaliasennuksen hyöty on, että lämmönluovutus tasaantuu lämmitettävän pinnan yli, sillä meno- ja paluuputki kulkevat vierekkäin. Asennusteknisesti riviputkiasennus on kuitenkin helpompi toteuttaa.

Suuret ikkunapinta-alat ja ulkoseinät aiheuttavat enemmän lämpöhäviöitä kuin muut seinät. Pienentämällä asennusväliä saadaan kohdistettua suurempi lämmönluovutus näille alueille, joita kutsutaan reunavyöhykkeiksi. Vesikiertoisessa lattialämmityksessä on tärkeää johtaa menovesi kiertämään kylmää reunavyöhykettä pitkin, sillä piirin alussa luovutettava teho on suurempi kuin piirin lopussa. Tuomalla vesi väärään suuntaan voidaan menettää merkittävästi lämmitystehosta huonetilaan [3].

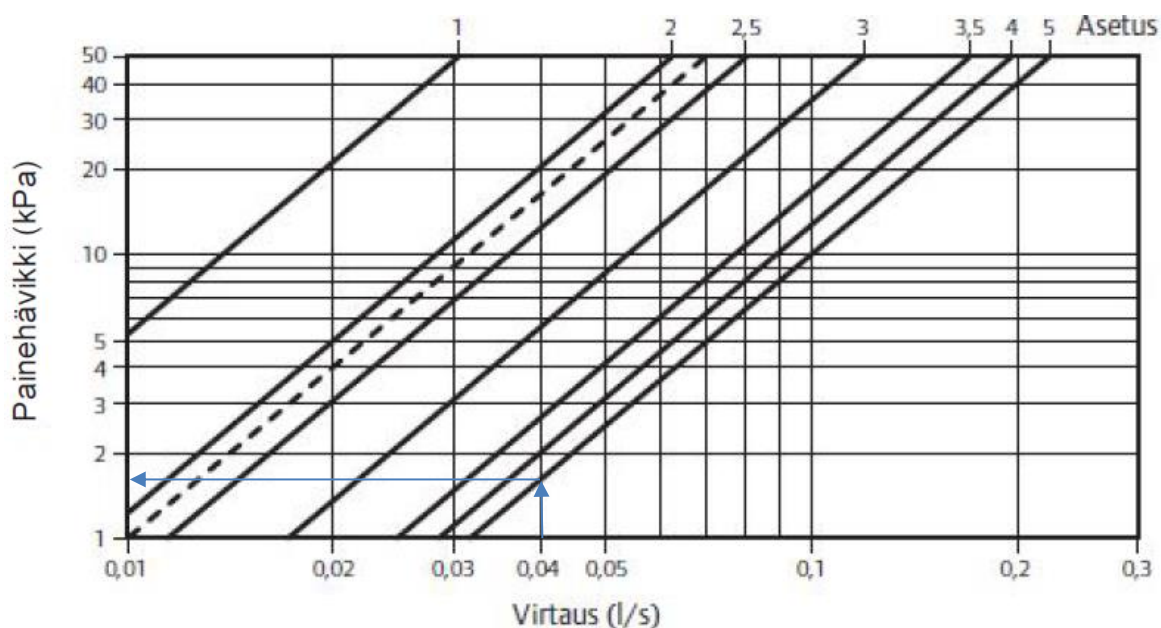


Kuva 10. Lattialämmityksen putkitusesimerkki.

Lattialämmitysjärjestelmän painehäviö riippuu lämmityspiirien pituuksista ja halutusta lämmönluovutuksesta. Jakotukin pisin lämmityspiiriin menoventtiili asetetaan esisäätöarvoon 5, jolloin venttiili on täysin auki. Muiden piirien esisäätöarvot lasketaan siten, että kokonaispainehäviöt ovat tasapainossa pisimmän piirin kanssa. Kuvassa 11 on esitetty Uponor Comfort Pipe-putken painehäviöt metriä kohden virtaaman riippuen. Esimerkkitilanteessa jakotukin pisin putkipiiri on 80 metriä, virtaama 0,04 l/s ja käytössä on putki 17x2,0 mm. Tällöin saadaan piirin putken painehäviöksi $0,1 \text{ kPa/m} \cdot 80 \text{ m} = 8 \text{ kPa}$. Kuvassa 12 esitetään Uponor Vario Plus-meno- ja paluujakotukkien painehäviöt meno- ja kotukin venttiilin asennosta riippuen toimilaitteen ollessa täysin auki. Virtaaman ollessa 0,04 l/s painehäviö on noin 1,4 kPa esisäätöarvolla 5. Vaikeimman piirin kokonaispainehäviö on tällöin $8 \text{ kPa} + 1,6 \text{ kPa} = 9,6 \text{ kPa}$. Seuraavaan jakotukkiin liitetyn lämmityspiirin pituus on 60 metriä ja virtaama 0,03 l/s. Painehäviöksi tulee $0,06 \text{ kPa/m} \cdot 60 \text{ m} = 3,6 \text{ kPa}$. Jotta painehäviöt olisivat tasapainossa, on tämän piirin painehäviöön lisättävä $9,6 \text{ kPa} - 3,6 \text{ kPa} = 6 \text{ kPa}$. Kuvan 12 mukaan piirin esisäätöarvo tulisi asettaa arvoon 2,5, jotta painehäviö on 6 kPa. Lattialämmitysjärjestelmän kokonaispainehäviöt ylittävät harvoin 20 kPa asuinrakennuksissa.



Kuva 11. Uponor Comfort Pipe-putken painehäviödiagrammi [16].



Kuva 12. Vario Plus-meno- ja paluujakotukin yhteiset painehäviöt esisäätöarvosta ja virtaamasta riippuen [17].

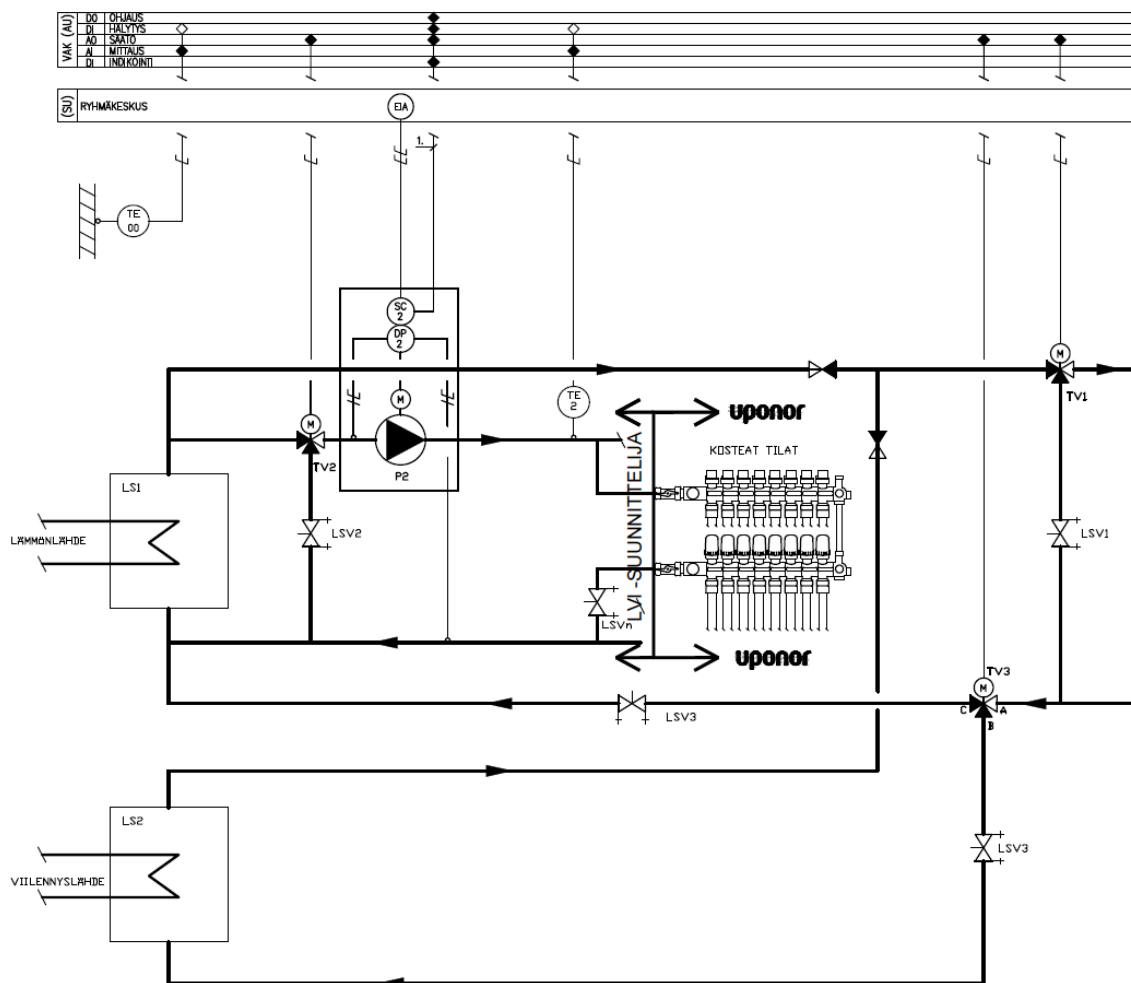
3.2.4 Lattialämmitys ja -viilennys kytkentäkaavio

Kuvissa 13 ja 14 esitetään lattialämmityksen ja -viilennyksen kytkentäkaavio. Lattia-lämmitykselle tulee rakentaa oma lämmitysverkosto, sillä sitä ei saa veden lämpötila-erojen takia kytkeä patteriverkostoon. Mikäli kohteeseen halutaan lattiaviilennys, rakennetaan kylmälle vedelle oma viilennyslähde pumppuineen ja säätimineen. Kuvien lämpötila-anturit TE1 ja TE2 mittaavat menoveden lämpötilaa ja antavat tarpeen mukaan signaalit kolmitieventtiileille TV2 ja TV1 säätää menoveden virtaamia, jotta lämpötila pysyy ulkolämpötilan TE00 verrannollisessa asetusarvossa.

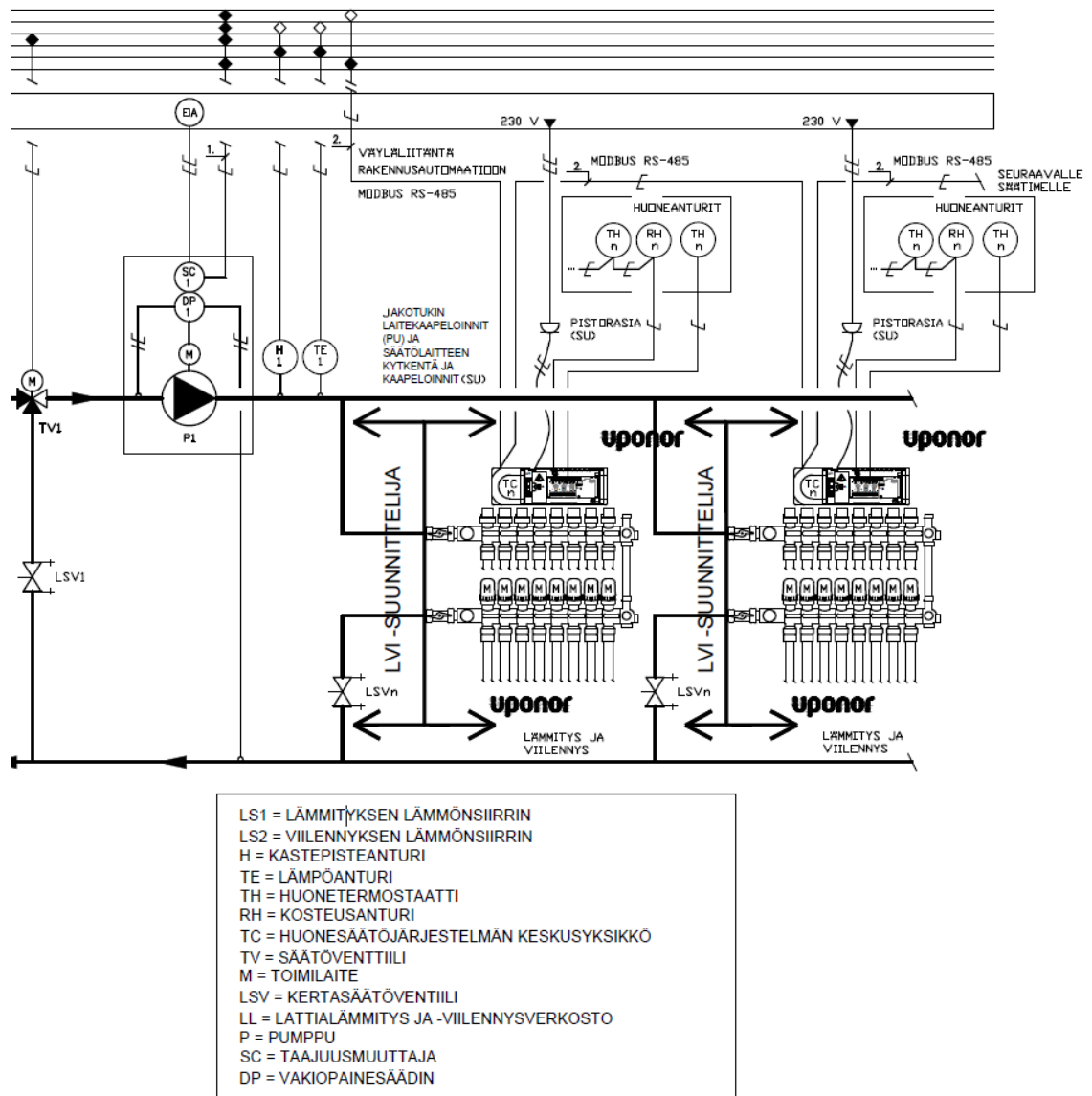
Kuvien pumput P1 ja P2 sekä taajuusmuuntajat SC1 ja SC2 pitävät paine-eron verkostossa vakiona säätämällä pyörimisnopeutta paine-eroanturien DP1 ja DP2 arvojen mukaan. Lämmityksessä TV3 kolmitieventtiiliin viilennyksen paluuputket ohitetaan pitämällä haara A–B kiinni, haara A–C auki. Asuntokohtainen keskusyksikkö säätää huonetilojen lämpötiloja tilakohtaisten huonetermostaattien mittaustulosten perusteella ohjaamalla lämmityspiirien toimilaitteet auki tai kiinni.

Viilennystoiminnassa tilojen sisäilmaolosuhteet säädetään RH-anturin mittaustulosten mukaan niin, että lattiarakenteen lämpötila pidetään jatkuvasti kastepisterajan yläpuolel-

la. Keskusyksikkö ohjaa piirit kiinni tai auki riippuen huonetermostaattien asetusarvoista. Kolmitieventtiilien TV3 haarat A–B pidetään auki ja A–C kiinni. Anturit H1 ja TE1 mittaavat runkoputken kastepistelämpötilaa lämmönjakohuoneen ulkopuolelta ja menoveden lämpötilaa säädetään siten, että menoveden lämpötila pidetään aina vähintään 1 °C kastepistelämpötilan yläpuolella. Asuntojen keittiön yhteyteen asennetaan kosteutta mittaava RH-huonetermostaatti, joka antaa signaalin sulkea viilennyspiirin kosteuden noustessa yli 75 %. Kosteuden noustessa yli 80 % kaikki asunnon piirit suljetaan, ja kun suhteellinen kosteus on jälleen laskenut alle 70 %, alkaa viilennysjärjestelmä toimia normaalisti.



Kuva 13. Lattialämmityksen ja -viilennyksen verkosto toteutettuna kolmitieventtiileillä. Kosteiden tilojen lämmityspiirit ohjataan erikseen, jotta niissä voidaan pitää ympärivuotuisen lämmityksen taakkaan rakenteiden kuivumisen. [3]



Kuva 14. Kuivien tilojen jakotukit ohjataan omalla kiertovesipumpulla. Lämpötiloja ohjataan asun-
 tokohtaisella keskusyksiköllä, joka asennetaan jakotukin yhteyteen. [3]

3.3 Toteutus

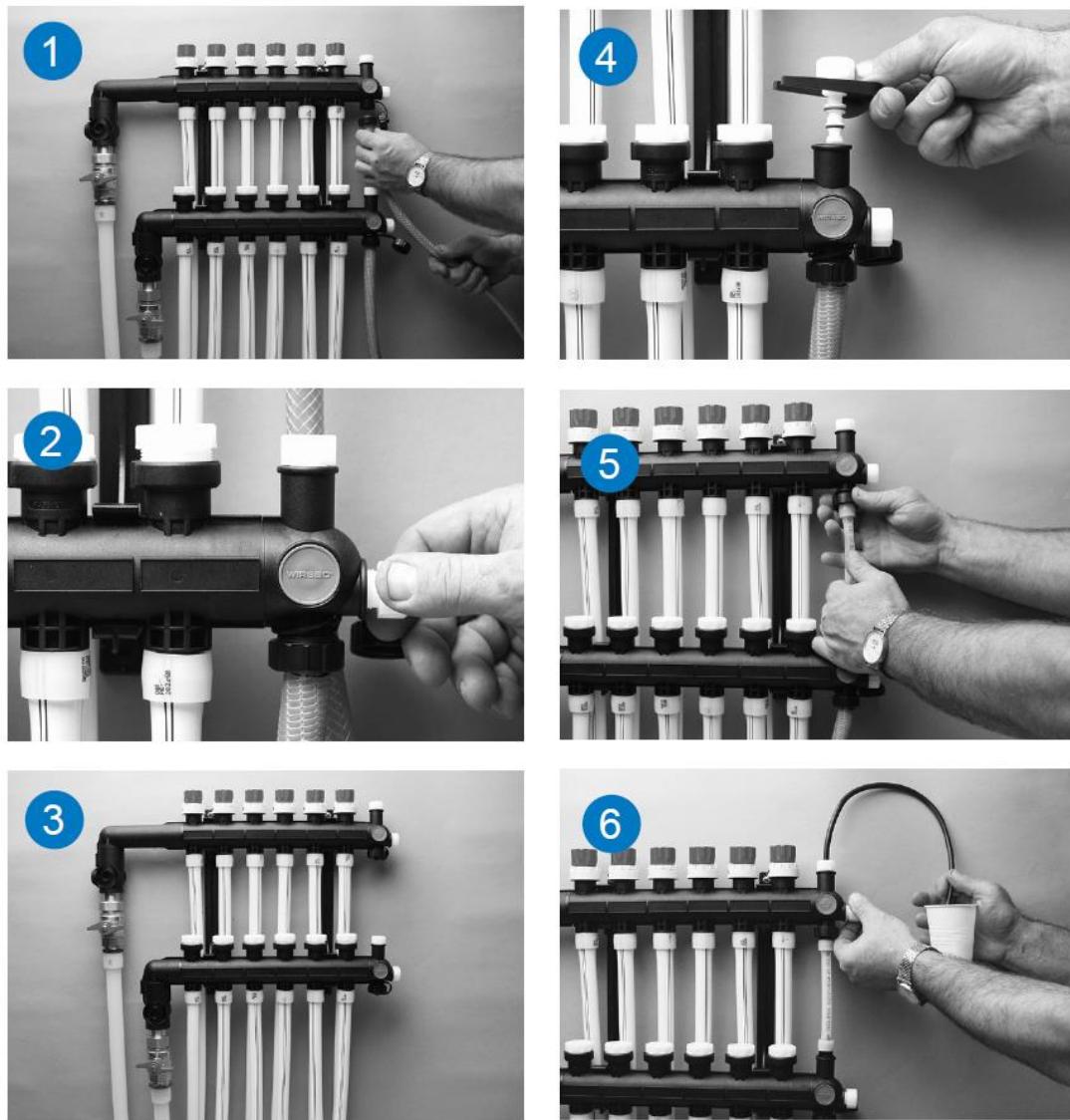
3.3.1 Lattialämmitysjärjestelmän täyttö ja koepaine

Huolellisesti tehdyllä verkostoveden täytöllä saadaan poistettua ylimääräinen ilma läm-
 mitysverkostosta, ja varmistetaan lämmityksen hyvä toiminta. Täyttövaiheet esitetään
 kuvassa 15. Ne suoritetaan seuraavassa järjestyksessä:

1. Jakotukkien sulkuventtiilit, piirien meno- sekä paluuventtiilit suljetaan. Jakotukin paluupuolen päätyyn liitetään täyttövesiletku. Menopuolen jakotukin päädyistä ohjataan vesi letkulla viemäriin.
2. Jakotukkien päädyssä olevat täyttöventtiilit avataan, jotta vesi pääsee virtaamaan piireihin. Tämän jälkeen avataan yhden piirin meno- ja paluuventtiilit, lasketaan vettä piiriin, kunnes kaikki ilma on poistunut, ja suljetaan piirin venttiilit. Prosessi toistetaan piiri kerrallaan, kunnes kaikki piirit on täytetty ja ne ovat tyhjentyneet ilmasta.
3. Täyttöventtiilit suljetaan ja letkuliittimet poistetaan.

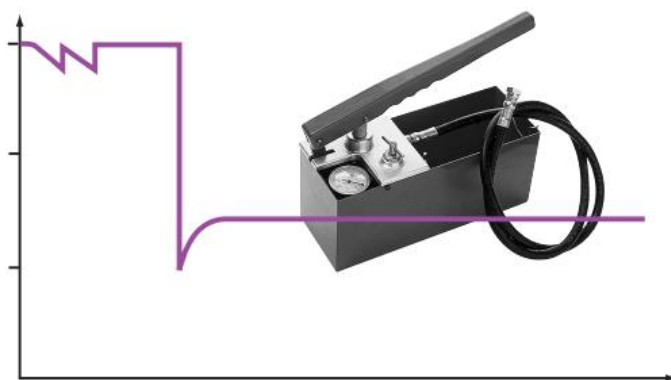
Jatkuva lämpimän veden kierto jakotukissa voidaan varmistaa asentamalla ohitusputki meno- ja paluujakotukin väliin. Ohitusputken asennus esitetään kuvan 15 vaiheissa 4–6. Ohitusputkella kierretään vettä, kun kaikki muut piirit ovat suljettu. Ohitusputken käyttö on yleisempi pientalokohteissa, joissa kaikki lämmityspiirit saattavat olla suljettuna samaan aikaan. Kerrostaloissa käytetään harvemmin ohitusputkea, sillä esimerkiksi märkätilan piirissä pidetään usein virtaama käsisäättöventtiilillä vuoden ympäri.

4. Täyttöventtiilit suljetaan. Paluujakotukin ilmausruuvi poistetaan sille tarkoitetulla työkalulla.
5. Ohitusputki liitetään meno- ja paluujakotukin väliin.
6. Menojakotukin ilmausruuviin liitetään ilmausletku. Täyttöventtiiliin avataan ja lasketaan vettä ilmausruuvien kautta, kunnes ilma on poistunut. Täyttöventtiilit suljetaan ja letkuliittimet poistetaan.



Kuva 15. Lattialämmitysverkoston täyttövaiheet [17].

Verkoston painekoe voidaan suorittaa joko ilmalla tai nesteellä. Ellei erillistä ohjeistusta painekokeen suorittamiseen ole, pumpataan verkostoon 1,5-kertainen paine järjestelmän käyttöpaineeseen nähden verkoston ollessa täytetty ja ilmatu. Tätä painetta ylläpidetään 30 minuutin ajan, jonka jälkeen tarkistetaan liitoskohdat silmämääräisesti. Tämän jälkeen tyhjennetään verkostoa, kunnes paine on puolet käyttöpaineesta ja suljetaan tyhjennysventtiili, jolloin virtauksen katkaistun jälkeen paineen pitäisi nousta hieman. Paine pidetään verkostossa vielä 90 minuutin ajan. Paineen laskiessa tänä aikana järjestelmässä on vuoto. [10, s. 161]. Kuvassa 16 esitetään onnistuneen painekokeen painekäyrä. Verkostossa oleva aine saattaa lämmitä tai viilentyä painekokeen aikana, joten hidasta paineenvaihtelua saattaa esiintyä myös verkoston ollessa täysin tiivis.



Kuva 16. Paineokeen viitteellinen diagrammi. Pystyakselissa näyttää verkoston paineen ja vaaka-akseli näyttää ajan [17].

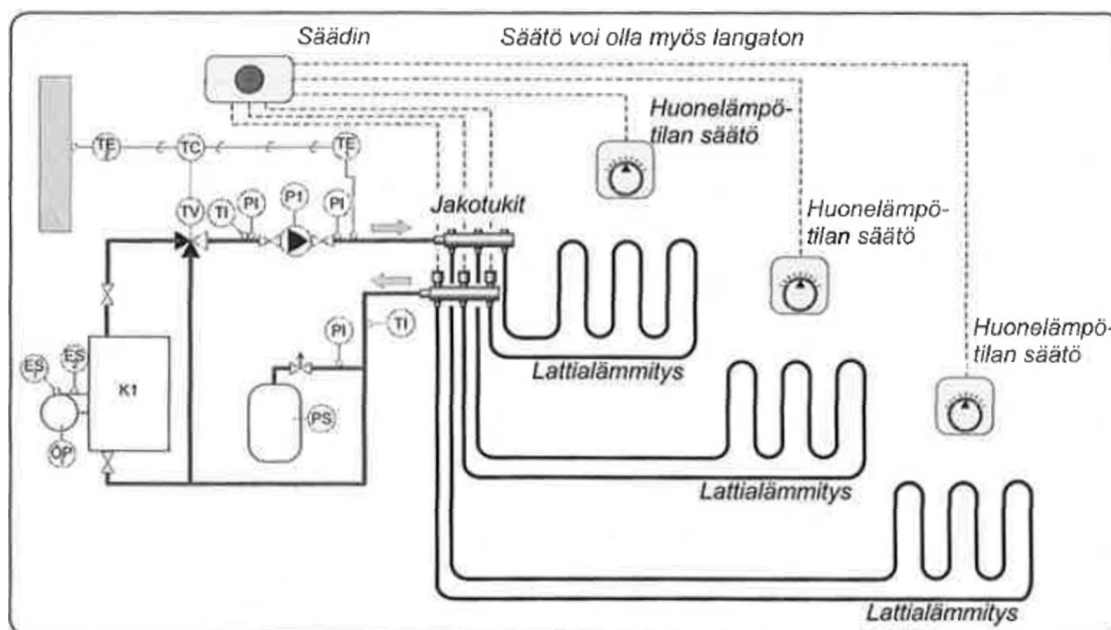
3.3.2 Käyttöönotto

Lattialämmityksen käyttöönotossa on edettävä riittävän hitaasti, jotta betonivalu ei kuivu liian nopeasti aiheuttaen halkeamia. Ennen lämmön kytkemistä lattialämmitysverkostoon, annetaan betonivalun kuivua vähintään kolme viikkoa. Kytkemisen jälkeen aloitetaan ohjaamalla verkostoon 20 °C:n lämpöistä vettä, jota kierrätetään verkostossa muutaman päivän. Tämän jälkeen nostetaan lämpötilaa 2–4 °C:lla kerrallaan muutaman viikon välein, kunnes päästään normaaliin käyttölämpötilaan. [11]

3.4 Lattialämmityksen säätöjärjestelmät

3.4.1 Toiminta

Tasaisen lämpötilan saavuttamiseksi lattialämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilan tulee olla ulkolämpötilaohjattu, jolloin säätökeskus muuttaa menoveden lämpötilaa säästöventtiilillä ulkolämpötilan muuttuessa. Jotta voidaan ohjata huonekohtaisia lämpötiloja, asennetaan jokaiselle jakotukille oma säätöjärjestelmä, joka koostuu keskusyksiköstä, toimilaitteista sekä huonetermostaateista. Kuvassa 17 on esitetty säätöjärjestelmän toimintaperiaate, jossa jokaista piiriä ohjataan omalla termostaatilla. Huonekohtainen lämpötilan ohjaus toteutetaan asentamalla jakotukin venttiilien päälle piirikohtainen toimilaitte, joka avautuu huonetermostaatin signaalista huonelämpötilan mukaan.



Kuva 17. Jakotukkikohtainen säätö- tai keskusyksikkö ohjaa jakotukissa olevia toimilaitteita huonekohtaisten huonetermostaattien ohjaamina [10, s. 162].

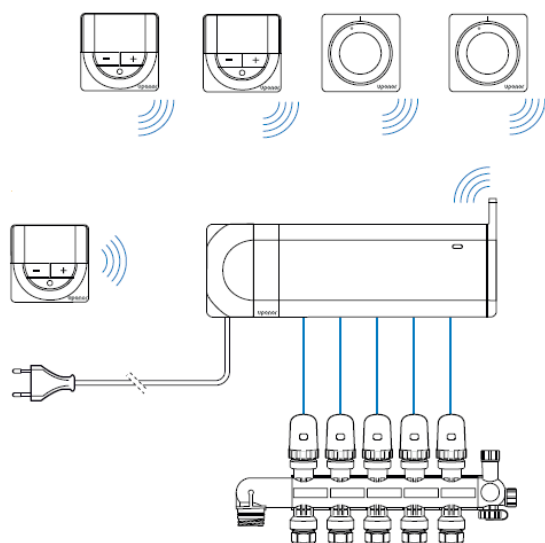
Huonetermostaatti pienentää tai katkaisee huoneen lämmityspiirin vesivirtaamaa, kun huonetermostaattiin asetettu lämpötila on saavutettu. Nykyään on olemassa huonetermostaatteja jotka mittaavat huonelämpötilan lisäksi myös säteilylämpöä. Tällä ominaisuudella huonetermostaatti pystyy tunnistamaan esimerkiksi huoneeseen tulleen ihmisjoukon säteilylämmön ja sulkee lämmityspiirin ennakkoidusti huoneen ylikuumenemisen estämiseksi. Jos huonelämpötilaa ei saa nostettua huonetermostaatilla toivottuun lämpötilaan, lämpötilan korottamiseksi on lämmityskeskuksesta joko nostettava järjestelmään syötettävän veden lämpötilaa tai säädettävä lämmityspiirin virtaamaa suuremmaksi.

Lattialämmityksellä on mahdollista pitää ympärivuotista lämmitystä esimerkiksi märkätiloissa tai wc-tiloissa. Tällöin varustetaan kyseiset lämmityspiirit käsisäätöpyörällä, jolla ohjataan piirien lämpötilaa portaattomasti huonelämpötilasta riippumatta. On myös mahdollista asentaa märkätilan lattiaan anturi, joka kytketään huonetermostaattiin märkätilan ulkopuolelle kuivalle seinälle. Haluttaessa voi kesällä sulkea kuivien tilojen piirit joko jakotukin piirikohtaisilla sulkuventtiileillä tai runkojohdoista, jos kuiville tiloille on omat lämmitysveden nousulinjat. [13]

Lattiaviilennystoiminto toimii lämmitykseen verrattuna käänteisesti. Toimilaite avautuu, kun huonelämpötila nousee liian korkeaksi, päästään viileää vettä piireihin. Viilennyksessä on otettava suhteellinen kosteus huomioon, sillä liian lämmin ja kostea sisäilma voi aiheuttaa kondensoitumista rakenteissa. Ongelman välttämiseksi huonetermostaatin on oltava kosteusanturilla varustettu, jotta huonetermostaatti voi antaa signaalin keskusyksikölle ja keskeyttää viilennyksen ilman suhteellisen kosteuden noustessa liian korkeaksi. [8]

3.4.2 Smatrix-säätöjärjestelmä

Smatrix on Uponorin säätöjärjestelmä lattialämmityksen ja -viilennyksen ohjaukseen. Järjestelmä koostuu keskusyksiköstä, huonetermostaateista, toimilaitteista sekä mahdollisesta käyttöpaneelistä. Smatrixin huonetermostaattien ja keskusyksikön välinen tiedonsiirto voidaan ohjata joko langattomasti (Smatrix Wave) tai langallisesti (Smatrix Base). Huonetermostaatit ovat säätöpyörällisiä tai digitaalisella näytöllä varustettuja. Lisäksi on olemassa julkisiin tiloihin tarkoitettuja termostaatteja, joiden säätöarvo asetetaan termostatin takaa. Kuvassa 18 on esitetty Smatrix Wave-langaton säätöjärjestelmä. Kuvan huonetermostaatit ovat langattomasti yhteydessä keskusyksikköön, joka säätää paluujakotukkiin asennetut toimilaitteet päälle tai pois huonetermostaattien asetusarvojen mukaan. Huonetermostaatit ovat joko säätöpyörällä tai digitaalisella näytöllä varustetut ja voivat mallista riippuen sisältää eri mittausominaisuuksia. Toimilaitteet kytketään johdoilla keskusyksikköön sekä Smatrix Wave- että Smatrix Base säätöjärjestelmissä. [18]



Kuva 18. Smatrix Wave-langaton säätöjärjestelmä. [19]

Smatrix-säätöjärjestelmät voidaan myös kytkeä taloautomaatioon. Tämä mahdollistaa esimerkiksi huonetermostaattien lämpötilojen etäseurannan. Ongelmatilanteissa lämmitysverkoston toiminnan vianmääritys on tehokkaampaa etäseurannan avulla, sillä kerätyn datan avulla voidaan todeta, missä ja milloin lämmitysjärjestelmä on toiminut tai ollut toimimatta vaatimusten mukaisesti.

3.4.3 Toimilaitteen toiminta

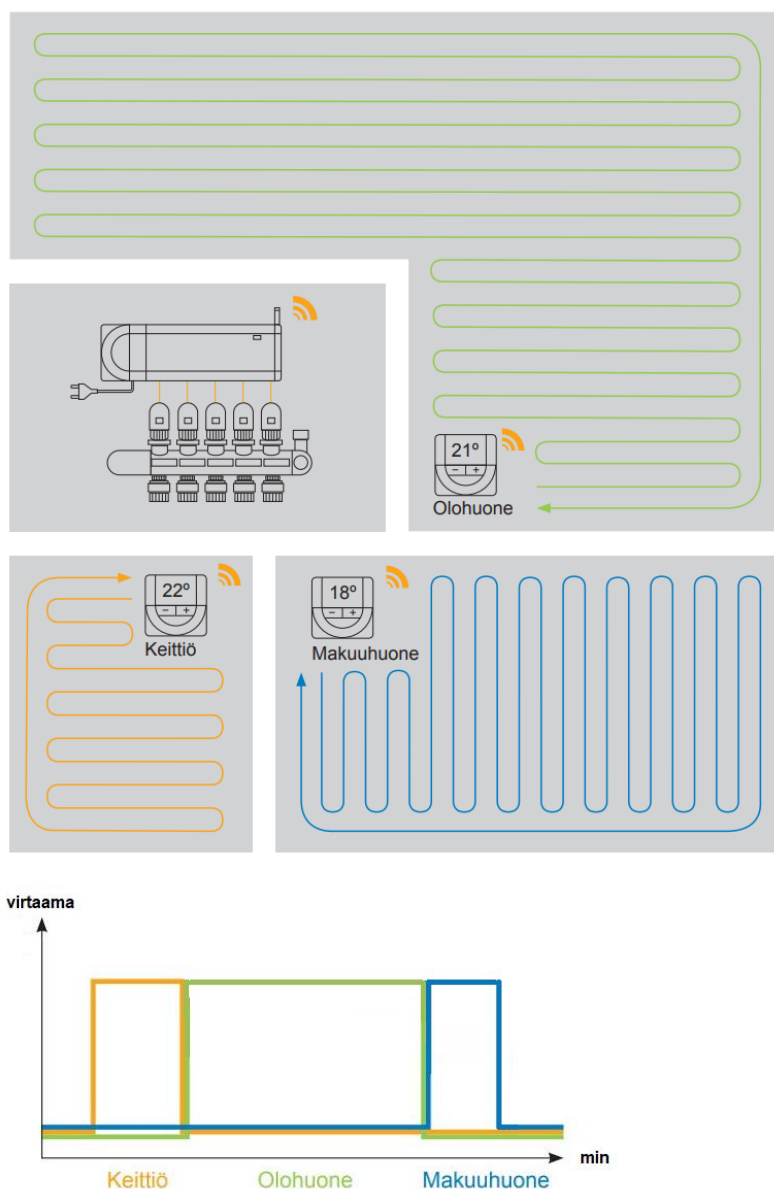
Kuvassa 19 on Uponor Vario Plus-toimilaite alhaalta päin kuvattuna. Toimilaite asennetaan jakotukin säädettävän piirin venttiilille avaamaan ja sulkemaan venttiilin karaa, joka näkyy kuvan oikealla puolella. Jännitteettömänä toimilaitteen harmaa ankkuri on kiinni asennossa, työntäen piiriin venttiilin karaa alas, jolloin piiriin ei virtaa vettä. Huonetermostaatin mitattua asetusrvoa matalamman lämpötilan, se lähettää keskusyksikölle signaalin huoneen lämpötilan nostamiseksi, ja toimilaitteeseen syötetään sähkövirtaa. Sähkövirta saa toimilaitteessa olevan vahan laajenemaan, minkä seurauksena toimilaitteen ankkuri nousee, piirin venttiili avautuu ja piiriin virtaa vettä. Huonetermostaatin mitatessa asetetun lämpötilan se lähettää keskusyksikölle signaalin, jolloin sähkövirta toimilaitteeseen katkaistaan ja venttiili sulkeutuu. Toimilaitteen avautuminen ja sulkeutuminen kestää noin yhden minuutin.



Kuva 19. Usonor Vario Plus-toimilaite.

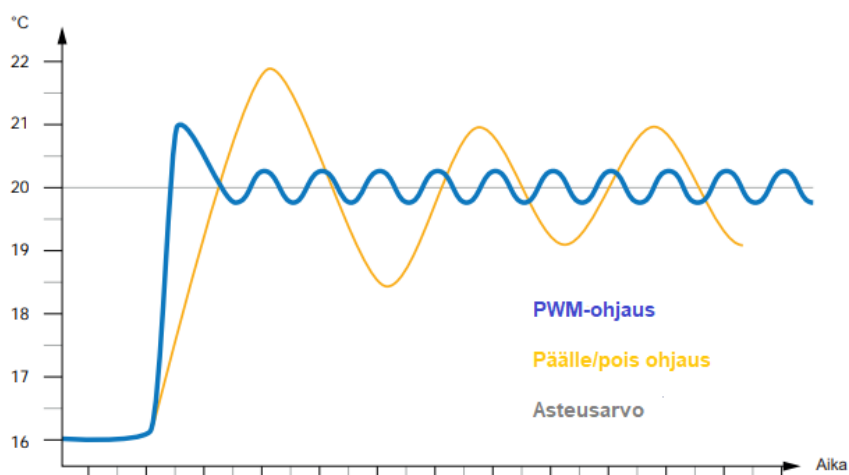
3.4.4 PWM-ohjaus

Smatrix-säätöjärjestelmässä toimilaitteet voidaan ohjata joko päälle/pois toiminnalla tai pulssinleveysmodulaatiolla. Pulssinleveysmodulaatiolla, eli PWM-ohjauksella (englanniksi Pulse Width Modulation) lähetetään lämmityspiireihin vettä sykleissä, ja Smatrixin keskusyksikkö oppii ajan myöten tunnistamaan yksittäisten huoneiden todellisen energiantarpeen. Tämä tapahtuu huonetermostaatin havaittua huonelämpötilan liian suuren tai liian pienen lämpötilamuutoksen tietyn pituisessa syklissä huonetermostaatin asetusarvoon verrattuna. Seuraavan syklin pituus säätyy tämän jälkeen vastaamaan huonetermostaatin asetusarvoa tarkemmin. Kuvassa 20 esitetään Smatrix PWM ohjauksen toiminta. Kuvan yläpuolella on eri huoneiden piiripituudet sekä huonetermostaattien asetusarvot. Diagrammi näyttää syklien suhteelliset pituudet sekä huonetermostaattien mitaamat lämpötilat. Smatrix-järjestelmän PWM-ohjausta kutsutaan myös automaattiseksi tasapainotukseksi. [20]



Kuva 20. Smatrix PWM ohjaus, eli automaattinen tasapainotus [18].

Uponorin mittausten mukaan Smatrixin PWM ohjaus voi säästää jopa 6 % energiakustannuksissa huonelämpötilan säätöjärjestelmiin verrattuna, jotka ohjautuvat pelkästään päälle/pois ohjauksella. Kuvassa 21 havainnollistetaan PWM-ohjauksen nopea reagointiaika verrattuna perinteiseen päälle/pois ohjaukseen. [18]



Kuva 21. PWM-ohjaus verrattuna päälle/pois ohjaukseen [18].

3.3.3 Smatrix-järjestelmän käyttöönotto

Kaikille jakotukeille asennetaan oma keskusyksikkö ohjausta varten. Keskusyksikkö asennetaan jakotukin läheisyyteen jakotukkikaappiin, kiskolle tai seinälle. Smatrix-säätöjärjestelmien keskusyksiköt ovat moduulirakenteisia, eli niihin voidaan liittää lisäosa siltä varalta, jos pitää ohjata enemmän toimilaitteita kuin keskusyksikkömoduulissa on alustavasti tilaa. Smatrix Wave -keskusyksiköllä voidaan ohjata enintään kuutta huonetermostaattia ja kahdeksaa toimilaitetta ilman lisäosaa. Kytkemällä lisäosa keskusyksikköön voidaan ohjata 12 huonetermostaattia ja 14 toimilaitetta. Kuvassa 22 on keskusyksikkö asennettuna jakotukkikaappiin. Jakotukkien yläpuolelle on asennettu Smatrix Wave -keskusyksikkö, johon toimilaitteet ovat kytketty. [18]



Kuva 22. Uponor Vario Q&E-jakotukit asennettuna jakotukkikaappiin kerrostalon porraskäytävässä [17].

Kun keskusyksikkö on asennettu paikalleen, kiinnitetään toimilaitteet paluujakotukin venttiileille ja kytketään toimilaitteiden johdot keskusyksikköön. Keskusyksikkö kytketään pistorasiaan, minkä jälkeen rekisteröidään termostaatit keskusyksikköön kanavakohtaisesti vastamaan säädettävän piirin toimilaitetta. Langallisessa järjestelmässä kytketään huonetermostaattien johdot keskusyksikköön kanavakohtaisesti. [19]

Viimeiseksi asennetaan termostaatit paikoilleen huonetiloihin, ja tarkistetaan niiden toiminta. Tarkistus tehdään nostamalla huonetermostaatin asetus maksimiarvoon, jolloin toimilaitteen tulisi reagoida säätöön. Keskusyksikön kytkennöistä tehdään asennusraportti, joka luovutetaan käyttäjälle käyttöönoton yhteydessä. [19]

4 Lämmitysverkoston tasapainotus

Lämmitysverkoston tasapainotus alkaa rakennuksen tilojen lämpöhäviöiden määrittämisellä. Tilojen lämpöhäviöt riippuvat monesta eri tekijästä, kuten muun muassa sijainnista, rakennemateriaaleista ja ilmanvaihdosta. Lämpöhäviön ollessa tiedossa voidaan valita oikean kokoinen lämmönluovutin tilaan, jotta laskettu lämpöhäviö voidaan korvata lämmitysjärjestelmän tuottamalla teholla. Lämmönluovuttimen virtaama lasketaan yhtälöllä 3. Lämmitysmuodosta riippuen käytetään eri lämpöistä vettä lämmitysverkostossa. Energiategollisuus ry:n mukaan lämpötilasuositukset patteriverkoston meno- ja paluuvedelle ovat 45 °C ja 30 °C sekä lattialämmityksen vedelle 35 °C ja 30 °C [21, s. 8].

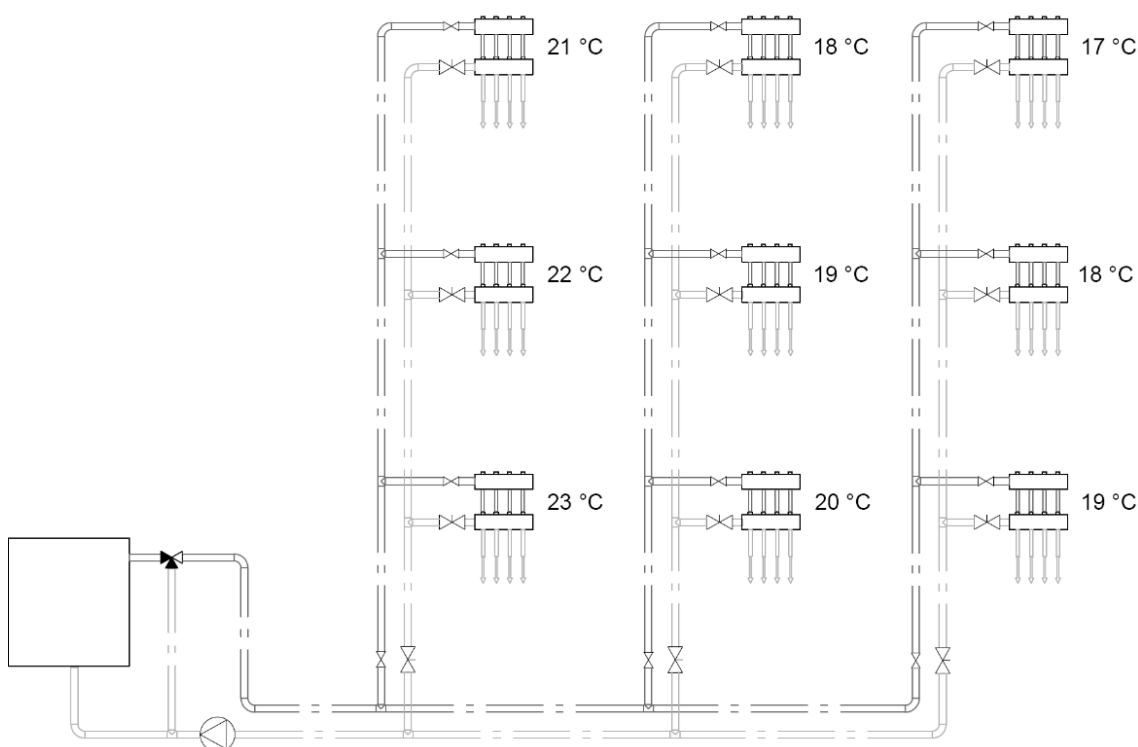
$$q_{mit} = \frac{\emptyset}{\rho * c_p * \Delta T} \quad (3)$$

, jossa

q_{mit}	vesivirta, dm ³ /s
\emptyset	teho, W
ρ	veden tiheys, kg/dm ³
c_p	veden ominaislämpökapasiteetti, J/kgK
ΔT	lämpötilaero, K

4.1 Perussäätö manuaalisella linjasäätöventtiilillä

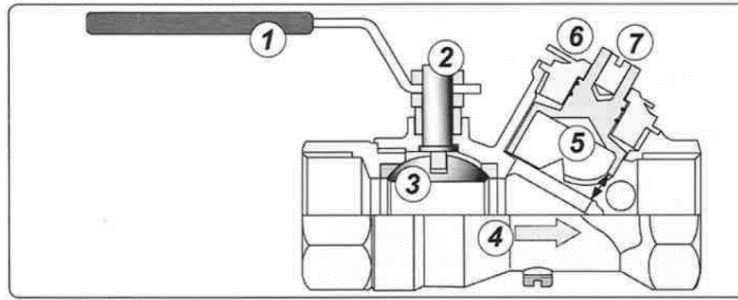
Lämmitysverkoston tasapainotukseen vaikuttaa monta eri fysiikan lakia, joista yksi on Pascalin laki. Pascalin lain mukaan paine leviää tasaisesti kaikkialle nesteeseen ulkoisen paineen johdosta. Toisin sanoen suljetussa verkostossa pumpun aikaansaama nestevirtaus jakautuu paineellisesti tasaisesti virtausreitistä riippumatta. Putkiverkostossa syntyy painehäviöitä johtuen kitkavastuksesta nesteen ja putken sisäpinnan välissä sekä kertavastuspainehäviöitä putken muutto-osissa. Pascalin laki ilmenee näin ollen säätämättömässä putkiverkostossa siten, että virtausvastuksiltaan helpoimmalle reitille virtaa eniten nestettä ja virtausvastuksiltaan vaikeimmalle reitille, joka useimmiten on kauimpana oleva, virtaa vähiten nestettä, kuten kuva 23 havainnollistaa.



Kuva 23. Säättämättömässä lämmitysverkostossa vesi jakautuu paineellisesti tasapainoon.

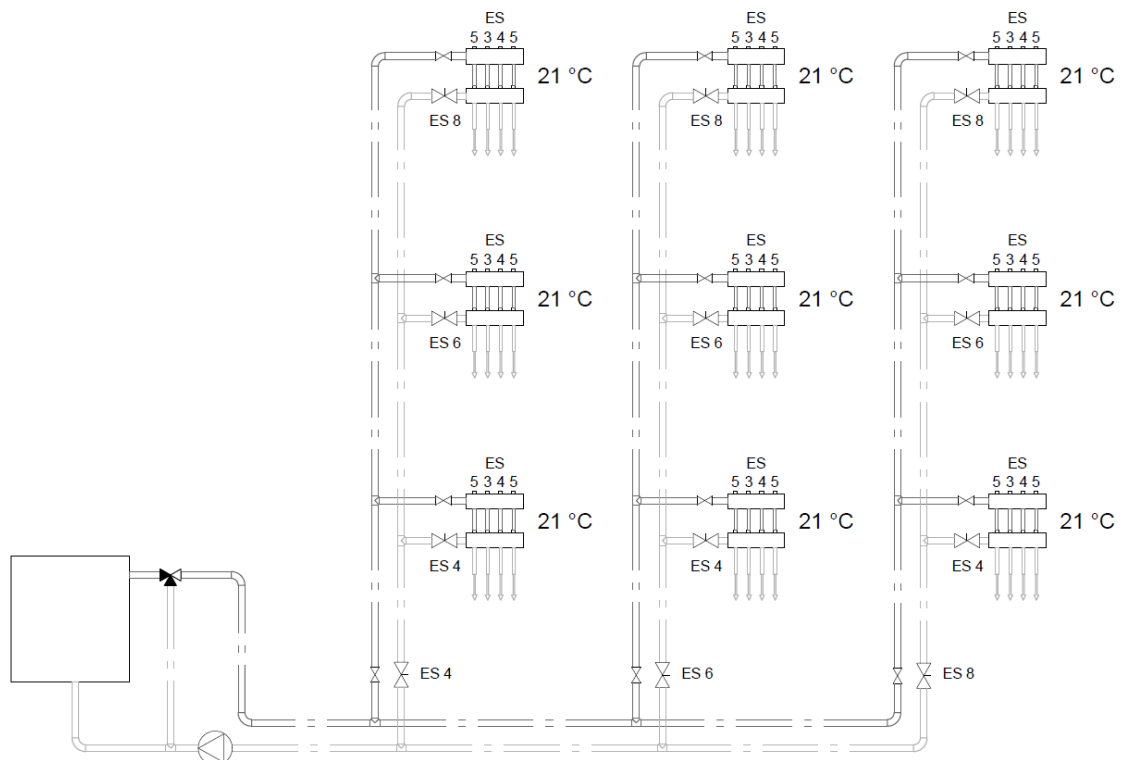
4.1.1 Manuaalinen linjasäätöventtiili

Linjasäätöventtiilillä aiheutetaan painehäviötä lämmitysverkoston virtausteknisesti helpompiin reitteihin tasapainottamaan eri reittien painehäviöt keskenään. Useimmiten linjasäätöventtiilit sijoitetaan lämmitysverkoston nousulinjan alapäähän paluupuolelle. Tämä mahdollistaa verkoston tyhjentäminen huoltotöitä varten. Linjasäätöventtiilissä on yleisesti sulkuventtiili, säätöosa, mittausyhteet sekä tyhjennyshana. Mittausyhteistä voidaan mitata virtausta verratakseen sitä suunniteltuun virtausarvoon. Esisäätöarvoasteikko eroaa linjasäätöventtiilin valmistajasta ja mallista riippuen. Esimerkiksi Oraksen linjasäätöventtiilissä asteikko on 0–10, missä 0 vastaa täysin kiinni olevaa säätöosaa ja 10 täysin auki olevaa [22]. Kuvassa 24 on leikkauskuva linjasäätöventtiilistä, jossa on yhdistetty pallosulkuventtiili sekä säätöosa.



Kuva 24. Leikkauskuva linjasäätöventtiilistä. 1 on palloventtiilin sulkukahva, 2 kara, 3 palloventtiili, 4 veden virtaussuunta, 5 säätökara, 6 numeroasteikko ja 7 kiristysruuvi [10, s. 86].

Lämmitysverkosto tasapainotetaan tekemällä kaikki virtausreitit virtausteknisesti yhtä vaikeiksi. Linjasäätöventtileiden tasapainottamisen lisäksi tasapainotetaan jakotukkien piirit keskenään. Näin saadaan tasainen lämpötilajako kaikissa lämmitettävissä tiloissa. Uponorin Vario Plus-jakotukissa esisäätöarvot ovat välillä 1–5, jossa 5 on täysin auki ja 1 täysin kiinni. Kuvassa 25 on havainnollistettu tasapainotettu lattialämmitysverkosto, jossa jokaiselle venttiilille on laskettu ja asetettu oma esisäätöarvo.



Kuva 25. Tasapainotettu lämmitysverkosto.

Oikean esisäätöarvon asettamiseksi linjasäätöventtiilille, on ensin laskettava tämän kapasiteettikerroin, eli k_v -arvo. K_v -arvo lasketaan yhtälöllä 4 linjasäätöventtiilin ainevirran ja painehäviön avulla. Venttiilien valmistajat ilmoittavat tuotetiedoissaan venttiilille asettavan esisäätöarvon lasketun k_v -arvon perusteella. [23, s. 3–4.]

$$k_v = \frac{36 \cdot q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (4)$$

, jossa

q_v virtaama, dm^3/s

Δp painehäviö, kPa

Koska venttiilien tehtävä on hallita painehäviöitä kokonaisessa järjestelmässä, voidaan varmistaa venttiilin oikeanlaisen toimivuuden laskemalla tämän vaikutusaste, jota kutsutaan venttiilin auktoriteetiksi. Auktoriteetilla osoitetaan venttiilin painehäviön suhde säädettävän piirin painehäviöön, ja se lasketaan yhtälöllä 5. Yleissääntönä on, että venttiilin auktoriteetti tulisi olla yhtä kuin tai suurempi kuin 0,5, jotta sen toiminta verkostossa olisi optimaalinen. [23, s. 27]

$$\beta = \frac{\Delta p_{sv}}{\Delta p_{sv} + \Delta p_{sp}} \quad (5)$$

, jossa

Δp_{sv} säätöventtiilin painehäviö, kPa

Δp_{sp} muun säädettävän piirin painehäviö, kPa

Lämmitysjärjestelmän tasapainottamiseen liittyy monia haasteita, eikä lämpötilojen epätasapainon syitä aina ole yksinkertaista todeta. On arvioitu, että Suomen rakennuskannan lämmitysjärjestelmistä kolme neljäsosaa on puutteellisesti perussäädetty. Huonelämpötilaerot ovat näissä tapauksissa keskimäärin enemmän kuin 3 °C ja jopa 6 °C :n lämpötilaerot eivät ole harvinaisia [24]. Käytännössä syyt epätasapainoon voivat olla peräisin suunnitteluvaiheesta käyttöön asti tai olla yhdistelmä eri vaiheiden ongelmia. Huonelämpötilojen poikkeamille voi esimerkiksi olla seuraavia syitä:

- Rakennuksen lämmitystehontarve on laskentavaiheessa arvioitu väärin.

- Lämmöneristystä ei ole riittävästi tai se on heikentynyt ajan myöten.
- Vanhoissa rakennuksissa rakenteet kuten elementtien saumat tai ikkunat eivät ole tiiviit, jonka seurauksena kylmää ilmaa virtaa tilaan.
- Lämmönluvutin voi olla osittain peitetty esimerkiksi kalusteilla, jotka toimivat eristeinä ja lämmönluvutus huonetilaan heikkenee.
- Lämmitysverkoston vesivirrat ovat väärin säädettyjä. [2, s. 123.]

Lämpötilojen epätasapainotilannetta ratkaistaan joskus kohottamalla lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa tai vaihtamalla isompaan kiertovesipumppuun, jotta saadaan kylmiin asuntoihin riittävästi lämmintä vettä lämmityskaudella. Asunnot lähellä lämmönjakokeskusta lämpenevät kuitenkin tästä syystä usein liikaa, sillä linjasäätöventtiilien alkuperäiset esisäätöarvot ovat mitoitettuja alkuperäisten mitoitusvirtaamien mukaan. Samanlainen kuvio toistuu myös viilennyskaudella, mutta päinvastoin niin, että jäähdytyslaitteiston lähellä olevissa asunnoissa on liian kylmä ja kauempana olevissa asunnoissa liian kuuma. Kustannuksellisesti huonosti säädetty verkosto tulee kalliiksi, sillä yksi lämmitettävä aste yli 20 °C:n lisää kustannuksia 5–8 %, ja yksi jäähdytettävä aste alle 23 °C:n lisää kustannuksia 15–20 %. [25]

4.1.2 Perussäädön vaiheet

Lämmitysverkoston säätötyön aikana on tärkeää, että rakennuksen muu talotekniikka on normaalissa käytössä. Toisin sanoen ilmanvaihdon pitää olla oikein säädetty ja toiminnassa, tiloissa ei saa olla ylimääräisiä lämpökuormia kuten esimerkiksi lämmityspuhaltimia, ikkunoita on pidettävä kiinni jne. Verkoston perussäädön jälkeen huonelämpötilat ei saa poiketa enempää kuin $\pm 1,5$ °C suunnitellusta arvosta. Linjasäätöventtiilien virtaamat sekä pumpun kokonaisvirtaama eivät saa poiketa enempää kuin ± 10 % suunnitelluista arvoista. [26, s. 6.]

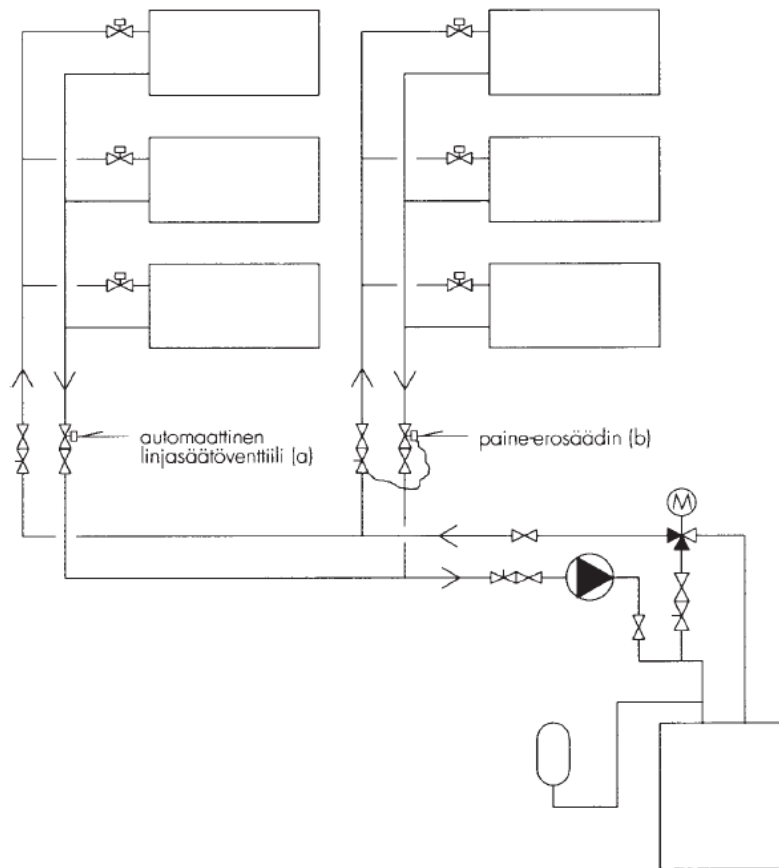
Lämmitysverkoston säätötyö voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: vesivirtojen säätöön, lämpötilojen hienosäätöön ja takuuajaiseen säätöön. Vesivirtojen säätöä kutsutaan myös alustavaksi perussäädöksi ja se tehdään heti lämmitysverkoston ollessa valmiiksi asennettu, ulkolämpötilasta riippumatta. Lämpötilojen hienosäätö eli varsinainen perus-

säätö suoritetaan lämmityskaudella, kun ulkona keskilämpötila on alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vuorokauden verran, ja verkoston veden lämpötila on tasaantunut. Myös takuuaikainen säätö suoritetaan ulkolämpötilan ollessa keskimäärin alle $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vuorokauden verran. [26, s. 6.]

Liitteessä 1 esitetään vaiheittain lattialämmityksen perussäätöä manuaalisella linjasäätöventtiilillä sekä lattialämmityksen perussäätöä automaattista virtauksenrajoittimella. Taulukon säätövaiheet perustuvat osittain LVI-ohjekortissa 41-10230 [26] esitettyihin säätövaiheisiin.

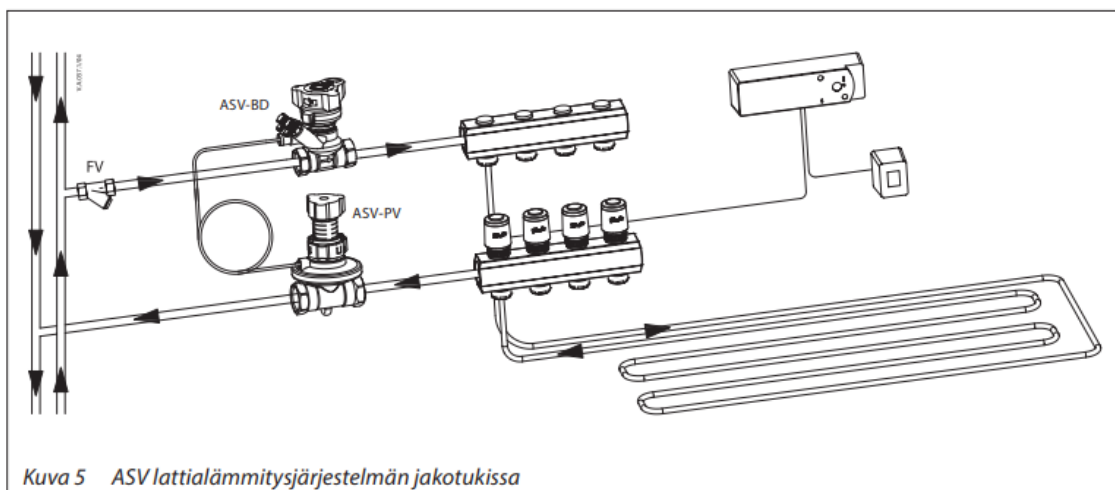
4.2 Perussäätö painesäädöllä

Manuaalisen linjasäätöventtiilin lisäksi voidaan putkiverkoston tasapainotuksessa käyttää painesäätöisiä venttiileitä. Painesäätö voidaan toteuttaa erillisellä paine-erosäätimellä tai automaattista virtauksenrajoittimella, johon on yhdistetty maksimivirtaamaa rajoittava paine-erosäädin sekä linjasäätöventtiili samaan venttiilirunkoon. Kuvassa 26 esitetään näiden ohjausmenetelmien mahdolliset asennuseriaatteet. Painesäädöllä saadaan virtaama päätelaitteelle pysymään vakiona verkostossa tapahtuvista painemuutoksista huolimatta. Varsinkin, jos verkoston painehäviöt ovat suuret, voidaan eri nousulinjojen stabiilius varmistaa ainoastaan painesäädöllä. [26, s. 5.]



Kuva 26. Automaattisen virtauksenrajoittimen (a) sekä erillisen paine-erosäätimen (b) mahdolliset asennustavat [22].

Erillinen paine-erosäädin yhdistetään manuaaliseen linjasäätöventtiiliin impulssiputkella. Paine-erosäädin tunnistaa paineen manuaalisessa linjasäätöventtiilissä ja paine-erosäätimessä. Paine-erojen avulla paine-erosäädin pienentää tai kasvattaa virtaamaa, jotta asetettu paine-ero saavutetaan. Tämä tarkoittaa, että virtaama voi muuttua kiertopiirissä, mutta paine-ero pysyy lähes vakiona. Erillinen paine-erosäädin soveltuu hyvin lattialämmitysjärjestelmän kanssa, sillä lämmityspiirien sulkeutuessa paine-erosäädin vähentää virtaamaa pitääkseen paine-ero vakiona [27]. Kuvassa 27 esitetään Danfossin ASV-PV paine-erosäätimen asennusesimerkki lattialämmitysjärjestelmän kanssa.



Kuva 27. Erillinen paine-ero säädin kytkettynä lattialämmitysverkostoon [28].

Automaattisessa virtauksenrajoittimessa on sisäänrakennettu paine-erosäädin, joka pitää painetta lähes vakiona oman linjasäätöventtiiliosan yli. Automaattinen virtauksenrajoitin rajoittaa pois venttiilin läpi tulevan ylivirtaaman ja pyrkii näin ollen pitämään virtaaman asetusarvossaan. Automaattista virtauksenrajoitinta suositellaan käytettäväksi muun muassa lämmitys- ja jäähdytyspalkeilla, jolloin tehoa vastaavaa virtaamaa säädetään automaattiseen virtauksenrajoittimeen kytketyllä toimilaitteella. [27]

Automaattinen virtauksenrajoitin vaatii vähimmäispaineen tasataksaan verkoston paine-erovaihteluja. Kun virtaama on vähimmäispainetta pienempi, toimii painesäätöinen venttiili pelkästään manuaalisena linjasäätöventtiilinä. Mitoituksessa tulee tämän takia varata riittävä paine verkoston virtausteknisesti vaikeimmalle paineohjatulle venttiilille. Tällöin paine-ero riittää myös verkoston muille venttiileille [29].

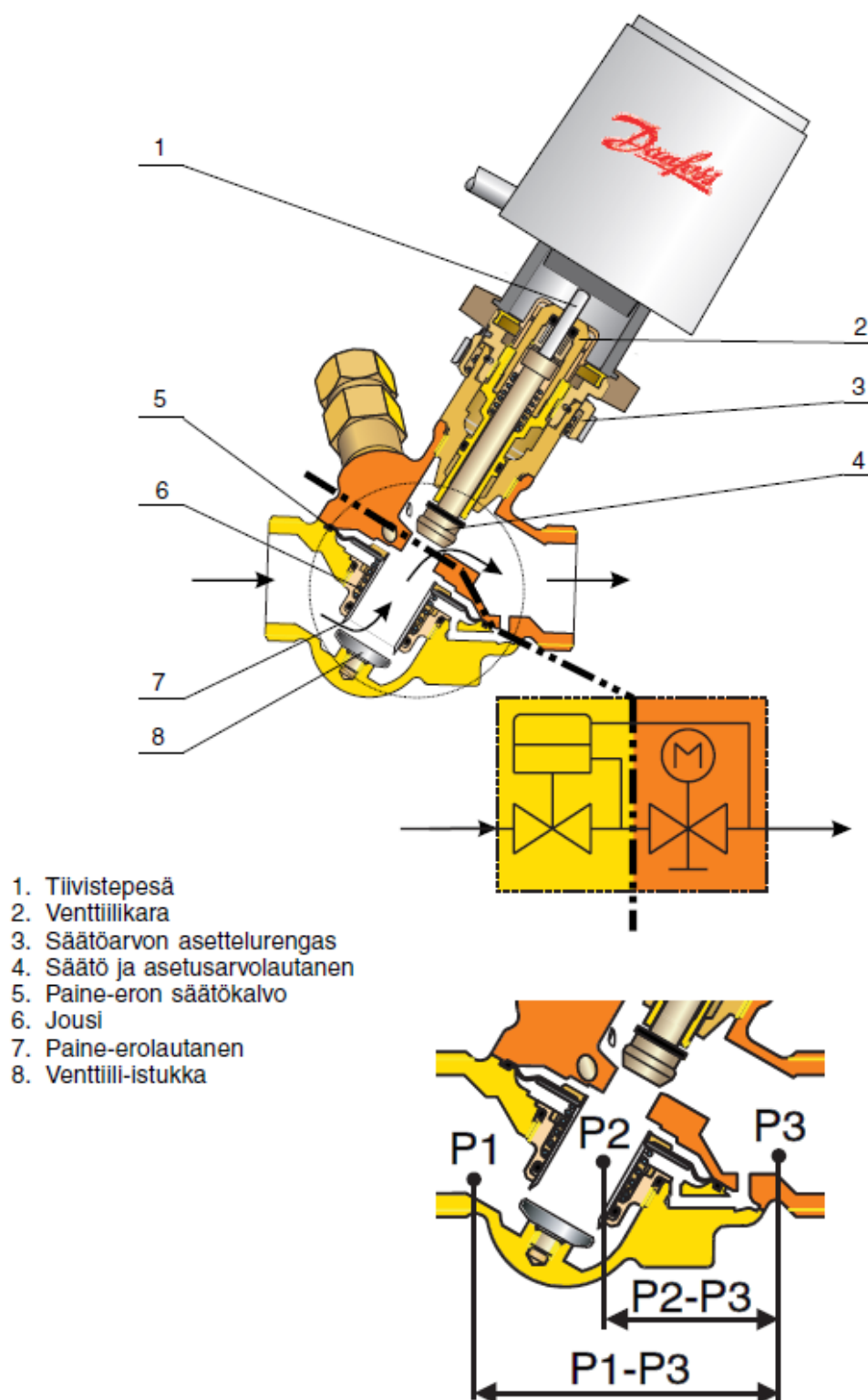
Automaattinen virtauksenrajoitin on erilliseen paine-erosäätimeen verrattuna helpompi asentaa ja jälkikäteen säätää, sillä esisäätö tarvitsee ainoastaan asettaa yhdestä kohdasta. Erillinen paine-erosäädin toimii kuitenkin varmemmin pienillä virtaamilla kuin automaattinen virtauksenrajoitin. Erillinen paine-erosäädin pystyy myös tasapainottamaan paine-eroja suuremmissa paineissa kuin automaattinen virtauksenrajoitin. Automaattisen virtauksenrajoittimen maksimipaine on usein 400 kPa tai suurempi [30], ja se ylittyy harvoin asuinrakennusten vesiverkostoissa.

4.2.1 Paine-erosäätimen toiminta

Kuvassa 29 esitetään Danfossin automaattinen virtauksenrajoitin AB-QM. Keltaisella on merkattu paine-ero säädin, eli paineentasausosa. Oranssilla on merkattu manuaalinen säätöventtiiliosa. Kuvassa 28 esitetään paine-erosäätimen liikkumista painevaihtelun seurauksena. Paineen kasvaessa pisteessä P1 kasvaa myös paine pisteessä P2. Tällöin säätökalvo painautuu alaspäin kuvan 27 vaiheen 2 mukaisesti. Pienempi virtaus-aukko venttiili-istukan ja paine-erolautasen välillä aiheuttaa suuremman kitkapainehäviön venttiili-istukan ja paine-erolautasen välillä. Jos paine pisteessä P1 pienenee, jousivoima työntää säätökalvoa ylöspäin kuvan 27 tilanteen 3 mukaisesti. Tällöin painehäviö venttiili-istukan ja paine-erolautasen välillä alenee. Paine-erosäätimen ansiosta paine-ero pysyy lähes vakiona säätöventtiiliosan, eli vastuksen, yli. Vakio paine-ero vastuksen yli tarkoittaa myös, että virtaama pysyy vakiona vastuksen yli.

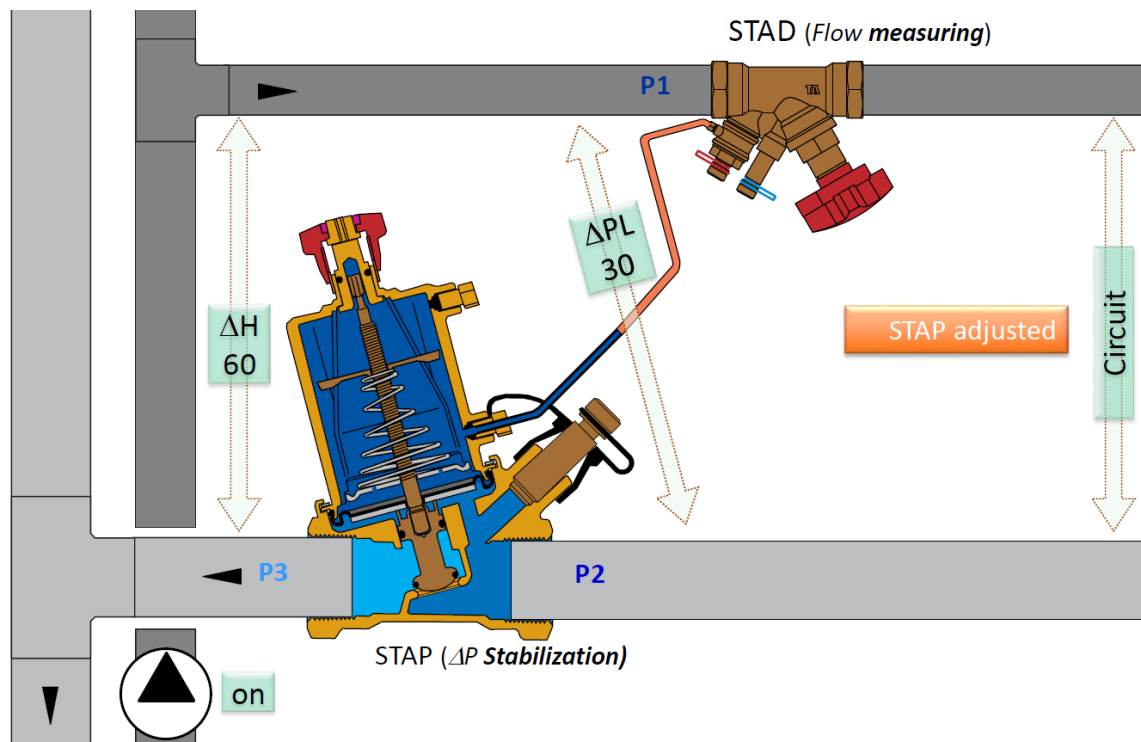


Kuva 28. Paine-erosäädin toiminta. Manuaalinen säätöventtiili on merkattu oranssilla ja paine-erosäädin sinisellä. 1. Jousi ja paine-erolautanen ovat keskiasennossa. 2. Säätökalvon yläpuolella paine kasvaa ja jousi litistyy, jolloin paine-erolautanen sulkee virtausaukkoa ja aiheuttaa painehäviötä. 3. Paine laskee säätökalvon yläpuolella ja jousen vastavoima työntää säätökalvoa ylöspäin. Tällöin paine-erolautanen avaa virtausaukkoa ja painehäviö pienenee. [31]



Kuva 29. Danfoss automaattinen virtauksenrajoitin AB-QM [32].

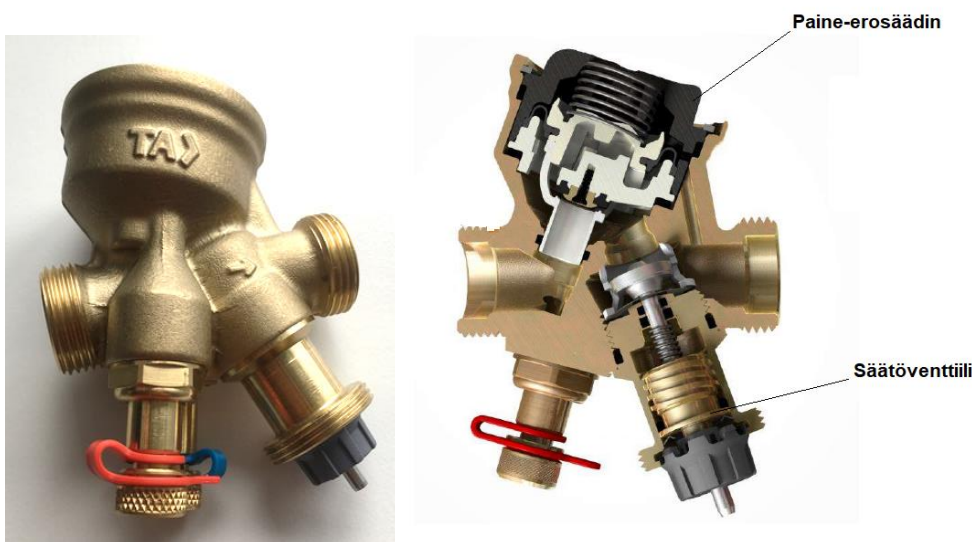
Erillinen paine-erosäädin toimii samalla periaatteella kuin automaattinen virtauksenrajoitin, paine-erosäätimen paineiden mittauspisteiden lukuun ottamatta. Paine P1 mitataan impulssiputkella manuaalisen linjasäätöventtiilin mittaussyhteestä. Tällä menetelmällä tasapainotetaan paine-ero meno- ja paluuputken yli, eikä pelkästään yhden venttiilin yli. Kuvassa 30 esitetään IMI Hydronics Engineeringin STAP-paine-erosäädin kytkettynä manuaaliseen STAD-linjasäätöventtiiliin. Paine-ero kuorman yli on kuvassa säädetty arvoon 30 kPa. Käytettävissä oleva paine-ero on 60 kPa. Paineen ΔH kasvaessa paine säätökalvon yläpuolella kasvaa, työntäen karaa paine-erosäätimessä alaspäin. Pienempi virtausaukko aiheuttaa suuremman painehäviön pisteiden P2–P3 yli. Näin ollen paine ΔPL sekä piirin virtaama pysyvät lähes vakiona, vaikka paine ΔH kasvaa. Paineen ΔH pienentyessä toiminta on päinvastainen, jolloin jousivoima työntää säätökalvoa ylöspäin pitääkseen paineen ΔPL vakiona.



Kuva 30. STAP-paine-erosäädin kytkettynä manuaaliseen linjasäätöventtiiliin STAD [27].

4.2.2 TA-COMPACT-P

TA-COMPACT-P on IMI Hydronic Engineeringin valmistama virtausta rajoittava automaattinen virtauksenrajoitin kokoluokassa DN 10–32. Paine-ero toiminta-alueen saavuttamiseksi on DN 10–20:n venttileille 15–400 kPa ja DN 25–32:n venttileille 23–400 kPa. Kuvassa 31 on esitetty automaattinen virtauksenrajoitin TA-COMPACT-P sekä leikkauskuva venttiilistä.



Kuva 31. TA-COMPACT-P. Keskellä on venttiilin leikkauskuva, jossa alapuolella on venttiilin paineentasausosa ja yläpuolella on säätöventtiiliosa [27].

Virtaama säädetään venttiilin esisäätöpyörästä maksimivirtaaman perusteella siten, että arvo 10 vastaa 100 %:a venttiilin maksimivirtaamasta, arvo 6 vastaa 60 %:a maksimivirtaamasta jne. Asettamalla esisäätö arvoon X TA-COMPACT-P on täysin kiinni, joten venttiiliä voi käyttää sulkuventtiilinä esimerkiksi verkoston täyttövaiheessa. Kuvassa 32 esitetään säätökaran liikkumista esisäätöarvosta riippuen. Erillistä k_v -arvoa ei tarvitse venttiilille laskea. Esisäätöpyörän päälle voidaan asentaa virtaamaa säättävä toimilaite, jota voidaan ohjata huonetermostaatista esimerkiksi huonelämpötilan mukaan.



Kuva 32. Esisäätörengas TA-COMPACT-P:ssä. Vasemmalla puolella esisäätö on 10, jolloin kara on täysin auki. Oikealla puolella esisäätö on asennossa 6, jolloin säätökara on alempana ja virtaama venttiiliin läpi pienempi.

Venttiiliin DN-koko valitaan ohjattavan piirin tai päätelaitteen mitoitusvirtaaman mukaan niin, että valitaan pienin mahdollinen venttiili, jolla saavutetaan mitoitusvirtaama. Toiminta on tarkempi, mitä avoimempi venttiili on. Taulukossa 2 on maksimivirtaamat eri DN-ko'ille esisäätöasennosta riippuen. Jos päätelaitteelle on laskettu esimerkiksi virtaama 0,12 l/s eli 432 l/h, taulukosta valitaan pienin mahdollinen venttiili mitoitusvirtaaman saavuttamiseksi, joka on DN 15. Esisäätörengas tulisi näin ollen asettaa arvoon 8,5. Jos olisi valittu venttiili DN 20, esisäätöarvon tulisi olla alle 3.

Taulukko 2. TA-COMPACT-P, mitoitus- ja virtaustaulukko [33].

	Asento									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
DN 10	21,5	39,5	54,0	68,5	80,0	91,0	99,0	107	113	120
DN 15 LF	44,0	71,0	97,0	123	148	170	190	210	227	245
DN 15	88,0	150	200	248	295	340	380	420	450	470
DN 20	210	335	460	575	680	780	890	990	1080	1150
DN 25	370	610	830	1050	1270	1490	1720	1870	2050	2150
DN 32	800	1220	1620	2060	2450	2790	3080	3350	3550	3700

q_{\max} = l/h kyseisellä esisäätöarvolla venttiilikara täysin auki.
LF = pienet virtaukset

4.2.3 Perussäädön vaiheet

Liitteen 1 taulukossa esitetään, kuinka perussäädön vaiheet toteutetaan automaattista virtauksenrajoittimella lattialämmityksen kanssa. Alustavassa perussäädössä säästyy aikaa automaattista virtauksenrajoittimella varsinkin venttiilien esisäätöarvojen asettelussa, sillä esisäätöarvoja ei tarvitse laskea, vaan ne asetetaan suunnitelmien virtaamien mukaan.

Perussäätötyön sekä takuuajaisen säätötyön laajuus riippuu siitä, säädetäänkö verkosto manuaalisella tai automaattista virtauksenrajoittimella. Automaattista virtauksenrajoittimella yhden säätöventtiilin säätö ei vaikuta muiden säätöventtiilien maksimivirtaamiin, sillä ne pysyvät vakiona paine-erosäätimen ansiosta. Yhden huoneiston liian matala lämpötila voidaan korjata nostamalla automaattisen virtauksenrajoittimen virtaamaa ja liian korkea lämpötila laskemalla sitä. Tarvittaessa muutetaan myös kiertovesipumpun virtaamaa vastaamaan verkoston uutta tarvetta. Automaattisen virtauksenrajoittimen säätö on usein mahdollista suorittaa verkoston ollessa normaalissa toiminnassa. On myös olemassa automaattisia virtauksenrajoittimia, joiden esisäätöarvo asetetaan ennen venttiilin asennusta verkostoon.

5 As Oy Tampereen Kalliorinne

Insinööritöön tutkimuskohteena toimii kahdeksankerroksinen asuinkerrostalo As Oy Tampereen Kalliorinne. Huoneistoja kohteessa on yhteensä 75 kappaletta, nousuportaita yhdet, ja yhteinen rakennustilavuus on 11 200 m³. Lämmönlähde on kohteessa kaukolämpö ja lämmönluvutus tapahtuu kerrostalossa kauttaaltaan lattialämmityksen kautta, käytävät ja alin kerros mukaan lukien. Lämmönjakokeskus sijaitsee talon lämmönjakuhuoneessa ensimmäisessä kerroksessa.

Yhteensä kohteeseen asennetaan 80 jakotukkikaappia ja 296 lattialämmityspiiriä. Lattialämmityksen meno- ja paluuveden lämpötilat ovat 40 °C ja 35 °C. Lattialämmityksen tehontarve on yhteensä 82 kW. Lattialämmityksen nousulinjat sijoitetaan porraskäytävään. Lämmitysverkoston runkolinjoihin ei asenneta muita säätöventtiileitä, vaan ainoastaan kerroskohtaiset sulkuventtiilit jokaisen kerroksen haarakohtaan kuvan 33 mukaisesti. Kuvan lämmitysverkoston meno- ja paluuputket tulevat kuvassa vaakasuorassa

ylimpänä. Keskellä on käyttövesin kiertovesijohto, joka on varustettu manuaalisella linjasäätöventtiilillä ja alimpana ovat käyttöveden kylmä- ja lämminvesiputket.



Kuva 33. Lämmitysverkoston kerroskohtaiset sulkuventtiilit.

5.1 Työmaakäynnit

Ensimmäinen työmaavierailu kohteessa tehtiin 26.11.2019. Vastaavana LVI-urakoitsijana toimi putkiliike P.Nuora Oy. Työmaaperehdytyksen jälkeen kierrettiin kohdetta LVI-urakoitsijan opastuksella. Lämmitysjärjestelmän kokonaisuusratkaisu oli etukäteen huolellisesti suunniteltu, minkä huomasi vierailun aikana.

Työmaakäynnillä välipohjat, kantavat seinärakenteet sekä katto olivat paikoillaan. Lämmönjakokeskus oli valmiiksi rakennettu ja kytketty rakennusvaiheen aikana toimivaan väliaikaiseen lämmitysjärjestelmään, joka toimi vesikiertoisilla lämmityspuhaltimilla. Lattialämmitys oli asennettu ja lattiabetonipinnat valettu 4. kerrokseen asti. Väliseiniä ei ollut

kohteessa vielä rakennettu, joten jakotukkikaapit olivat kiinnitetty tuleville paikoilleen väliaikaiseen telineeseen, kuten kuvassa 34 esitetään.



Kuva 34. Jakotukkikaappi asennettuna väliaikaiseen telineeseen.

Lattialämmityspotket asennetaan Uponorin Tacker-lämmöneristeeseen päälle kiinnitysväkäsiellä. Kuvassa 35 on esitetty lattialämmityspotket asennettuna. Kuvan tilaan on asennettu kaksi lattialämmityspiiriä. Reunavyöhykkeen alueella ulkoseinän lähellä on tiennetty asennusväliä. Spraymaalilla on merkattu tulevien väliseinien paikat, jotta ne voidaan kiertää lattialämmityspotkella. Märkätiloissa lattialämmityspotket asennetaan rauditusverkkoon kiinni sidelangalla. Kaikissa tiloissa käytetään happidiffuusiosuojattua Uponor Comfort Pipe Plus PEX 17x2,0-putkea, jonka päälle valetaan noin 40 mm:n betonivalu. Kuvassa 36 esitetään lämmityspotkien päälle valettu valmis pintabetonilaatta.



Kuva 35. Huoneen lattialämmitysputket asennettuna Tacker-eristeen päälle.



Kuva 36. Lattialämmityksen pintabetonilaatta.

Toinen työmaakäynti tutkimuskohteella tehtiin 26.3.2019. Tässä vaiheessa lämmitysverkosto oli valmiiksi rakennettu ja täytetty vedellä. Lämmitysverkostossa kierrätettiin noin 20 °:n lämpöistä vettä, mutta lämmitysverkoston perussäätöä ei ollut vielä suoritettu.

5.2 Automaattisen virtauksenrajoittimen asennus

Kohteeseen asennettiin kaikkiin huoneistoihin vesikiertoinen lattialämmitys. Jokaiseen huoneistoon tuli oma jakotukki sekä huonekohtaiset termostaatit, joilla säädetään huoneiden lämpötilat. Jokaiseen jakotukkikaappiin asennettiin paluujakotukkiin automaattinen virtauksenrajoitin TA-COMPACT-P kuvan 37 mukaisesti. Kuvassa TA-COMPACT-P-venttiili on kytketty paluujakotukkiin ja menojakotukkiin on kytketty sulkuventtiili. Venttiilien alapuolella on lämpötilamittarit, jotka mittaavat meno- ja paluuveden lämpötilat. Käytetyt DN-koot kohteessa ovat DN10–15. Menojakotukkeihin asennettiin sulkuventtiili.



Kuva 37. Uponor Vario Plus-jakotukit asennettuna jakotukkikaappiin.

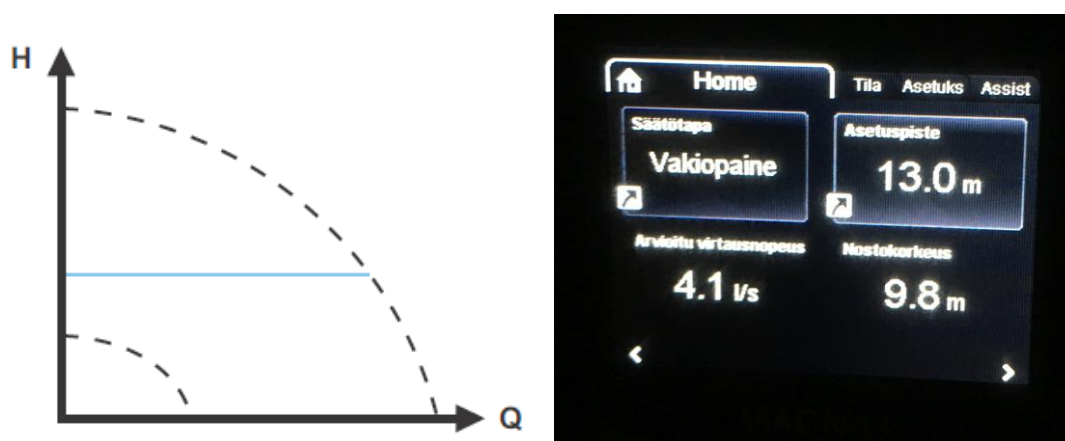
Kalliorinteen LVI-urakoitsija oli päättänyt käyttämään automaattista virtauksenrajoitinta yhdessä Smatrix-säätöjärjestelmän kanssa helpottaakseen säätötyötä kohteessa. Manuaalisen linjasäätöventtiilin asetusarvojen asettaminen on monivaiheinen prosessi. Ennen asetusarvojen asettamista on lämmitysverkoston toiminta huolellisesti valmistettava. Verkoston tulee olla hyvin huuhdeltu, jotta venttiilien toimintaa heikentävää likaa ei pääse tukkiutumaan verkoston eri komponentteja. Lämmitysverkoston tulee myös olla huolellisesti ilmatu. Mitatessa virtaamaa linjasäätöventtiiliin yli, verkostoon jäänyt ilma aiheuttaa huojuntaa, joka vaikeuttaa mittaustulosten lukemista. Käyttämällä automaattista virtauksenrajoitinta riittää esisäädön asettaminen LVI-suunnitelmissa esitetyn virtaaman perusteella. Tämä pienentää mittauservojen lukemisesta johtuvaa virhemarginaalia. [34]

Manuaalisen linjasäätöventtiilin asetusarvojen asettaminen vaatii usein verkoston kaikkien linjasäätöventtiilien tarkistusmittaamisen kolme kertaa, joskus enemmänkin, ennen kuin saavutetaan sallitut virtaamien poikkeamat. Manuaalisilla linjasäätöventtiileillä varustetun lämmitysverkoston alustava perussäätö olisi tutkimuskohteessa vaatinut 1,5–2 työviikkoa yhdeltä työntekijältä. Automaattista virtauksenrajoittimella vastaava työ vaatisi noin yhden työpäivän yhdeltä työntekijältä. Jälkeenpäin tehtävistä korjaussäädöistä voi parhaimmassa tapauksessa säästyä kokonaan käyttämällä automaattista virtauksenrajoitinta. [34]

5.3 Kiertovesipumpun ohjaus

Kohteen lämmitysverkostoon asennetaan Grundfosin Magna3 40–150F-kiertovesipumppu, jossa DN-putkiliitäntä on 40 mm ja suurin nostokorkeus 15 metriä. Ohjaustavaksi on esimerkkikohteessa valittu vakiopainesäätö. Ohjaustapa soveltuu järjestelmiin, joiden verkostossa on suhteellisen pienet painehäviöt, samoin kuin esimerkiksi lattialämmityksessä. Säätömenetelmässä virtaama muuttuu painevaihtelujen mukaan ja nostokorkeus eli paineenkorotus pysyy vakiona. Esimerkiksi joidenkin piirien sulkeutuessa muiden piirien virtaamat kasvavat, jolloin painehäviöt myös kasvavat. Tällöin pumppu alentaa pyörimisnopeutta, ja virtaama pienenee, jotta painetaso pysyy vakiona. Piirin avautuessa painehäviöt laskevat, ja pumppu lisää pyörimisnopeutta.

Kuvassa 38 esitetään pumpun ominaiskäyrä, jossa pumppu toimii sinisen viivan paineentuotolla. Kuvan oikealla puolella on pumpun asetusarvot lämmitysverkoston täytön jälkeen. Virtaama muuttuu verkostossa, jotta painetaso pysyy vakiona. Katkoviivat osoittavat pumpun minimi- ja maksimikäyrät. Oikealla puolella on asetusarvot lämmitysverkoston täytön jälkeen, kun jakotukkikohtaisia virtaamia ei vielä olleet aseteltuna. Nostokorkeus oli tällöin 9.8 metriä, eli noin 98 kPa. Asetuspiste on todellista nostokorkeutta korkeampi varmistamaan riittävän kierron lämmitysverkostossa.



Kuva 38. Vakiopaineohjauksen säätökäyrä [35].

5.4 Täyttö- ja ilmausvaiheet

Tutkimuskohteen lämmitysverkoston täyttö aloitettiin täyttämällä runkojohdot jakotukkien venttiilien asti. Näin pystyttiin tekemään runkoputkistolle painekoe ja tarkistamaan hitsauskohtien ja liitoskohtien tiiviydet. Tämän jälkeen täytettiin huoneistojen lattialämmitysverkosto piiri kerrallaan.

Käytännössä on haastavaa saada kaikki ilma poistettua lämmitysverkoston vedestä täytön yhteydessä, sillä happea liukenee aina veteen tämän ollessa kontaktissa ilman kanssa. Kohteeseen asennettiin lämmönjakohuoneeseen pysyvästi Spirovent S4A-alipaineilmanpoistin, joka käytön aikana poistaa lämmitysverkostoon täyttövaiheessa jäänyttä ilmaa. Ilman poistaminen lämmitysverkostosta on tärkeää, sillä se voi aiheuttaa korroosiota, äänihaittoja sekä heikentää veden kiertoa [36]. Kuvassa 39 on tutkimuskohteen alipaineilmanpoistin asennettuna seinälle lämmönjakohuoneessa.



Kuva 39. Spirovent S4A-r-ilmapoistin.

6 Pohdinta

Painesäätöisellä ohjauksella tavoitteena on estää putkiverkostossa esiintyvää epätasapainoa sekä helpottaa säätötyön prosessia. Tarkemmin säädetyllä lämmitysverkostolla loppukäyttäjä on tyytyväisempi, lämmitysjärjestelmän vastuuhenkilöille ei aiheudu yhtä paljon tarkastuskäyntejä johtuen valituksista huonelämpötiloista, ja korjaussäädön tarve vähenee. Valituksien tullessa on jälkeinpäin tehtävä korjaussäätötyö nopeampi automaattista virtauksenrajoittimella, sillä yhden venttiilin säätö ei vaikuta muiden venttiileiden maksimivirtaamiin.

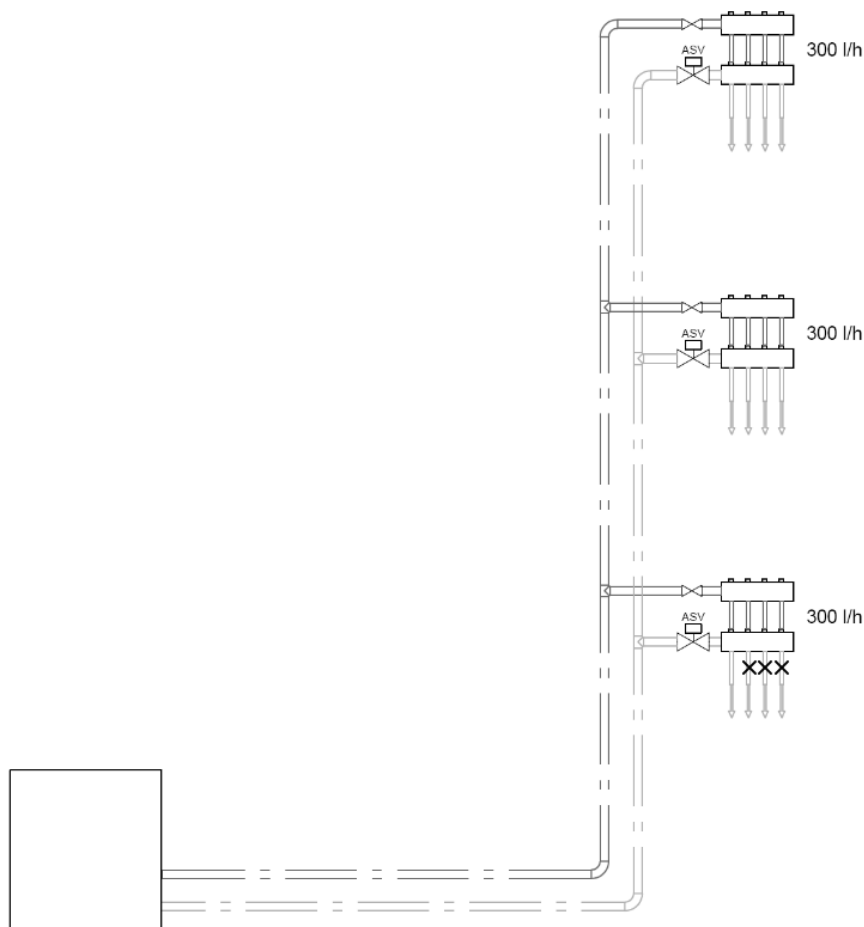
Tekniikan kehityksen myötä asuinrakennusten lämmitysjärjestelmien toimivuutta pystytään seuraamaan ja ohjaamaan yhä enemmän taloautomaation kautta etäyhteydellä. Taloautomaatiolla saadaan kerättyä dataa kohteen lämpötiloista ja lämmitysverkoston toiminnasta. Ongelmatilanteissa voidaan kerätyn datan perusteella kohdentaa säätö oikein rakennuksessa. Tämä vähentää sekä tuotevalmistajan että LVI-urakoitsijan ylimääräisiä tarkastuskäyntejä, ja takuuajan kustannuksia saadaan vähennettyä.

Ilmaston lämpenemisen myötä ja rakenteiden lämmöneristyksen kehittyessä rakennusten viilennystarve tulee kasvamaan. Lattialämmitysjärjestelmää asennettaessa on siihen mahdollista kytkeä viilennys. Virtaamien ollessa tasapainossa lämmitysverkostossa erillistä tasapainotusta eri tarvitse tehdä kesäaikaan lattiaviilennykselle, vaan lämpötiloja säädetään ainoastaan taloautomaatiosta. Tämä säästää säätötyöhön kuluva työaikaa verrattuna ratkaisuun, jossa on erillinen, kesäaikaan tasapainotettava, viilennysjärjestelmä. Viilennystarve on suurin rakennuksen eteläpuolella, kun taas lämmitystehontarve on suurin rakennuksen pohjoispuolella, joten virtaaman suhteellinen jakautuminen verkostossa saattaa erota viilennys- ja lämmityskaudella. Smatrix-säätöjärjestelmä pystyy tunnistamaan ja säätämään virtaamaa huonetermostaatin arvon pyynnön mukaan ja on näin ollen oivallinen ratkaisu ohjaamaan samassa verkostossa kiertävää lämmitys- ja viilennysvettä.

Smatrix-säätöjärjestelmä on itseään tasapainottava järjestelmä, joka säätää tehoja lämmityspiireissä muuttamalla syöttöveden pulssipituuksia. Tämä tarkoittaa myös, että piirejä menee kiinni tasaisin välein, ja että jakotukin kokonaisvirtaaman tarve on ajoittain pieni. Automaattinen virtauksenrajoitin pyrkii pitämään virtaaman asetusarvossa, mikä voi johtaa ylivirtaamaan piireissä suunniteltuihin arvoihin verrattuna. Tämän takia alla oleva esimerkkitalannetta tulisi tarkastella mittauksen avulla. Todellisuudessa kokonaisvirtaama ja verkoston koko ovat huomattavasti isommat, mutta esimerkkitalanteessa esitetyt periaatteet pätevät myös niissä.

Esimerkkitalanteessa jakotukissa kolme neljästä piiristä ovat hetkellisesti kiinni kuvan 40 mukaisesti. Automaattinen virtauksenrajoitin pyrkii pitämään asetetun virtaaman lukemassa 300 l/h ja viimeisessä piirissä on ylivirtaama. Ylivirtaama aiheuttaa virtausnopeuden kasvaessa isomman kitkapainehäviön. Kitkapainehäviö kasvaa toiseen potenssiin tilavuusvirran kasvuun verrattuna, joten kitkapainehäviöiden erot voivat kasvaa suuriksi virtaamasta riippuen. Tilanteessa vakiopaineella ohjattu kiertovesipumppu voi reagoida verkoston kasvavaan paineeseen, ja alentaa pumppukierroksia, jolloin verkoston kokonaisvirtaama pienenee. Pienemmällä kokonaisvirtaamalla on olemassa riski, että kaikkien automaattisten virtauksenrajoittimien virtaamat eivät ole riittäviä täyttämään vaaditut tehontarpeet.

Tilanteessa vakioaineella ohjattu kiertovesipumppu reagoi kasvavaan paineeseen herkemmin verkoston vaikeimmissa piireissä, sillä niille on varattu vähemmän paine-eroa mitoituksessa. Verkoston helpoimmissa piireissä ylivirtaaman todennäköisyys on suurempi. Mittaamalla voitaisiin tarkastella, kuinka isot ylivirtaamat helpoimmissa piireissä voivat olla. Voitaisiin myös selvittää, jos tilanne voitaisiin korjata esimerkiksi alentamalla säätöventtiilin virtaamaa jakotukille. Tällöin Smatrix-säätöjärjestelmä voi mahdollisesti kompensoida tilannetta pitämällä piirejä kauemmin auki pienemmällä virtaamalla.



Kuva 40. Esimerkkitalanne, jossa useampi piiri sulkeutuu samanaikaisesti.

Ylivirtaama vähenee myös, jos lämmityspiireistä useampi piiri on auki kerrallaan ja sulkeutuaan piirit ovat kiinni lyhyemmän ajan. Mitä pidemmät pulssipituudet ovat, sitä suurempi riski isompaan ylivirtaamaan on olemassa yksittäisissä piireissä. Yksi ratkaisu tähän ongelmatilanteeseen olisi pienentää meno- ja paluuvien lämpötilat taloautomaatista. Tämän seurauksena piirien toimilaitteet ovat pidempiä aikoja auki täyttääkseen

huonetilojen tehontarpeet, ja ylivirtaama vähentyisi. Pienennettäessä lämpötilaa säätökäyrästä on varmistettava lämmitystehon riittävyys huoneistoissa.

On mahdollista, että painehäviöt eivät kasva lämmityspiireissä niin isoiksi, että tilanne vaikuttaa kiertovesipumpun kierrosnopeuksiin merkittävästi. Tällöin lattialämmitys toimii normaalisti, vaikka lämmityspiirien virtaamat ja kitkapainehäviöt ovat hetkellisesti suunniteltua arvoja isommat. Virtaaman kasvaessa lämmitysvesi ei ehdi jäähtymään lämmityspotkussa yhtä paljon, joten kiertovesipumppu saattaa tehdä enemmän työtä verrattuna tilanteeseen, jossa koko lämmitysverkostossa on optimaalinen virtausnopeus pumppausenergiatehokkuuden kannalta.

7 Yhteenveto

Työn alkuperäinen tavoite oli tutkia automaattisen virtauksenrajoittimen toimivuutta Smatrix-säätöjärjestelmän kanssa tekemällä mittauksia esimerkkikohteen lämmitysverkostosta. As Oy Tampereen Kalliorinteessä kahdeksannen kerroksen ontelolaatan kosteus viivytti pintabetonilaatan valumistyötä noin kuukaudella, eikä mittauksia tutkimuskohteessa päästy tekemään tätä insinöörityötä varten aikarajan sisällä.

Insinöörityössä keskityttiin sen sijaan tuomaan esille lämmitysverkoston rakentamiskäytäntöihin säästöihin automaattista virtauksenrajoitinta käyttäen. Tämä tehtiin haastatteleamalla tutkimuskohteen LVI-urakoitsijaa ja laatimalla taulukko, jossa verrataan manuaalisen linjasäätöventtiilin säätötyötä automaattisen virtauksenrajoittimen säätötyöhön lattialämmitysverkostossa.

Smatrix-säätöjärjestelmän todellisen toimivuuden osoittaminen yhdessä automaattisen virtauksenrajoittimen TA-COMPACT-P:n ja taajuusmuuttajaohjatun pumpun kanssa niin energiansäästössä kuin säätötyössä, vaatii pidemmän tarkastelujakson. Pidemmän ajan energiankulutuksia voidaan verrata vastaavanlaisiin kohteisiin, joissa lämmitysjärjestelmä on toteutettu manuaalisilla linjasäätöventtiileillä. Pidemmällä aikavälillä pystytään myös todentamaan jälkisäädön tarpeen laajuus. Keräämällä tarpeeksi tietoa eri vertailukohteista voitaisiin todeta, kuinka isoja säästöjä saavutetaan käyttämällä painesäätöistä ohjausta lattialämmitysverkostossa.

Tutkimuskohteen kokonaisuutta olisi todella tärkeää tutkia aiheuttamalla keinotekoisesti erilaisia poikkeustilanteita lämmitysverkostoon. Tätä voidaan tehdä esimerkiksi sulke-malla osan lattialämmityspiireistä käsin yhdessä jakotukissa. Tämän jälkeen voidaan tarkistaa automaattisen virtauksenrajoittimen virtaamaa sekä kiertovesipumpun kokonaisvirtaamaa. Tilannetta tulisi tarkistaa verkoston virtausteknisesti vaikeimmissa sekä helpoimmissa piireissä.

Jos mittaustuloksista käy ilmi, että automaattinen virtauksenrajoitin ei toimi optimaalisesti Smatrix-säätöjärjestelmän kanssa, voitaisiin tutkia, kuinka Smatrix-säätöjärjestelmä toimisi yhdessä erillisen paine-erosäätimen kanssa. Vaikka erillisen paine-erosäätimen alustava perussäätö on aikaa vievämpi verrattuna automaattisen virtauksenrajoittimen alustavaan perussäätöön, voi jälkeempäin tehtävässä korjaussäädössä saavuttaa säästöjä lattialämmitysverkoston tasaisen toimivuuden ansiosta.

Insinööriyön liitteen 1 taulukon tarkoitus on havainnollistaa säätötyön etuja käyttämällä automaattista virtauksenrajoitinta lattialämmitysverkostossa. Taulukon sisältöä voisi kehittää esimerkiksi laatimalla ohjeet eri ongelmatilanteiden ratkaisemiseksi painesäätöisessä lattialämmitysverkostossa.

Lähteet

- 1 Seppänen, Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. painos. Suomen LVI-liitto ry.
- 2 Seppänen, Olli & Seppänen Matti. 1996. Rakennusten sisäilmasto ja LVI-tekniikka. Helsinki: Sisäilmayhdistys ry.
- 3 Uponorin sisäiset lattialämmitysmateriaalit. Uponor Suomi Oy.
- 4 Rakennustieto Oy. 2007. Rakennusten lämmitysjärjestelmät. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 5 Pumput. Edu.fi. Verkkoaineisto. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/pientalon_lammitys/pumput.htm>. Luettu 20.2.2019.
- 6 Valkeapää, Aki. 2018. LVI-verkostojen virtaustekninen tasapainotus. Luentomateriaali. Metropolia ammattikorkeakoulu.
- 7 Nieminen, Mikko. Tuoteryhmäpäällikkö. Uponor Suomi Oy. Tuusula. Keskustelu 18.4.2019.
- 8 Lattialämmitys- ja viilennysratkaisut kerrostaloissa. Uponor Suomi Oy. Verkkoaineisto. <<https://docplayer.fi/58668605-Uponor-lattialammitys-ja-viilennysratkaisut-kerrostaloissa.html>>. Luettu 16.1.2019.
- 9 Lattialämmitysratkaisut eri lattiarakenteissa. Uponor Suomi Oy. Verkkoaineisto. <<https://www.uponor.fi/palvelut/materiaalipankki?q=lattiarakenne>>. Luettu 5.3.2019.
- 10 Harju, Pentti. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. Penan Tieto-Opus Ky.
- 11 Vesikiertoisien lattialämmityksen perusteet. 2011. Käsikirja. Oy Danfoss Ab.
- 12 Harsia, Pirkko. 2007. Operatiivinen lämpötila. Verkkoaineisto. <<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1195454056021/1239039810756/1239039883042/1239039931696.html>>. Luettu 19.4.2019
- 13 Vesikiertoinen lattialämmitys. 1996. LVI-ohjekortti 13-10261. Rakennustieto Oy.
- 14 Vesikiertoinen lattialämmitys. 2003. RT-ohjekortti 52-10801. Rakennustieto Oy.

- 15 Tuomas, Palolahti. Lattialämmitys. Verkkoaineisto. <<https://www.rakennus-tieto.fi/Downloads/RK/RK070403.pdf>.> Luettu 10.1.2019.
- 16 Uponor PEX-putket ja niiden ominaisuudet. 2105. Tekninen esite. Uponor Suomi Oy.
- 17 Uponor Vario Plus Jakotuki. 2017. Tekninen esite. Uponor Suomi Oy.
- 18 Uponor Smatrix - tekniset tiedot. 2016. Tekninen esite. Uponor Suomi Oy.
- 19 Uponor Smatrix Wave. 2017. Asennus- ja käyttöopas. Uponor Suomi Oy.
- 20 Saija, Matikka. 2019. Tuotepäällikkö. Uponor Suomi Oy. Tampere. Skype-keskustelu 19.3.2019.
- 21 Rakennusten kaukolämmitys - Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Päivitetty 9.5.2014. Energiateollisuus ry.
- 22 4100 Oras – linjasäätöventtiilit. 2018. Tekninen esite. Oras Oy.
- 23 Laiho, Esa-Matti. 1997. Säätöventtiilit. Ympäristöosasto/LVI-tekniikka. Tekniikan koulutusyksikkö. Mikkelin amattikorkeakoulu.
- 24 Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmasto. 2002. Verkkoaineisto. <<https://www.motiva.fi/files/781/perussaato-esite.pdf>.> Motiva Oy.
- 25 VantaLVI. 2011. TA käsikirja: Patteriverkoston säätäminen.
- 26 Lämmitysverkoston säätö. 1994. LVI ohjekortti 41-10230. Rakennustieto Oy.
- 27 Lättilä, Mikko. 2019. Tekninen asiantuntija. IMI Hydronics Engineering. Vantaa. Sähköpostikeskustelu 25.3.2019.
- 28 Automaattiset virtauksenrajoittimet ASV DN15-50 (4. sukupolvi). 2016. Tekninen esite. Oy Danfoss Ab.
- 29 AB-QM virtaaman tarkistus. 2008. Tekninen esite. Oy Danfoss Ab.
- 30 DPCV vs. PICV. Sav-Systems. Verkkoaineisto. <<https://www.sav-systems.com/product-groups/dpcv-vs-picv/>.> Luettu 6.2.2019.

- 31 AB-QM – automatisk flödesbegränsare. Tekninen tietolomake. Danfoss AB. <http://se.varme.danfoss.com/PCMPDF/AB-QM-Miljoneranledningrarattbyta-VBC6K307_201701.pdf> Luettu 7.3.2019.
- 32 Automaattinen virtauksenrajoitin AB-QM. 2004. Tekninen esite. <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/Vda2w120_ab-qm.pdf>. Luettu 16.1.2019.
- 33 TA-COMPACT-P. 2013. Tekninen esite. IMI Hydronic Engineering.
- 34 Nuora, Harri. 2019. LVI-pääurakoitsija. Putkiliike P.Nuora Oy. Tampere. Haastattelu 26.3.2019.
- 35 Magna 3 Asennus- ja käyttöohjeet. Ohjetiedosto. Oy GRUNDFOS Pumput AB.
- 36 Patteriverkoston toiminta. 2016. Motiva Oy. Verkkoainesto. <https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato/patteriverkoston_toiminta>. Luettu 22.4.2019.

Lattialämmityksen säätötyöt eri säätöventtiileillä

LL = lattialämmitys, LSV = manuaalinen linjasäätöventtiili, ASV = automaattinen virtauksenrajoitin

	LL + LSV	LL + ASV
Alustava perussäätö		
1	Verkosto täytetään ja ilmataan. Ensin täytetään ja ilmataan runko, jonka jälkeen jakojohdot ja viimeiseksi jako-tukkien piirit. Ilmaamisen aikana on pumpun oltava pysäytettynä.	Verkosto täytetään ja ilmataan. Ensin täytetään ja ilmataan runko, jonka jälkeen jakojohdot ja viimeiseksi jako-tukkien piirit. Ilmaamisen aikana on pumpun oltava pysäytettynä.
2	Tarkistetaan ja säädetään verkoston paine. Paine ei saa ylittää heikoimman osan rakennepainetta.	Tarkistetaan ja säädetään verkoston paine. Paine ei saa ylittää heikoimman osan rakennepainetta.
3	Asetetaan linjasäätöventtiilien sekä jakotukkien esisäätöarvot suunnitelman mukaisesti. Linjasäätöventtiilien esisäätöarvot on laskettava valmistajan ohjeiden mukaisesti.	Asetetaan ASV:n sekä jakotukkien esisäätöarvot suunnitelman virtaamien mukaisesti.
4	Avataan magneetti-, moottori- ja vastaavat venttiilit auki asentoon.	Avataan magneetti-, moottori- ja vastaavat venttiilit auki asentoon.
5	Säädetään kokonaisvesivirta pumpun asetuspistettä muuttamalla ja säätöventtiilillä.	Säädetään kokonaisvesivirta pumpun asetuspistettä muuttamalla ja säätöventtiilillä.
6	Mitataan linjasäätöventtiilien virtaamat ja säädetään tarvittaessa. Jotta saavutetaan linjasäätöventtiilien virtaamat sallittuihin arvoihin, on usein mitattava ja säädettävä kaikki linjasäätöventtiilit 3 kertaa.	Tarkistetaan mittaamalla, että vaikeamman piirin ASV:llä on riittävä paine-ero.
Perussäätö		
1	Irrotetaan jakotukkien toimilaitteet ja annetaan lämpötilojen tasaantua vähintään kaksi vuorokautta.	Irrotetaan jakotukkien toimilaitteet ja annetaan lämpötilojen tasaantua vähintään kaksi vuorokautta.
2	Tarkistetaan huonelämpötilat mittaamalla.	Tarkistetaan huonelämpötilat mittaamalla.

3	Jos huonelämpötilat eivät ole sallitun $\pm 1,5$ °C poikkeaman sisällä, tasoitetaan ensin piirikohtaiset lämpötilat. Vuorokauden kuluttua voidaan tehdä tarkistusmittaus. Ellei tarkistussäädöllä päästä tavoitearvoihin, on linjasäätöventtiilin virtaama muutettava. Tehtaessa isompia säätöjä, on koko verkosto tasapainotettava uudestaan. Tarvittaessa muutetaan lämmönsäätökäyrää kun lämpötilaerot ovat saatu $\pm 1,5$ °C poikkeaman sisälle.	Jos huonelämpötilat eivät ole sallitun $\pm 1,5$ °C poikkeaman sisällä, tasoitetaan ensin piirikohtaiset lämpötilat. Vuorokauden kuluttua voidaan tehdä tarkistusmittaus. Ellei tarkistussäädöllä päästä tavoitearvoihin, säädetään jakotukin ASV:n maksimivirtaamaa ja vastaavasti pumpun virtaamaa. ASV:n säätö ei vaikuta verkoston muihin ASV virtaamiin. Tarvittaessa muutetaan lämmönsäätökäyrää kun lämpötilaerot ovat saatu $\pm 1,5$ °C poikkeaman sisälle.
4	Säädöistä sekä mittauksista tehdään pöytäkirja, joka on liitettävä luovutusasiapapereihin.	Säädöistä sekä mittauksista tehdään pöytäkirja, joka on liitettävä luovutusasiapapereihin.
5	Jakotukkien lopulliset säätöarvot merkataan loppupiiirustuksiin ja linjasäätöventtiilien tiedot laitekilpeen.	Jakotukkien lopulliset säätöarvot merkataan loppupiiirustuksiin ja ASV:n tiedot laitekilpeen.
Takuuaikainen säätö		
1	Takuuaikana on ongelmien syntyessä selvitettävä syyt ja tarpeen mukaan tehdä korjaussäädöt. Säätötyöstä tehdään pöytäkirja. Kytkemällä säätöjärjestelmä taloautomaatioon, voidaan paikantaa ongelmakohteet lämmitysverkostossa.	Takuuaikana on ongelmien syntyessä selvitettävä syyt ja tarpeen mukaan tehdä korjaussäädöt. Säätötyöstä tehdään pöytäkirja. Kytkemällä säätöjärjestelmä taloautomaatioon, voidaan paikantaa ongelmakohteet lämmitysverkostossa.
2	Jos huonelämpötilat eivät ole sallitun $\pm 1,5$ °C poikkeaman sisällä, käydään läpi perussäädön vaiheet 3-5 uudestaan.	Jos huonelämpötilat eivät ole sallitun $\pm 1,5$ °C poikkeaman sisällä, käydään läpi perussäädön vaiheet 3-4 uudestaan.