

Joel Manninen

Patteriverkoston säätö ja tasapainotus: ongelmat ja ratkaisut

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööriytyö

1.6.2016

Tekijä Otsikko	Joel Manninen Patteriverkoston säätö ja tasapainotus: ongelmat ja ratkaisut
Sivumäärä Aika	42 sivua 1.6.2016
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Talotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	LVI, tuotantopainotteinen
Ohjaajat	Otto Jokinen, diplomi-insinööri Jukka Yrjölä, yliopettaja
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tutkia vesikiertoisien patterilämmitysverkoston perussäätöä ja tasapainotusta sekä niiden yhteydessä esiintyviä yleisiä ongelma tilanteita. Tämän lisäksi tutkittiin, mitä mahdollisia keinoja voidaan käyttää epätasaisesti lämmittävän patteriverkoston tasapainottamiseksi.</p> <p>Aihetta on tutkittu eri kirjallisuuslähteitä hyväksikäyttäen sekä keskustelemalla aiheesta alan ammattilaisten kanssa. Tämän lisäksi aihetta on tutkittu esimerkkikohteen avulla, jossa verkoston vedenkierrossa ja tasapainossa on ilmennyt ongelmia.</p> <p>Tässä työssä esitellään vesikiertoisien patterilämmitysverkoston toimintaa. Sen lisäksi käydään läpi verkoston osat, jotka liittyvät oleellisena osana verkoston toimintaan ja tasapainotukseen.</p> <p>Työssä käydään läpi säätö- ja tasapainotustyön suunnitteluvaihetta sekä asioita, jotka suunnittelijan tulisi ottaa huomioon verkostoa tasapainotettaessa. Tämän lisäksi esitellään perussäätötyön toteutus vaiheen tehtäviä säätömiehen näkökulmasta.</p> <p>Esimerkkikohteen avulla havainnollistetaan lämmityksen säädön ja tasapainotuksen suunnittelua. Esimerkkinä toimii eräs kahden kerrostalon kattava lämmitysverkosto, jossa on lämmityskauden aikana todettu epätasaisia lämpötiloja asuntojen välillä. Ongelman ratkaisemiseksi on esitelty useita toimenpiteitä, joilla saadaan parannettua kyseisen lämmitysverkoston toimintaa.</p> <p>Lopuksi käydään läpi verkoston toimintaa heikentäviä tekijöitä sekä yleisiä ongelmatilanteita, joita verkoston tasapainotuksessa ilmenee. Näille on myös esitetty ratkaisut, joilla verkoston toimintaa voidaan tehostaa.</p>	
Avainsanat	LVI, patteriverkosto, perussäätö, tasapainotus

Author Title	Joel Manninen Balancing radiator system: problems and solutions
Number of Pages Date	42 pages 1 June 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Production Orientation
Instructors	Otto Jokinen, Master of Sciences Jukka Yrjölä, Principal lecturer
<p>The purpose of this final year project was to study the balancing of a water circulated heating radiator system. Common problems of the heating system and possibilities to improve the circulation and balance in the system were examined.</p> <p>To study the topic, multiple literature sources and discussions with professionals in the field were used. Also a property with two apartment buildings with problems due to an unbalanced water circulated heating radiator system was studied. The final year project covered the design for a balancing project and the procedures suggested as solutions for the problems. Also, the most common causes which impair the operation of a water circulated heating radiator system and complicates balancing the system were collected, together with solutions for the problems.</p> <p>This thesis offers a comprehensive explanation of the operations of a water circulated heating system and its main parts that affect for the balance of the system. Balancing the system is explained in both designers and contractors point of view. The assignments which are related in planning and adjusting the system balance are specified.</p> <p>This report is useful for students and young HVAC planners who need to study the operation of water circulated heating radiator system and problems that the system includes.</p>	
Keywords	HVAC, balancing, radiator, heating

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Vesikiertoinen keskuslämmitysjärjestelmä	2
2.1	Lämmitysverkoston osat	2
2.1.1	Kiertovesipumppu	2
2.1.2	Lämmityspatteri	3
2.1.3	Esisäädettävä termostaattinen patteriventtiili	3
2.1.4	Linjasäätöventtiili	5
2.1.5	Kalvopaisunta-astia	6
2.1.6	Varoventtiili	7
2.2	Toiminta periaate	8
2.3	Lämmönluovutus	9
3	Patteriverkoston perussäätö	11
3.1	Suunnitteluvaihe	12
3.1.1	Lämpötilamittaukset	12
3.1.2	Lämpöhäviölaskenta	12
3.1.3	Verkoston mallintaminen	14
3.1.4	Verkoston tasapainottaminen	19
3.2	Säätövaihe	20
4	Esimerkkikohde	21
4.1	Kohteen esittely	21
4.2	Työn toteutus	22
4.2.1	Lämpöhäviöiden laskenta	22
4.2.2	Virtaaman lisääminen	23
4.2.3	Patteriventtiilien vaikutus	25
4.3	Korjaustoimenpiteet	27
4.3.1	Patteriventtiilit	27
4.3.2	Verkosto	28
4.3.3	Linjasätöventtiilin virtausaukko liian suuri	28

4.3.4	Pienten patterien virtaamat	29
5	Yleisiä patteriverkoston ongelmia	30
5.1	Ilma verkostossa	30
5.2	Verkoston epäpuhtaudet	31
5.3	Ääniongelmat	34
5.4	Paisunta-astia	35
5.5	Venttiilin koko	36
5.6	Säätötyössä tehdyt virheet	36
6	Yhteenveto	36
	Lähteet	38

Lyhenteet

Excel	Microsoftin kehittämä taulukkolaskentaohjelma
LSV	Linjasäätöventtiili
MagiCad	Progman Oy:n kehittämä talotekniikan suunnittelua avustava tietokoneohjelma, jota käytetään suunnitelmien mallintamiseen
Purmo	Teräslevyradiaattorien valmistaja

1 Johdanto

Vesikiertoinen patteriverkosto on Suomessa yleisimmin käytetty rakennuksen lämmitysmuoto. Yksi patteriverkoston piiri voi kattaa jopa useamman kerrostalon asuntojen lämmitystarpeet. Tasapainossa oleva patteriverkosto takaa jokaiselle taloyhtiön huoneistolle tasaiset lämpöolosuhteet.

Tässä työssä tarkoituksena on tutkia patteriverkoston säätöä ja tasapainotusta sekä niiden yhteydessä esiintyviä yleisiä ongelmatilanteita. Näin saadaan aikaan kattava raportti ratkaisukeinoista, joilla ongelmallisen verkoston säätö ja tasapainotus saadaan toteutettua. Työ on toteutettu yhteistyössä Hepacon Oy:n kanssa. Hepacon on Suomen toiseksi suurin kotimainen talotekniikkasuunnitteluun ja -konsultointiin erikoistunut yritys.

Vesikiertoisen patterilämmitysverkoston tasapainottamisessa on useita potentiaalisia ongelmia, jotka johtavat verkoston tarkempaan tutkimiseen. Suomen asuinrakennuskannasta noin 75 % on arvioitu puutteellisesti perussäädetyksi. Arvioiden mukaan huoneistokohtaiset lämpötilaerot voivat vaihdella yhdessä kiinteistössä keskimäärin 3 °C, mutta pahimmillaan jopa 6 °C. [28]

Useiden sisäilmatutkimusten mukaan suurimmalle osalle ihmisistä viihtyisä oleskelutilojen huonelämpötila on noin 21 °C. Tätä pidetään energiataloudellisesti hyvänä lämpötilana. [20] Jo muutaman celsiusasteen muutos huonelämpötilassa voi aiheuttaa huomattavaa epämukavuutta ja vedon tuntua huoneistossa. Tästä syystä verkoston tasapaino on erityisen tärkeää.

Patteriverkostoon kertynyt lika ja ilma aiheuttavat ongelmia verkoston veden kierrossa. Näiden lisäksi mm. virheet perussäädön suunnittelussa ja toteutuksessa aiheuttavat lämmitysongelmia.

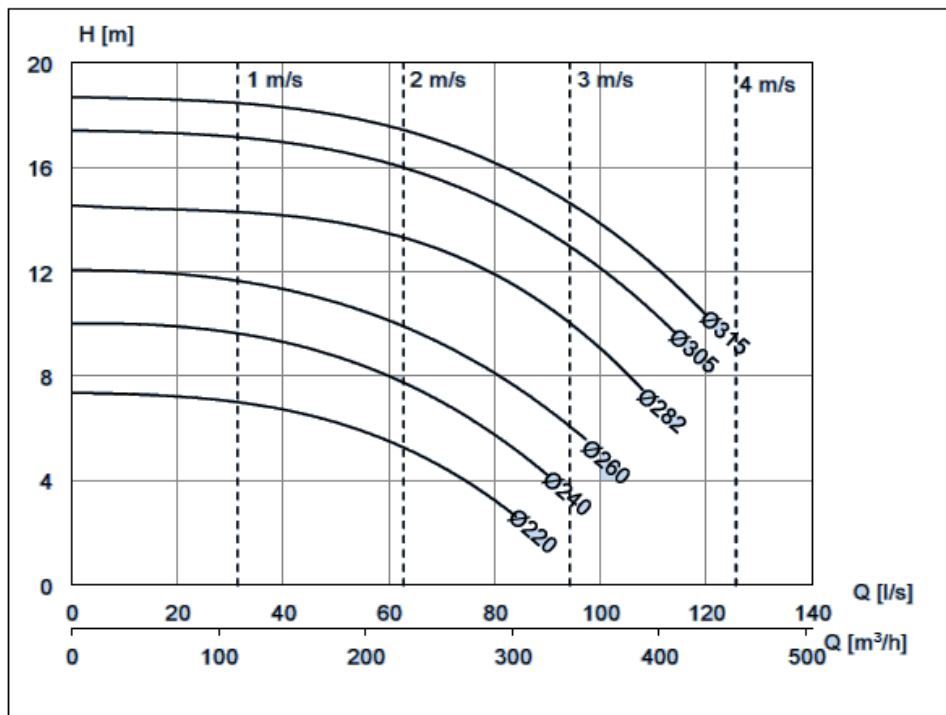
Työ sisältää esimerkkikohteen, jossa on jouduttu pohtimaan ratkaisuja epätasaisesti lämmittävän patteriverkoston tasapainotukseen. Näin on saatu käytännönläheinen kuva tutkittavasta ongelmasta. Tämän lisäksi aihetta on tutkittu eri kirjallisuuslähteitä hyväksi käyttäen ja on haastateltu kyseisen aiheen parissa työskennelleitä alan ammattilaisia.

2 Vesikiertoinen keskuslämmitysjärjestelmä

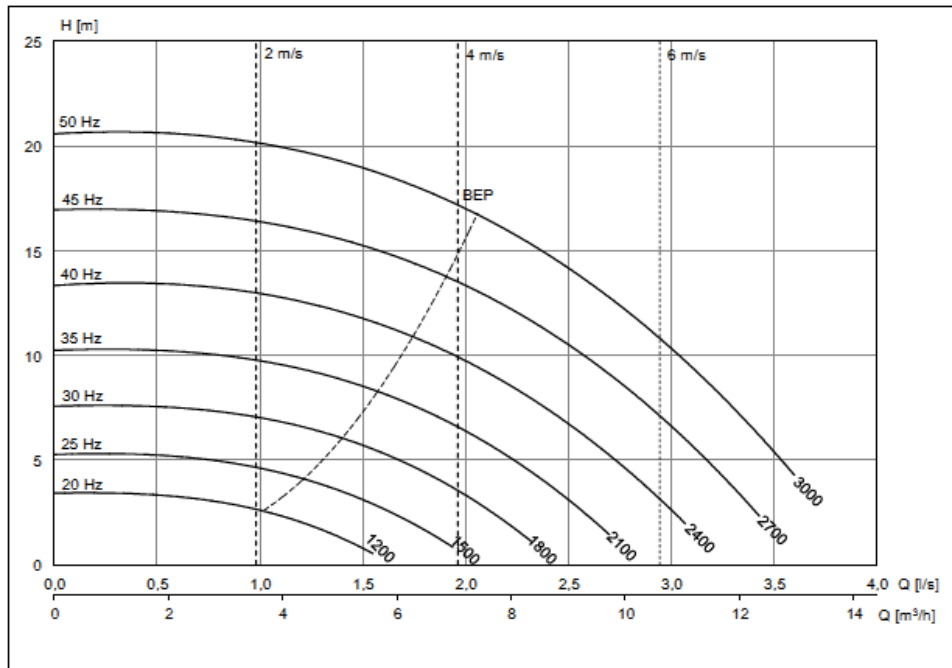
2.1 Lämmitysverkoston osat

2.1.1 Kiertovesipumppu

Kiertovesipumppu kierrättää veden lämmönsiirtimeltä patteriverkoston läpi. Taajuusmuuttajalla varustettu keskipakoispumppu sekä lämmitysjärjestelmää automaattisesti analysoiva kiertovesipumppu ovat lämmitysverkostossa yleisimmin käytettyjä pumppuja. Taajuusmuuttajalla varustetun pumpun pyörimisnopeutta voidaan säätää energiatehokkaaksi. [2] Vakionopeudella toimivan pumpun nostokorkeus pienenee virtauksen kasvaessa kuvan 1 mukaisesti. Nostokorkeutta pystytään lisäämään valitsemalla isompi pumppu. Kuvasta 2 huomataan, kuinka taajuusmuuttajalla toimivaan pumppuun voidaan lisätä pyörimisnopeutta, jos halutaan lisätä virtaamaa. Tällöin nostokorkeus pystytään pitämään vakiona.



Kuva 1. Vakionopeuspumpun ominaiskäyrä [30]



Kuva 2. Taajuusmuuttajalla toimivan pumpun ominaiskäyrä [30]

2.1.2 Lämmityspatteri

Lämmityspatterin eli radiaattorin avulla verkostossa virtaavan lämpimän veden lämpöteho saadaan siirrettyä huoneilmaan. Patteri siirtää lämpöä verkoston vedestä huoneilmaan säteilemällä ja konvektiolla. Patteri on yleensä sijoitettu ikkunan alle, sen aiheuttama nouseva ilmavirtaus sekoittuu kylmän ikkunapinnan aiheuttamaan laskevaan virtaukseen. Näin patteri osaltaan ehkäisee vedon tunnetta.

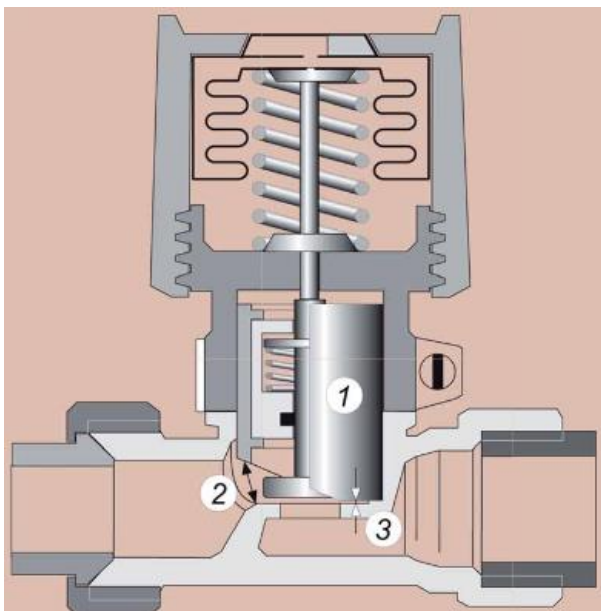
2.1.3 Esisäädettävä termostaattinen patteriventtiili

Termostaattinen patteriventtiili on lämmityspatterin yhteyteen asennettava venttiili, joka säätelee patterissa kulkevan veden virtausta. Venttiili koostuu kuvan 3 mukaisesti itse venttiiliosasta (osa 1) sekä siihen liitettävästä termostaattiosasta (osa 2).



Kuva 3. Termostaattipatteriventtiili [8]

Venttiiliosasta pystytään säätämään esisäätoarvo patteriventtiilille. Käytännössä esisäätoarvolla määritetään venttiilin virtausaukon maksimikoko kuvan 4 mukaisesti. Termostaattiosa on puolestaan automaattisesti toimiva ympäristön lämpötilaa tarkkaileva ja siihen reagoiva säädin, joka säätää venttiilin aukon kokoa. Termostaattiventtiilin toiminta perustuu sen sisällä olevan aineen lämpölaajenemiseen. Termostaattiosan laajenevana aineena käytetään yleensä nestekaasua tai vahaa.



Kuva 4. Termostaattiventtiilin leikkauskuva [9, s. 108]

Kuvan kohdassa 1, on esitetty sylinterimäinen kiertyvä esisäätökara. Kohta 2 on suurin mahdollinen virtausaukko, kun esisäätöarvo on asetettu maksimiin. Kohta 3 puolestaan esittää pienintä mahdollista virtausaukkoa, kun esisäätöarvo on asetettu minimiin.

2.1.4 Linjasäätöventtiili

Asuinkerrostalon patteriverkosto on lähes poikkeuksetta jaettu runkolinjasta haarautuviksi nousulinjoiksi. Linjasäätöventtiilin tehtävänä on säätää linjan vesivirtaa. Nousulinjoissa virtaavan veden määrä ei itsestään jakaudu oikein näille linjoille. Säädön lisäksi venttiilistä voidaan mitata vesivirtaa ja painehäviötä sekä sulkea ja tyhjentää linja. Venttiili tulee asentaa paluupuolelle, jotta linja voidaan tyhjentää korjaustöiden ajaksi. Venttiilin säätö tapahtuu kuvan 5 mukaisen linjasäätöventtiilin säätöosasta (osa 1) ja vesivirran mittaus mittausyhteestä (osa 2).



Kuva 5. Linjasäätöventtiili STAD [14]

Linjasäätöventtiilin kokoon vaikuttavat haluttu vesivirta ja virtausvastus. Näitä voidaan kuvata venttiilin k_v -arvolla. K_v -arvo ilmoittaa täysin auki säädetyin venttiilin vesivirran (m^3/h) 1 bar:n painehäviöllä. K_v -arvo saadaan laskettua kaavalla 1

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

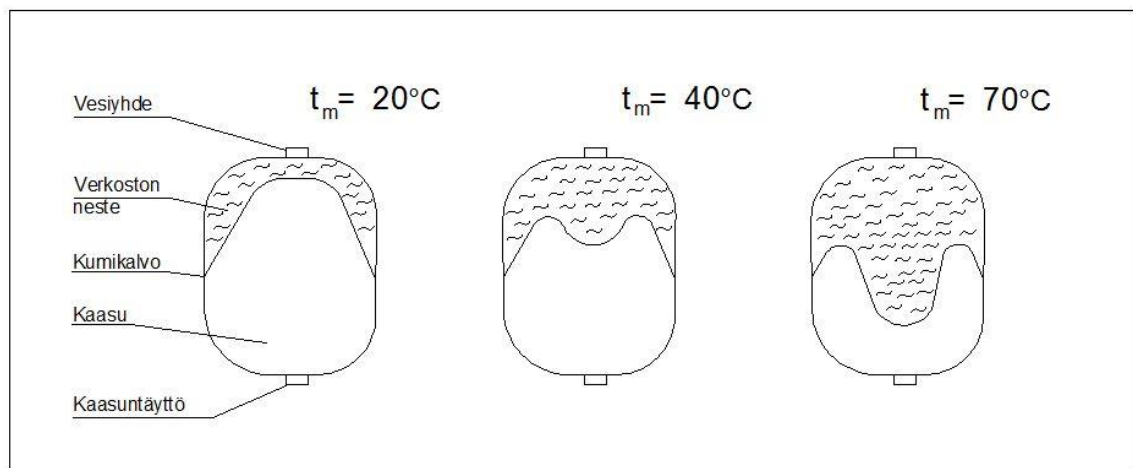
jossa

q_v on tilavuusvirta, m^3/h

Δp on painehäviö, bar (1 bar= 100kPa)

2.1.5 Kalvopaisunta-astia

Verkoston veden lämpötilan muuttuessa veden tilavuus muuttuu. Veden tilavuus kasvaa, kun vesi lämpenee ja vastaavasti pienenee kun vesi jäähtyy. Tätä varten lämmitysjärjestelmä tulee varustaa paisunta-astialla. [2] Kalvopaisunta-astia on yleisimmin käytetty paisunta-astia. [24] Kalvo-paisunta-astia on säiliö, jonka sisällä on joustava kumikalvo. Astiassa on vesiyhde, josta verkoston paineen kasvaessa osa vedestä siirtyy astiaan kalvon toiselle puolelle. Kalvon toinen puoli on täytetty kaasulla. Kaasun tehtävä on olla vastapaineena, kun verkoston paine laskee. Kaasun ainemäärä säiliössä pysyy vakiona, mutta tilavuus ja paine muuttuvat. Kuvassa 6 on esitetty kalvopaisunta-astian toiminta, kun verkoston menoveden lämpötila on 20, 40 ja 70 °C. [27]



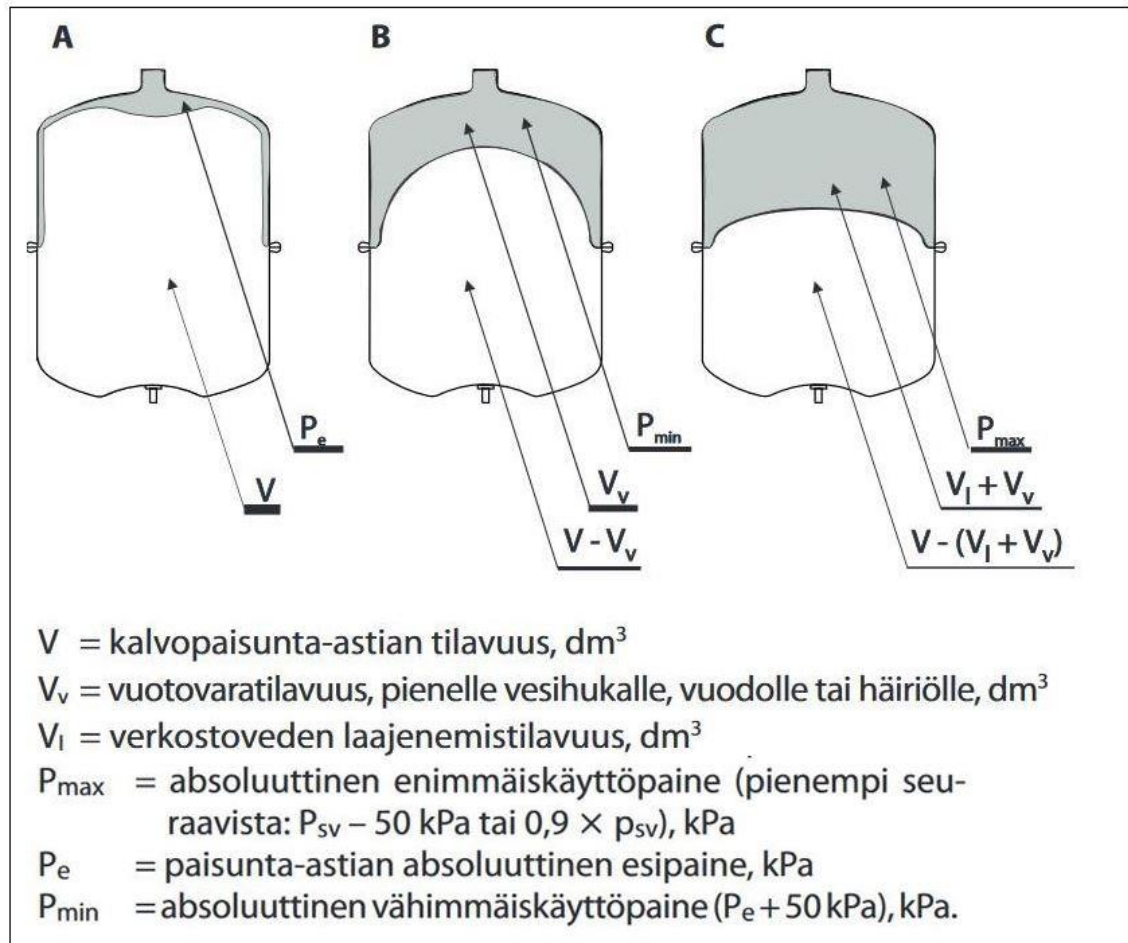
Kuva 6. Kalvopaisunta-astian toiminta

Paisunta-astian pitää pystyä vastaanottamaan lämpötilan nousun aiheuttama veden laajeneminen paineen nousematta liian korkeaksi. Talvella verkoston ollessa lämpimimmillään ja sen tilavuuden ollessa suurimmillaan osa vedestä ajautuu paisunta-astiaan. Näin verkostoon ei aiheudu ylimääräistä painetta. Kun verkoston lämpötila jäähtyy kesällä, veden tilavuus pienenee ja paisunta-astia ohjaa siihen kylmällä säällä ajautuneen veden takaisin verkostoon, jolloin verkoston paine ei pääse laskemaan. [29]

Paisunta-astian tilavuuteen vaikuttaa verkoston vesitilavuus sekä järjestelmän alku- ja loppupaine. Paisunta-astian alkupaine määräytyy verkoston korkeimman kohdan ja astian korkeuserojen perusteella. Verkosto mitoitetaan periaatteella 10 kPa/m, jolla saadaan alin toiminta paine, eli staattinen paine. Esimerkiksi verkoston, jonka korkein kohta on 10 m, staattinen paine on 100 kPa. [24, s. 5] Paisunta-astian esipaine valitaan n. 30–

50 kPa suuremmaksi kuin verkoston staattinen paine. Loppupaine puolestaan määräytyy luvussa 2.1.6 esitetyn varoventtiilin avautumispaineen mukaan. [29]

Kuvassa 7 on esitetty paisunta-astian toiminta, kun A) paisunta-astiaa ei ole kytketty verkostoon, B) paisunta-astia on kytketty verkostoon ja verkosto on täytetty vähimmäiskäyttöpaineeseen ja C) kun paisunta-astia on enimmäismitoitustilassa, eli ylimässä käyttöpaineessa.



Kuva 7. Paisunta-astian toiminta [27, s. 2]

2.1.6 Varoventtiili

Varoventtiilin tehtävä on suojata putkistoa ja siihen liittyvää laitteistoa kuten paisunta-astiaa liialliselta paineelta. Jos paisunta-astian laajenemistilavuus ei riitä, verkoston paine nousee liian suureksi, jolloin varoventtiili avautuu ja laskee järjestelmästä liiallisen nesteen, kunnes paine on riittävän alhainen. Varoventtiilin avautumispaineen tulee olla

suurempi kuin paisunta-astian esipaine, mutta korkeintaan yhtä suuri kuin verkoston korkein sallittu käyttöpaine, mielellään kuitenkin pienempi. [27, s. 4.]

2.2 Toiminta periaate

Vesikiertoinen keskuslämmitys järjestelmä on Suomessa yleisimmin käytetty rakennuksen lämmitysjärjestelmä. Tässä lämpö siirretään lämpimän menoveden avulla lämmönjakokeskuksesta putkiverkoston pitkin verkoston lämmönluovuttimille. Huoneistoissa sijaitsevat lämmönluovuttimet, yleensä patterit, lämpenevät ja luovuttavat tarvittavan lämmitystehon huoneilmaan. Lämmönluovuttimilta vesi palaa jäähtyneenä paluuvetenä takaisin lämmönjakokeskukseen uudelleen lämmitettäväksi.

Yleisin patteriverkoston veden lämmitysmuoto on kaukolämpö. Kaukolämpöä käyttävässä järjestelmässä voimalaitoksessa lämmitetty vesi pumpataan taloyhtiöiden alajakokeskuksiin. [12] Lämpö siirretään patteriverkostossa virtaavaan veteen alajakokeskusten lämmönsiirtimessä. Lämmön siirtimellä kiertää sekä kaukolämpövesi omassa piirissään, että patteriverkoston vesi omassa piirissään ilman, että ne sekoittuvat keskenään. Muita veden lämmitysmuotoja ovat mm. puu-, sähkö- ja öljylämmitys sekä hybridilämmitys, jolloin voidaan osa vedestä lämmittää esimerkiksi aurinko- tai maalämpöenergialla ja loput edellä mainittuja energialähteitä käyttämällä.

Lämmitysverkoston menoveden lämpötilaa ohjataan kuvan 8 mukaisella lämmityksen säätökäyrällä. Menoveden lämpötila ohjataan ulkolämpötilan mukaan siten, että mitä kylmempi ulkolämpötila on, sitä kuumempaa verkoston menoveden lämpötila on. [1] Optimaalinen säätökäyrän asento etsitään kokeilemalla. Säätökäyrän kello-ohjauksella voidaan asettaa yöaikaisen menoveden lämpötila matalammaksi kuin päivälämpötila.



Kuva 8. Patteriverkoston säätökäyrä [9, s. 139]

2.3 Lämmönluovutus

Lämmityspatterit valitaan patterivalmistajan valintaohjelmalla. Valintaohjelmaan pystytään määrittämään patterissa virtaavan veden lämpötila (Δt) sekä haluttu huonelämpötila. Patterin lämmitysteho riippuu vesivirrasta ja veden lämpötilasta sekä huonelämpötilasta. Teho muuttuu vesivirran ja veden lämpötilan muuttuessa [3, s. 178]. Halutun tehon ollessa pienempi kuin nimellisarvoilla lasketun patterin maksimitehon on huomioitava, että patterissa kiertävä vesi jäähtyy enemmän ja palaavan veden lämpötila on pienempi.

Patterin lämmönluovutusteho muuttuu logaritmisesti vesivirran muuttuessa. Myös palaavan veden lämpötila muuttuu, kun patterin vesivirta muuttuu. Lämmönluovutusteho voidaan laskea kaavan 2 logaritmisestä yllilämpötilan avulla kaavasta 3.

$$\theta_{ln} = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (2)$$

jossa

θ_{ln} on logaritminen yllilämpötila, °C

θ_1 on menoveden lämpötilan ja huonelämpötilan erotus ($t_m - t_h$), °C

θ_2 on paluu lämpötilan ja huonelämpötilan erotus ($t_p - t_h$), °C

$$\phi = \left(\frac{\theta_{ln1}}{\theta_{ln2}} \right)^n * \phi_{max} \quad (3)$$

jossa

ϕ on patterin lämmönluovutus teho, W/m

ϕ_{max} on kyseisen patterin lämmönluovutusteho nimellisarvoilla, W/m

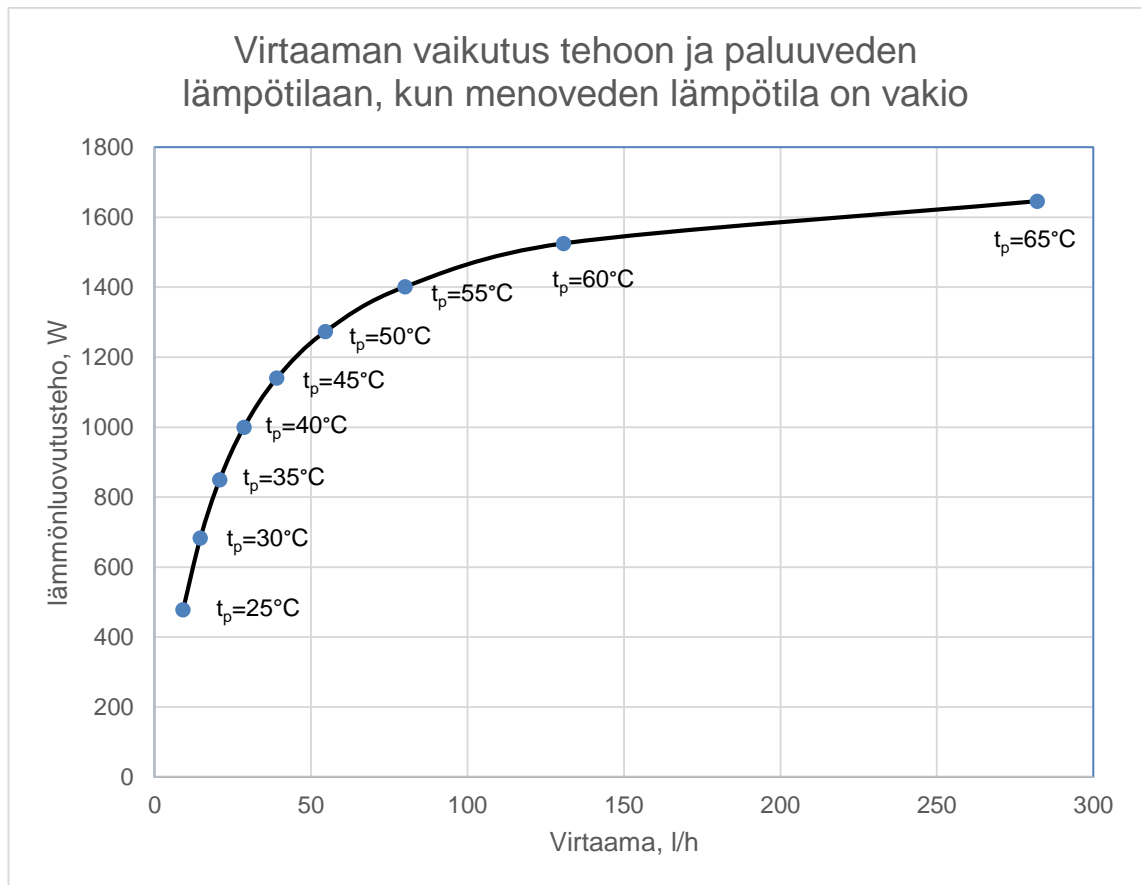
θ_{ln1} on logaritminen yllilämpötila, °C

θ_{ln2} on logaritminen yllilämpötila nimellisarvoja käyttäen, °C

n on lämmönluovutuseksponentti, Purmon levypattereille n. 1,3 [10]

Valitaan patterivalmistajan valintaohjelmasta esimerkiksi patteri, jonka lämmönluovutusteho on 1 000 W, kun verkoston lämpötila on 70/40 °C ja haluttu huonelämpötila on 21 °C. Kun menoveden lämpötila ja huonelämpötila pysyvät vakiona (70 °C ja 21 °C) ja

vesivirtaa muutetaan muuttuvat paluulämpötila (t_p) ja teho kuvan 9 mukaan. Kun lämmönluovutusteho ja patterilta palaavan veden lämpötila tunnetaan, saadaan vesivirta muuttamalla kaavaa 4.



Kuva 9. Virtaaman vaikutus tehoon ja paluueden lämpötilaan, kun menoveden lämpötila on vakio

$$\phi = q_v * \rho * c_p (t_m - t_p) \quad (4)$$

$$\rightarrow q_v = \frac{\phi}{\rho * c_p (t_m - t_p)}$$

jossa

q_v on tilavuusvirta

ϕ on lämmönluovutusteho, W

t_m on menoveden lämpötila, °C

t_p on paluu veden lämpötila, °C

c_p on veden ominaislämpö kapasiteetti: 4,2 J/(K·kg)

ρ on veden tiheys: 1000 kg/m³

Jos valitaan taulukosta piste, jossa teho on 1000 W ja paluuveden lämpötila on 40 °C, vesivirta on

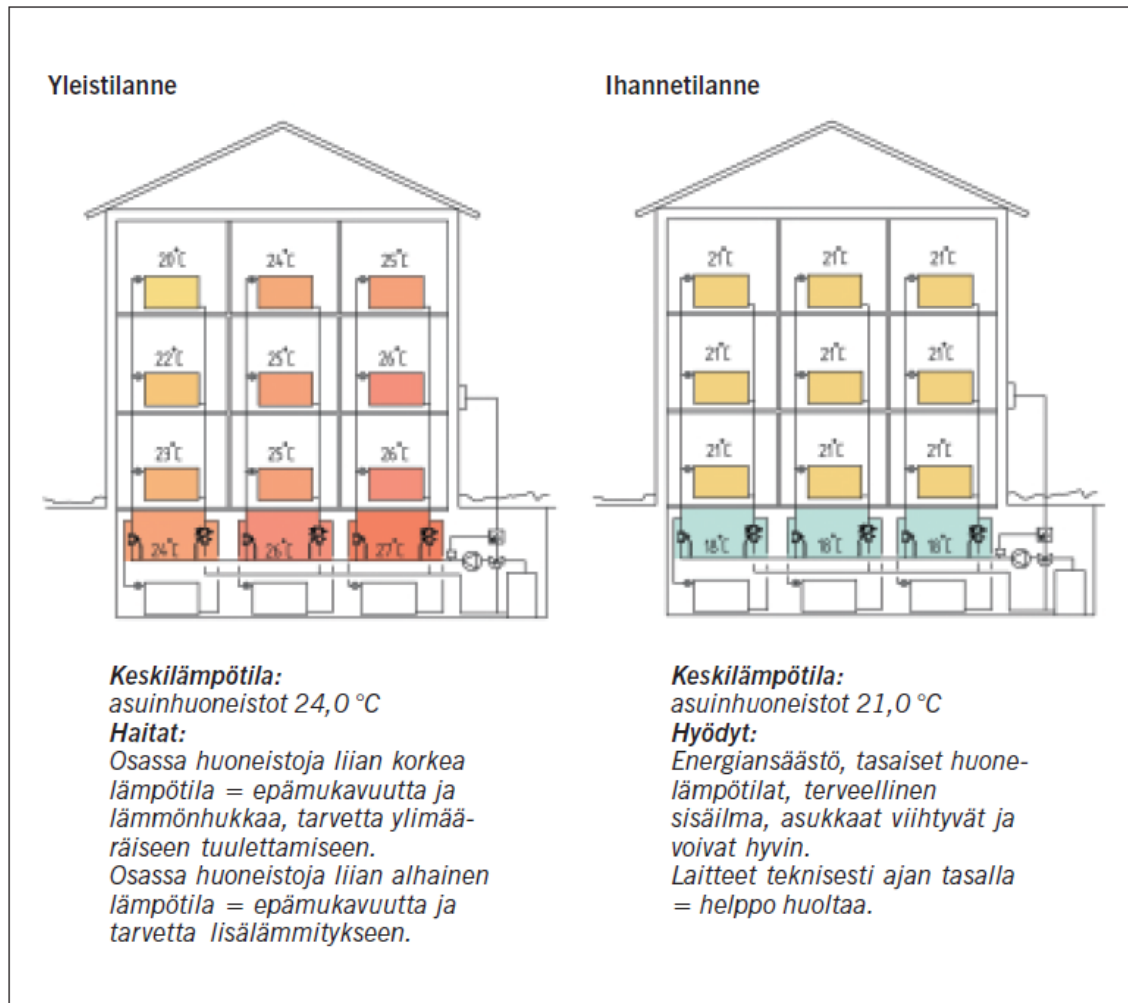
$$q_v = \frac{1000 \text{ W}}{1000 \text{ kg/m}^3 * 4,2 \text{ J/(K*kg)} * (70^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})} = 0,0079 \text{ l/s} \approx 28 \text{ l/h}$$

Teholla 1400 W paluulämpötila on noin 55 °C. Tällöin vesivirta on

$$q_v = \frac{1400 \text{ W}}{1000 \text{ kg/m}^3 * 4,2 \text{ J/(K*kg)} * (70^\circ\text{C} - 55^\circ\text{C})} = 0,0222 \text{ l/s} \approx 80 \text{ l/h}$$

3 Patteriverkoston perussäätö

Patteriverkoston perussäätö on prosessi, jossa verkoston vesivirrat säädetään LVI-suunnitelmien mukaisiksi. Perussäädöllä varmistetaan suunnitelmien mukaiset tasapuoliset lämpöolosuhteet asuinkerrostalon huoneistoissa. Lämpöolojen tasaamisen lisäksi perussäädöllä pienennetään lämmityksestä aiheutuvia kustannuksia. Oikein tehdyllä perussäädöllä voidaan arvioiden mukaan säästää jopa 10–15 % energiankulutuksesta. Ilman perussäätöä pattereissa, jotka ovat lähinnä lämmönsiirrintä, virtaisi liikaa vettä, kun puolestaan kauempana olevissa pattereissa liian vähän. Oheinen kuva 10 havainnollistaa yleisen ongelmatilanteen, jossa verkostoa ei ole säädetty. Perussäätötyö on toteutettava vasta mahdollisten lämmitystarpeeseen vaikuttavien rakenteisiin tehtävien korjaustöiden jälkeen. Kylmäsiltojen poistaminen tai ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen pienentäminen sekä tilojen ilmavirtojen tarkistaminen ja säätäminen suunnitelmien mukaisiksi vaikuttavat huomattavasti huonelämpötilaan, jolloin säätö voi olla tarpeeton. [7] Patteriverkoston perussäätötyö voidaan jakaa suunnitteluvaiheesta ja säätövaiheesta.



Kuva 10. Patteriverkoston yleistilanne ja ihannetilanne [6]

3.1 Suunnitteluvaihe

3.1.1 Lämpötilamittaukset

Suunnitteluvaihe lähtee liikkeelle huoneistokohtaisilla lämpötilamittauksilla. Mittauksilla määritetään huoneistot, joissa lämpötilapoikkeamia halutusta lämpötilasta esiintyy. Kun mittaukset on suoritettu, voidaan lähteä tutkimaan, mistä epätasaiset lämpöolot johtuvat.

3.1.2 Lämpöhäviölaskenta

Lämmitysverkoston perussäädön suunnittelussa on määritettävä lämpöhäviötehot. Mikäli kohteena on uudisrakennus, laskee LVI-suunnittelija jokaisen tilan lämpöhäviöt ja

suunnittelee lämmitysjärjestelmän näiden lämpöhäviöiden mukaan. Jos kohde on vanhempi rakennus, jossa tehdään uudelleen perussäätö, on suunnittelijan valittava satunnaisesti useita tiloja, joiden lämpöhäviötehot lasketaan. Näitä verrataan vanhoihin suunnitelmiin. Vanhoihin suunnitelmiin merkityt patterien lämmitystekot eivät välttämättä ole tämän päivän mukaisia. Ajan myötä tehdyt tilamuutokset ja rakenteissa tehdyt muutokset sekä energiasäästötoimenpiteet ovat saattaneet muuttaa lämmitystekotarvetta.

Lämpöhäviötehoja laskettaessa on huomioitava rakenteiden läpi johtuva lämpöhäviö vuotoilman, tuloilman ja korvausilman aiheuttamat lämpöhäviöt. Tilan lämpöhäviö saadaan laskemalla nämä lämpöhäviötehot yhteen kaavan 5 mukaan.

$$\phi_{tila} = \phi_{johtuminen} + \phi_{vuotoilma} + \phi_{tuloilma} + \phi_{korvausilma} \quad (5)$$

Rakenteen läpi johtuva lämpöhäviöteho lasketaan kaavalla 6 ja kylmäsiltojen lämpöhäviö kaavalla 7. Rakenneosien lämpöhäviöt ja kylmäsiltojen lämpöhäviöt yhteen laske- malla kaavan 8 mukaan saadaan kaavaan 5 tarvittava johtumislämpöhäviöteho. Rakennusosien lämpöhäviöitä laskettaessa on huomioitava, että eri rakennusosille on eri lämmönläpäisykerroin, jonka rakennesuunnittelija määrittelee.

$$\phi_{rakennusosa} = U * A * (t_s - t_u) \quad (6)$$

$$\phi_{kylmäsiljat} = l_k * \Psi_k * (t_s - t_u) \quad (7)$$

$$\phi_{johtuminen} = \phi_{rakennusosa} + \phi_{kylmäsiljat} \quad (8)$$

joissa

$\phi_{johtuminen}$ on johtumislämpöteho rakennusosan läpi, W

U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin, W/(m²K)

A on rakennusosan pinta-ala, m²

t_s on sisäilman lämpötila, °C

t_u on mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

Ψ_k on viivamaisen kylmäsiljan lisäkonduktanssi, W/(m*K)

l_k on viivamaisen kylmäsiljan pituus, m

Tulo lämpöhäviöteho saadaan laskettua kaavalla 9 ja korvausilman lämpöhäviöteho kaavalla 10 sekä vuotoilma kaavalla 11.

$$\Phi_{tuloilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v,tulo} * (t_s - t_{sp}) \quad (9)$$

$$\Phi_{korvausilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v, korvaus} * (t_s - t_u) \quad (10)$$

$$\Phi_{vuotoilma} = \rho_i * c_{pi} * q_{v, vuoto} * (t_s - t_u) \quad (11)$$

joissa

$\Phi_{tuloilma}$ on tuloilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

$\Phi_{korvausilma}$ on korvausilman lämpenemisen lämpötehon tarve, W

ρ_i on ilman tiheys, 1,2 kg/m³

c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/(kg K)

t_s on sisäilman lämpötila, °C

t_u on mitoittava ulkoilman lämpötila, °C

t_{sp} on sisäänpuhalluslämpötila, °C

[13, s. 60–62.]

3.1.3 Verkoston mallintaminen

Nykyään lämmitysverkostojen uudelleen perussäätöä suunniteltaessa yleinen tapa on mallintaa verkosto nykytilannetta vastaavaksi. Mallintamiseen käytetään yleensä Magi-Cad-tietokoneohjelmaa. Mallinnettua verkostoa pystytään käyttämään suunnittelijan apuna ongelmatilannetta ja ratkaisuvaihtoehtoja tutkittaessa.

Verkosto saadaan mallinnettua nykytilannetta vastaavaksi tutkimalla viimeisimpiä suunnitelmia sekä epäselvissä tapauksissa tutkimalla verkostoa paikan päällä. Putkikokojen ja materiaalien, venttiilien kokojen ja mallien, sekä patterien kokojen, mallien ja lämmitystehojen on vastattava nykytilannetta. Mallinnetulle verkostolle on vaivatonta simuloida

verkoston tasapainotus. Jotta tasapainotuksen simulointi on mahdollisimman tarkka, tulee myös verkoston asetusarvojen olla todenmukaiset.

Mallinnetun patteriverkoston tasapainotuksen simuloinnissa MagiCad-ohjelmaa käyttäen on huomioitavaa, ettei ohjelma huomioi patterin läpi virtaavan veden lämpötilan muutosta patterikohtaisesti vaan laskee virtaaman verkostolle syötettyjä lämpötila-arvoja käyttäen. Todellisuudessa kultakin patterilta palaavan veden lämpötila on hieman eri, mikäli patterista haluttu teho muuttuu sen nimellisarvoilla laskettuun tehoon nähden. Jos patterin teho on eri, kuin sen nimellisarvoilla laskettu teho, on paluulämpötilassa huomioitava luvussa 3.2 esitetty logaritminen yllilämpeneminen. Patterikohtainen virtaama lasketaan luvussa 3.2 esitetyllä kaavalla 4. Kaavasta huomataan, kuinka virtaamaan vaikuttavat patterin lämmönluovutusteho sekä meno- ja paluueden lämpötila. Menoveden lämpötilan voidaan olettaa pystyvän vakiona kaikissa pattereissa. Paluueden lämpötila muuttuu.

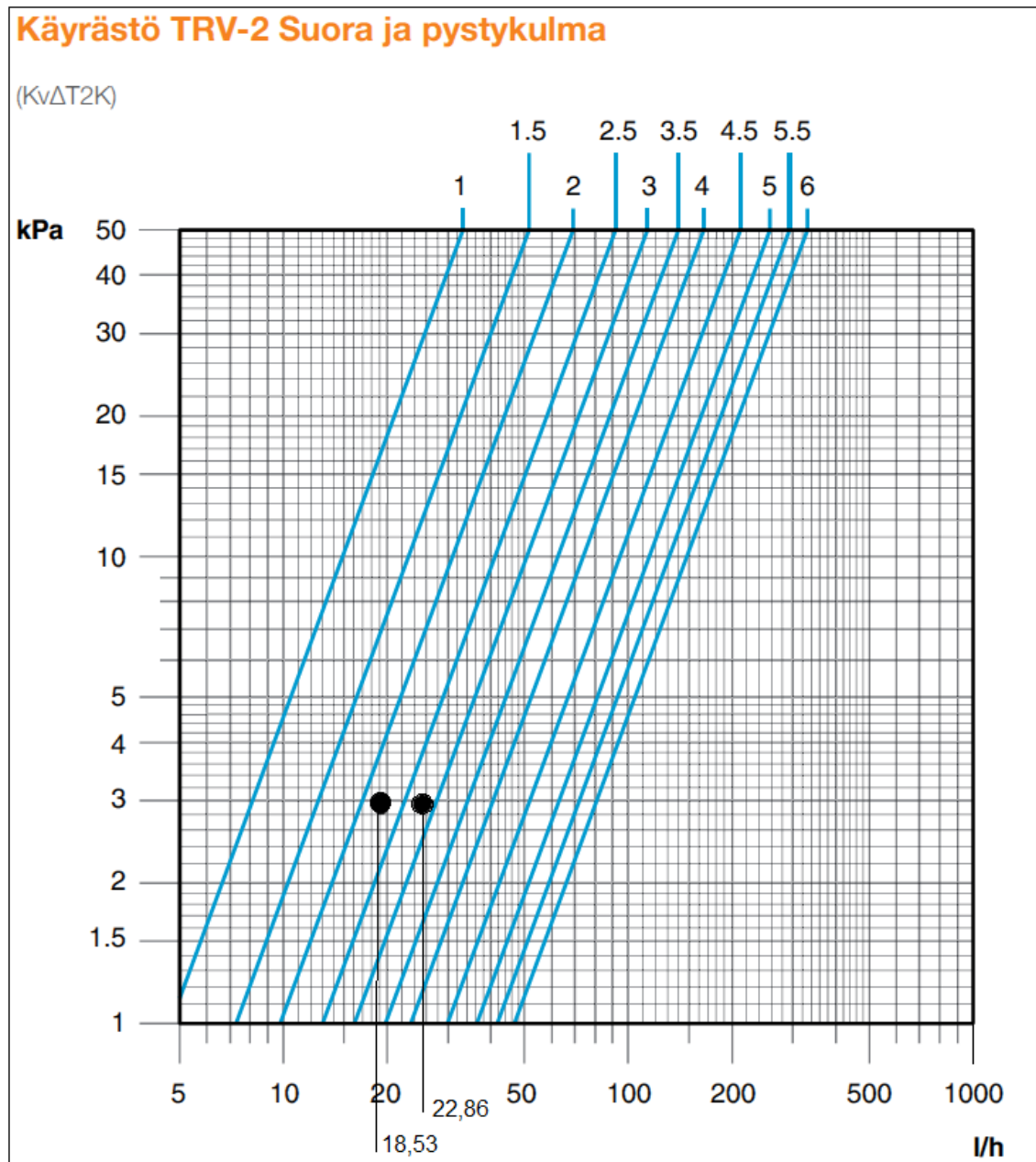
Valitaan esimerkiksi patteri, jonka teho on 1 000 W, kun menoveden lämpötila on 70 °C, paluueden lämpötila on 40 °C ja haluttu huonelämpötila on 21 °C. Jos halutaan käyttää kyseistä patteria, mutta pienentää sen tehontarvetta 800 W:iin, huomataan luvussa 3.2 esitetystä kuvasta 9, että patterilta palaavan veden lämpötila on logaritminen yllilämpeneminen huomioon ottaen noin 33 °C. Lasketaan patterille virtaama luvussa 3.2 esitetyn kaavan 4 avulla.

$$q_v = \frac{800}{1000 * 4,2 * (70 - 33)} = 0,0051 \text{ l/s} = 18,53 \text{ l/h}$$

Vertailun vuoksi lasketaan virtaama, kun logaritmisen yllilämpötilaa ei ole huomioitu paluueden lämpötilaan. Tällöin paluueden lämpötilana käytetään 40 °C:ta

$$q_v = \frac{800}{1000 * 4,2 * (70 - 40)} = 0,0063 \text{ l/s} = 22,86 \text{ l/h}$$

Edellä lasketuista virtaamista huomataan, että jos logaritmista yllilämpenemistä ei huomioida paluueden lämpötilassa, syntyy virheitä virtaamiin ja venttiilien asetusarvoihin. Kaaviosta 1 huomataan, mikä ero edellä lasketuilla virtaamilla on venttiilin esisäätöarvossa. Virhe kasvaa sitä suuremmaksi, mitä suuremmaksi nimellisarvoilla lasketun tehon ja patterilta halutun tehon eroa kasvatetaan.



Kaavio 1. TRV-2, säätökäyrästä [16]

Koska pattereiden virtaamat pystytään laskemaan, kun on selvitetty paluuveden lämpötila logaritminen ylälämpeneminen huomioiden, pystytään myös määrittämään teho, joka patterilta tulisi saada $70\text{ °C} / 40\text{ °C}$:n lämpötiloilla, jotta haluttu virtaama toteutuu. Tämä teho asetettuna patterille, saadaan MagiCad laskemaan virtaamat ja mitoittamaan venttiilit oikein. Esimerkiksi sijoitetaan ensimmäisessä laskussa laskettu virtaama $0,0051\text{ l/s}$ luvun 3.2 kaavaan 4 ja lasketaan teho, joka ohjelmaan tulisi syöttää, kun patterin menoveden lämpötila on 70 °C ja paluuveden lämpötila on 40 °C , jotta haluttu virtaus toteutuu mallissa.

$$\phi = 0,0051 * 1000 * 4,2 * (70 - 40) = 643 \text{ W}$$

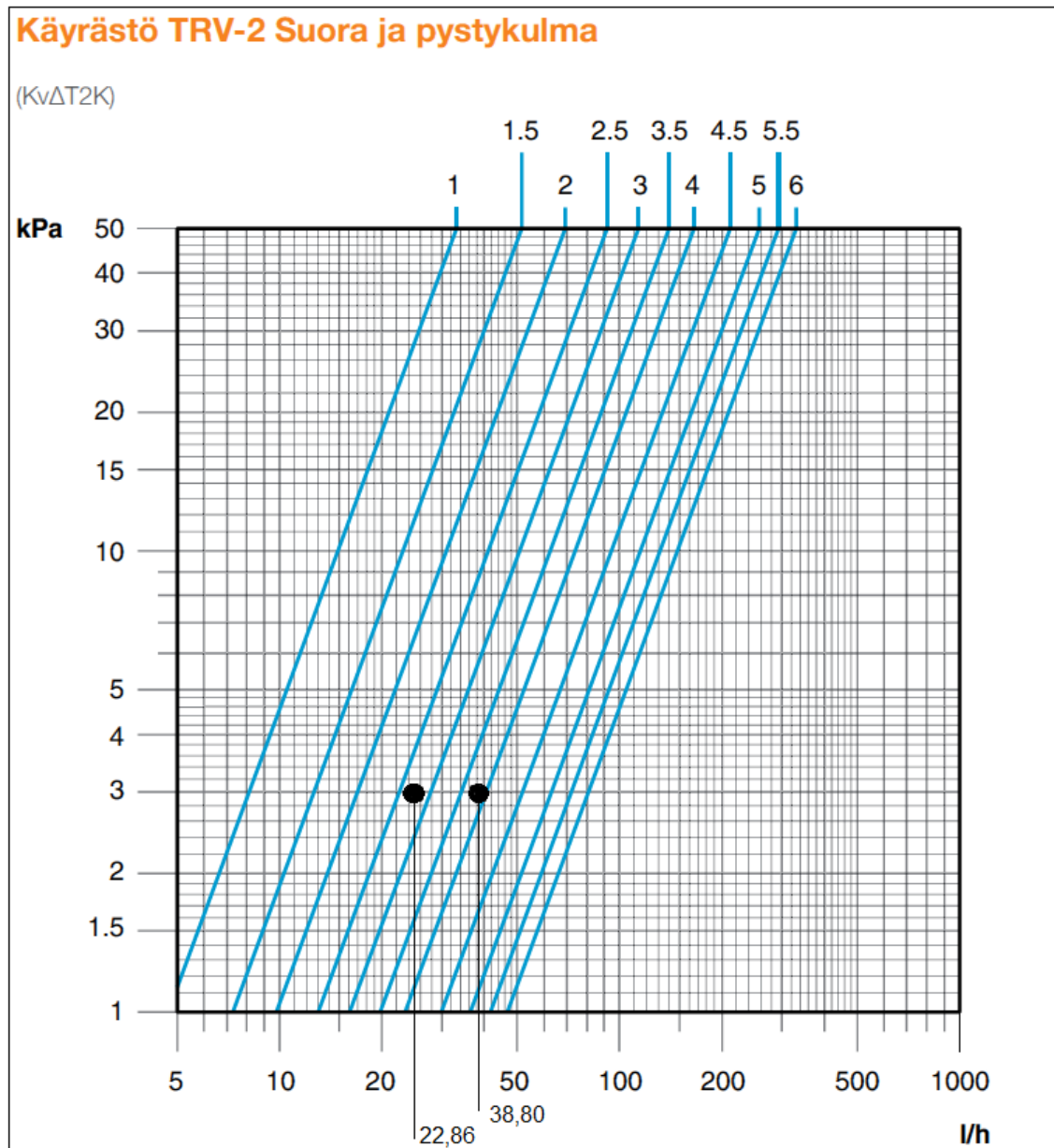
Edellisessä esimerkissä oli tilanne, jossa patteri on ylimitoitettu, kun lämmitystehon tarve on 800 W. Tutkitaan tilannetta, jossa patteri on alimitoitettu. Tilanteeseen, jossa patteri on alimitoitettu, valitaan patteri, jonka teho on 600 W, kun verkoston lämpötila on 70 °C / 40 °C ja haluttu lämmitystehontarve 800 W. Tehontarvetta vastaava paluulämpötila voidaan laskea käyttämällä luvun 3.2 kaavoja 2 ja 3. Excel-taulukkolaskentaohjelman tavoitteenhaku-toimintoa apuna käyttäen on saatu kyseiselle alimitoitetulle patterille paluulämpötilaksi noin 52 °C, kun haluttu lämmitysteho on 800 W ja kun logaritminen yllilämpötila on otettu huomioon. Virtaama saadaan laskettua luvun 3.2 kaavalla 4.

$$q_v = \frac{800}{1000 * 4,2 * (70 - 52)} = 0,011 \text{ l/s} = 38,80 \text{ l/h}$$

Vertailun vuoksi lasketaan virtaama, kun logaritmisen yllilämpötilaa ei ole huomioitu paluuvien lämpötilaan. Tällöin paluuvien lämpötilana käytetään 40 °C:ta

$$q_v = \frac{800}{1000 * 4,2 * (70 - 40)} = 0,0063 \text{ l/s} = 22,86 \text{ l/h}$$

Virtaamia verratessa huomataan, että logaritmisen yllilämpötilan vaikutuksen huomiomatta jättäminen patterilta virtaavan veden paluulämpötilassa aiheuttaa noin 40 %:n virheen. Kaaviosta 2 nähdään virhe, joka tapahtuu esisäätöarvon määrittämisessä, kun logaritmista yllilämpötilaa ei ole huomioitu patterilta palaavan veden lämpötilassa.

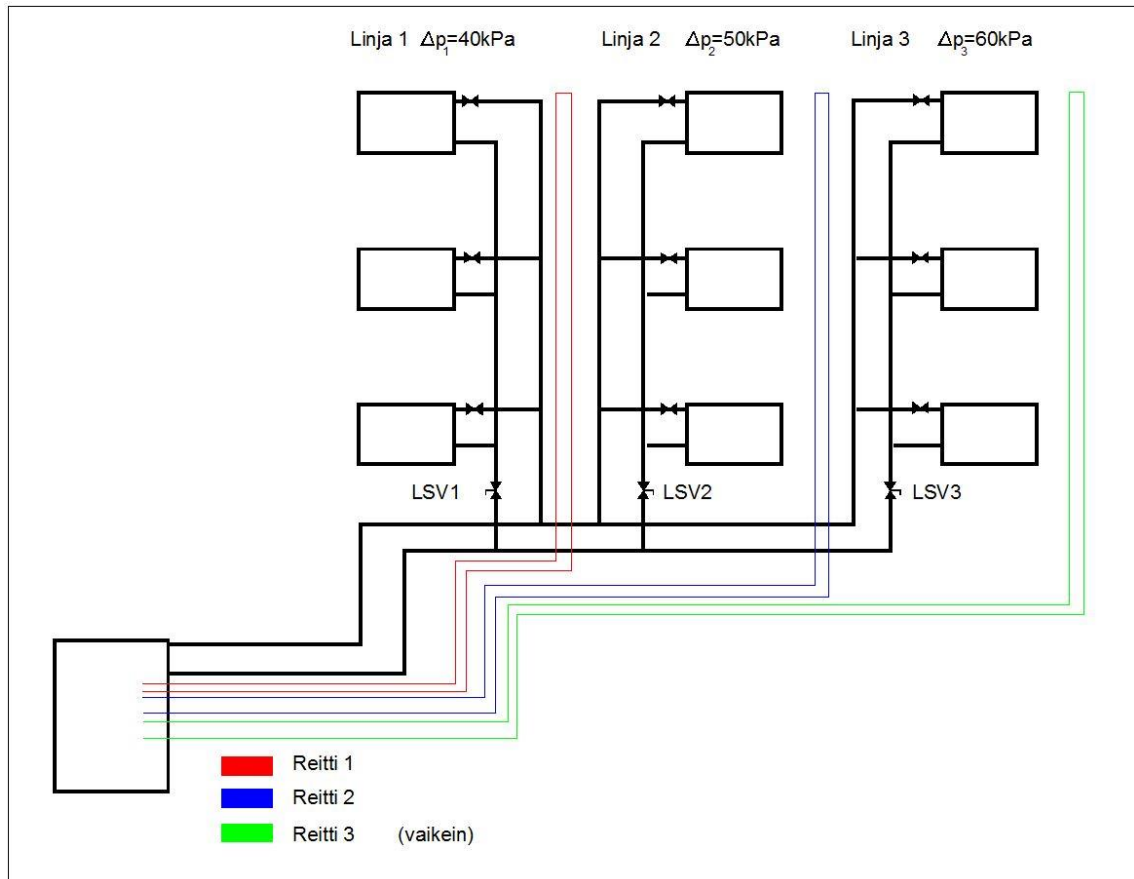


Kaavio 2. TRV-2, säätökäyrästä [16]

Nyt tiedetään alimitoitettun patterin virtaama ja paluuveden lämpötila, kun patterilta halutaan lämmitystehoa 800 W. Näillä tiedoilla pystytään luvun 3.2 kaavan 4 avulla laskemaan teho, joka tietokonemalliin tulisi asetta, jotta ohjelma saadaan määrittämään oikea virtaama ja säätöarvo patterille.

$$\phi = 0,011 * 1000 * 4,2 * (70 - 40) = 1\,386\text{ W}$$

Oheisessa kuvassa 12 on esimerkki verkoston tasapainotuksesta. Tässä vaikein reitti kulkee linjan 3 kautta. Linjan 3 linjasäätöventtiin LSV 3:n paine-eroksi säädetään 3 kPa. Koska linjan 2 kautta kulkevan reitin painehäviö on 50 kPa, on sitä kuristettava siten, että LSV 2:n painehäviö on 13 kPa. Linjan 1 venttiilillä on puolestaan kuristettava 23 kPa.



Kuva 12. Patteriverkoston tasapainottaminen

Tasapainottamalla verkoston suunnittelija pystyy määrittämään patteriventtiilien esisäätöarvot, sekä linjasäätöventtiin säätöarvon ja virtaaman.

3.2 Säätovaihe

Itse säätö tapahtuu verkoston linjojen alussa olevista paluupuolen johtoon asennetuista linjasäätöventtiileistä sekä patterien yhteyteen asennetuista patteriventtiileistä. Patteriventtiilien termostaattiosat tulee irrottaa ennen säätötyön aloittamista, jotta termostaatti

ei pääse vaikuttamaan virtaamiin säädön aikana. Säätvaiheessa venttiilien arvot säädetään LVI-suunnittelijan määrittämien arvojen mukaisiksi. Venttiilien säädöt aloitetaan säätämällä patteriventtiilien esisäätöarvot suunnitelmien mukaiseksi. Tämän jälkeen voidaan säätää linjasäätöventtiilien virtausaukkoa LVI-suunnittelijan määrittämiin alkuarvoihin. Linjasäätöventtiilien säädössä on tärkeää, että virtaamat vastaavat suunnittelijan määrittämiä virtaamia. Kun linjasäätöventtiileiden alkuarvot on asetettu, on venttiilien virtaamat mitattava. Mikäli virtaama ei kaikissa vastaa suunnitelmia, on virtausaukon kokoa säädettävä siten, että halutut virtaamat toteutuvat.

Kun suunnitellut virtaamat on saavutettu, voidaan patteriventtiilin termostaattiosat asettaa takaisin paikoilleen. Viimeiseksi säädetään verkoston säätökäyrä, jolla varmistetaan lämmitysverkoston vesi oikean lämpöiseksi. Kun oikea säätökäyrä on saavutettu, suoritetaan huoneistokohtaiset lämpötilamittaukset kuitenkin aikaisintaan kahden päivän kuluessa, jotta halutut muutokset lämpötilassa tapahtuvat. Mikäli rakennuksessa todetaan tasaiset huoneistojen väliset lämpöolot, on verkoston perussäätö onnistunut. [11]

4 Esimerkkikohde

4.1 Kohteen esittely

Esimerkkinä tässä työssä käytetään erästä 1970-luvun alussa valmistunutta kahden asuinkerrostalon taloyhtiötä. Rakennusten lämmitys järjestelmään on tehty useampi saneeraus, joissa mm. osa pattereista ja patteriventtiileistä on uusittu. Rakennuksista käytetään nimitystä rakennus 1 ja rakennus 2. Molemmissa rakennuksissa on neljä asuinkerrosta, sekä erillinen kerros ilmanvaihtokoneelle. Lämmönjakokeskus sijaitsee rakennus 1:n alimmassa kerroksessa. Lämmitykseen on käytetty yhtä lämmönsiirintä, jossa ilmanvaihtokoneiden lämmityspatterit on kytketty asuinhuoneistojen pattereiden kanssa samaan piiriin.

Verkoston veden meno- ja paluulämpötila mitoitusoloissa ovat 70/40 °C ja haluttu huonelämpötila on 21 °C. Lämmönsiirtimeen teho on 230 kW. Teho on jakautunut seuraavasti:

- Rakennus 1, asuntojen patterit: 67 kW

- Rakennus 1, IV-patteri: 88 kW
- Rakennus 2, asuntojen patterit: 41 kW
- Rakennus 2, IV-patteri: 34 kW

Kohteessa on havaittu lämmityskauden aikana asuinhuoneistojen välisiä epämiellyttäviä lämpötilaeroja. Näiden lämpötilaerojen on todettu johtuvan huonosti kiertävästä lämmityspatteriverkostosta. Koska vika on tullut ilmi lämmityskauden aikana, ratkaisumahdollisuudet tälle ovat rajatummat kuin lämmityskauden ulkopuolella. Lämmityskauden aikana ei huoneistojen lämmitystä voida kytkeä kokonaan pois. Tämä rajoittaa mahdollisuuksia, mikäli joudutaan turvautumaan saneeraukseen. Tämän takia väliaikainen ratkaisu pyrittiin löytämään verkoston asetusarvoja muuttamalla.

4.2 Työn toteutus

Työn toteutus aloitettiin lämmitysverkoston mallintamisella MagiCAD-tietokoneohjelmalla. Verkosto mallinnettiin tietokoneella vanhoja lämpöjohtosuunnitelmia apuna käyttäen nykyisen verkoston mukaiseksi. Mallinnettua verkostoa pystytään käyttämään LVI-suunnittelijan apuvälineenä ongelmatilannetta ja eri ratkaisuvaihtoehtoja tutkittaessa.

Mallinnetulle verkostolle simuloitiin verkoston tasapainotus. Mikäli verkosto on uudelleen tasapainotettavissa säätämällä verkosto, ohjelma pystyy laskemaan ja mitoittamaan simuloimalla uudet säätöarvot linjansäätö- ja patteriventtiileille. Tässä kohteessa verkostoa ei pystytty laskennallisesti tasapainottamaan, joten voitiin päätellä vian olevan muussa kuin venttiilien asetusarvoissa.

Tasapainotuksen epäonnistuttua alettiin pohtia mahdollisia syitä huonosti kiertävälle verkostolle. Verkoston tasapainottamiseksi kokeiltiin erilaisia muutoksia, joilla verkosto saataisiin toimimaan ja näitä simuloitiin tietokonemalliin, jotta nähdään, miten muutokset vaikuttaisivat virtaukseen.

4.2.1 Lämpöhäviöiden laskenta

Tässä kohteessa lämpöhäviötehojen laskenta oli tärkeä suorittaa, koska rakennuksessa on tehty useita tilamuutoksia. Tiloja on mm. suurennettu ja alimmissa kerroksissa yleisiä tiloja on muutettu asuinhuoneistoiksi.

Lämpöhäviöiden laskentaa varten valittiin molemmista rakennuksista useita asuntoja eri kerroksista. Laskettuja lämpöhäviöitä verrattaessa vanhoissa suunnitelmissa esiintyviin patterien lämmitystehoihin voitiin todeta, etteivät tehon tarpeet ole muuttuneet.

4.2.2 Virtaaman lisääminen

Tässä kohteessa tutkittiin, kuinka verkoston menoveden ja paluueden lämpötilan erotuksen pienentäminen kasvattaa verkoston virtaamia. Kaukolämpöveden lämpötilan alentaminen kasvattaa tilausvesivirtaa. Väliaikaiseen vesivirran kasvattamiseen saatiin lupa energialaitokselta.

Virtaaman kasvu vaikuttaa patteriventtiilien säätöön seuraavan esimerkin mukaisesti. Patteri, jonka teho on 280 W, on kytketty verkostoon, jonka lämpötila on 70/40 °C. Patterista otetaan täysi teho, jolloin meno- ja paluueden lämpötilana voidaan käyttää verkoston lämpötilaa. Patterikohtainen vesivirta voidaan laskea kaavasta luvussa 2.3 esitetyn kaavan 4 avulla.

Alkutilanne ($\Delta t=70/40$ °C, $\phi=280$ W):

$$\frac{280}{1000 * 4,2 * (70 - 40)} = 0,0022 \frac{l}{s} = 7,92 \frac{l}{h}$$

Lasketaan pattereiden logaritminen yllilämpötila huoneilmaan nähden luvussa 2.3 esitetyn kaavan 2 avulla.

$$\theta_{ln} = \frac{70 - 40}{\ln \frac{70-21}{40-21}} = 31,67 \text{ °C}$$

Oletetaan menoveden lämpötilaa pudotettavaksi 60 °C:seen ja lasketaan tarvittava paluueden lämpötila siten, että logaritminen yllilämpötila pysyy samana. Näin patterin teho pysyy samana. Kokeilemalla saadaan paluulämpötilaksi 46,3 °C. Nyt voidaan laskea vesivirta

Verkoston lämpötilaa muutettu ($\Delta t=60/46,3$ °C, $\phi=280$ W):

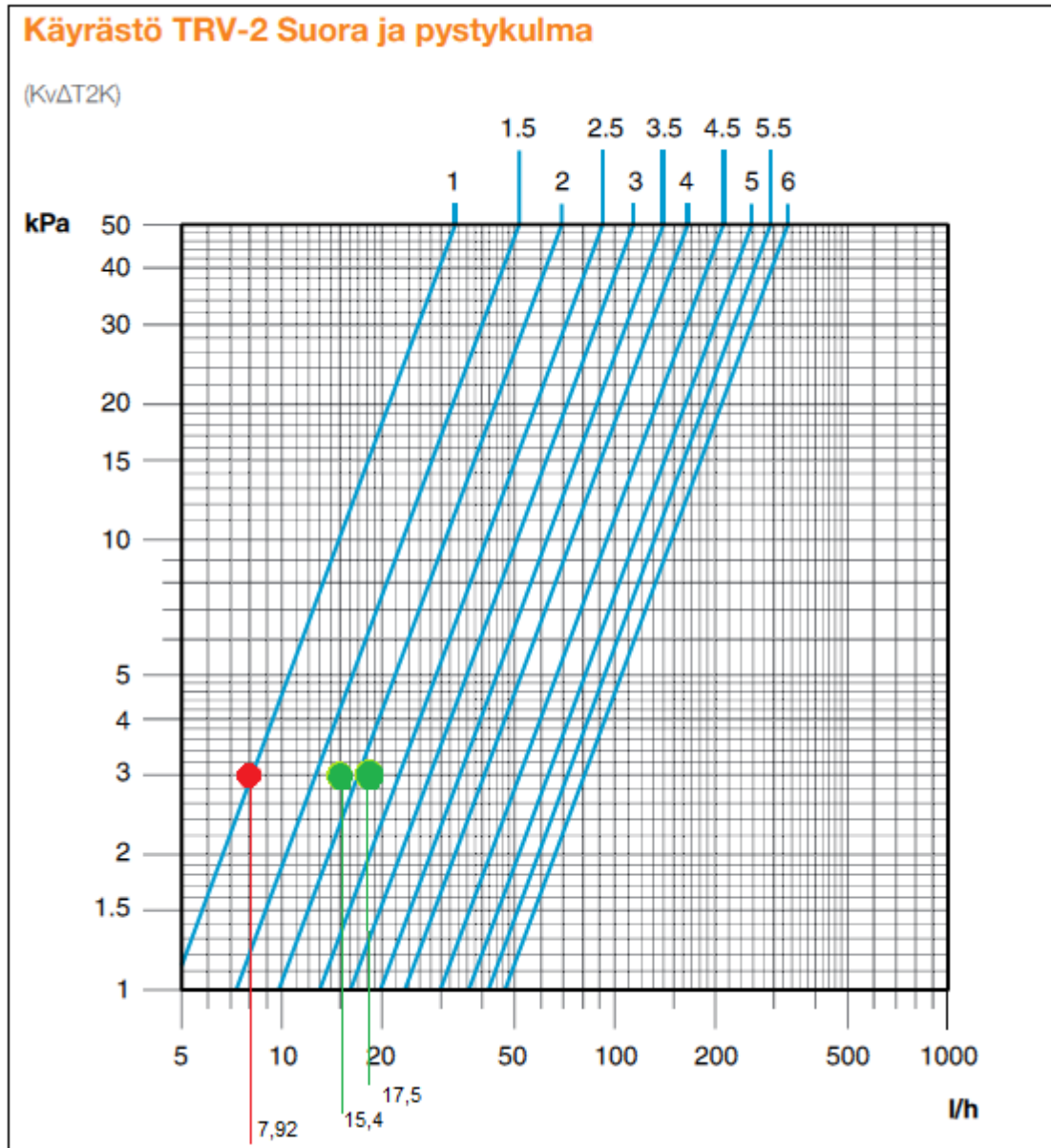
$$\frac{280}{1000 * 4,2 * (60 - 46,3)} = 0,00487 \frac{l}{s} = 17,54 \frac{l}{h}$$

Jos patterin tehoa lasketaan 10 W ja menoveden lämpötilaa 10 °C, olisi paluueden lämpötila luvussa 2.3 esitettyjen kaavojen 2 ja 3 mukaan 45 °C. Tällöin virtaamaan saadaan muutos oheisen laskelman mukaisesti. Tämä tilanne esitetään vain havainnollistavana esimerkkinä.

Verkoston lämpötilaa ja patterin tehoa muutettu ($\Delta t=60/45$ °C, $\phi=270$ W):

$$\frac{270}{1000 * 4,2 * (60 - 45)} = 0,0043 \frac{l}{s} = 15,44 \frac{l}{h}$$

Kaavioon 3 on sijoitettu lasketut virtaamat, kun venttiin suurimmaksi halutuksi painehäviöksi on valittu 3 kPa. Venttiiliksi on valittu kohteessa käytetty TRV-2-patteriventtiili. Kaaviosta huomataan, kuinka virtaaman lisääminen parantaa patteriventtiin säädettävyyttä.



Kaavio 3. TRV-2 säätökäyrästä [16]

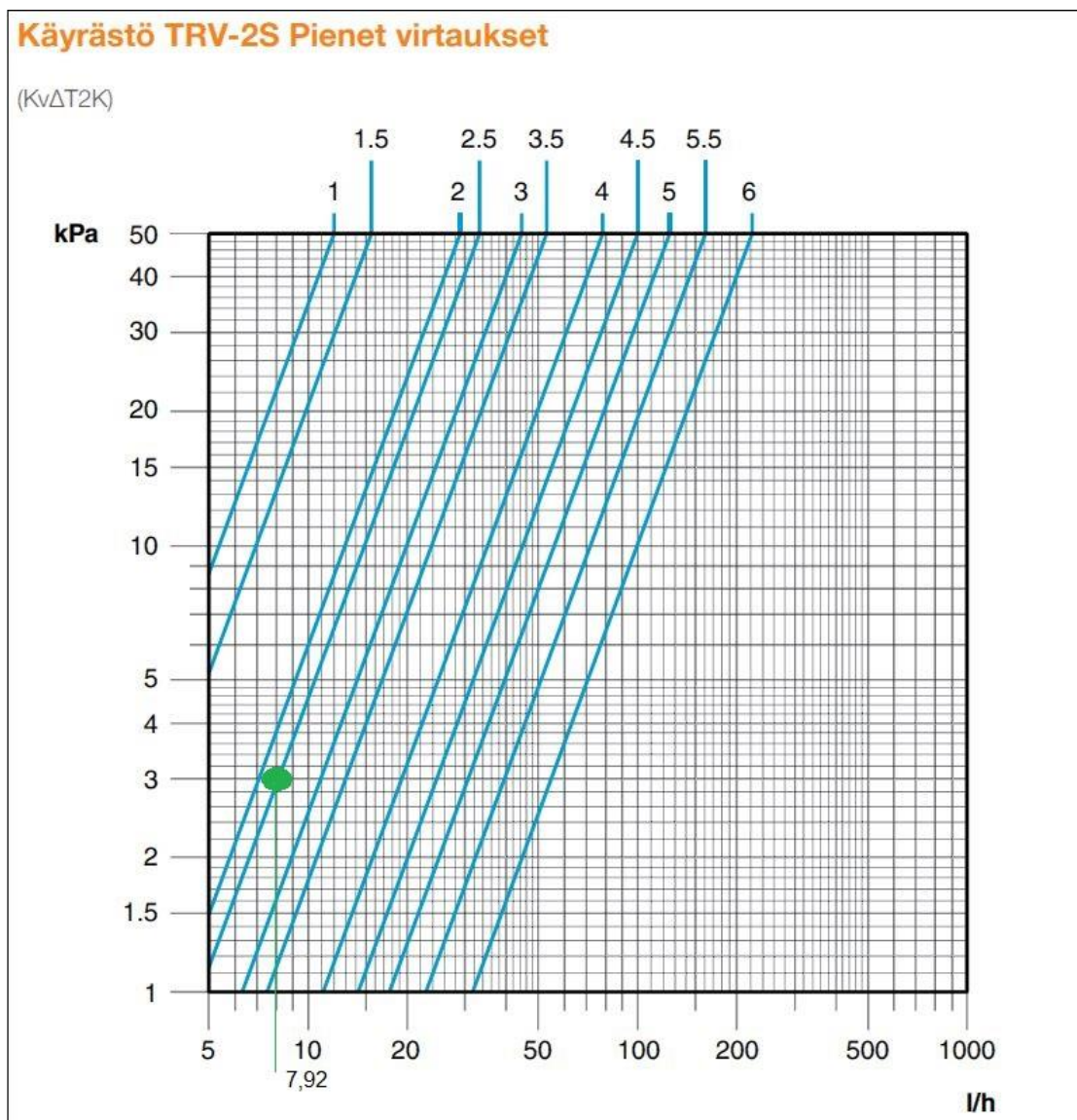
4.2.3 Patteriventtiilien vaikutus

Vanhoja suunnitelmia tutkittaessa huomattiin, että kohde oli alun perin suunniteltu Orasin Stabila-mallisilla venttiileillä. Kohteeseen on kuitenkin asennettu IMI-Hydronicin valmistamat TRV-2-malliset patteriventtiilit. Venttiilien muutos toisen valmistajan venttiiliksi onnistuu venttiilin muuntotaulukon avulla. TRV-2 on esisäädettävä termostaattinen patteriventtiili, joka on tarkoitettu käytettäväksi melko suurille virtaamille. Venttiilistä on käytettävissä myös pienille virtaamille tarkoitettu malli TRV-2S.

Patteriventtiileitä tutkittaessa huomattiin, että noin puolet pattereista on virtaamaltaan niin pieniä, ettei niiden virtaamaa ole mahdollista saavuttaa TRV-2-venttiiliä käyttäen.

Venttiilien vaihdon vaikutusta pystyttiin tutkimaan tietokonemallin avulla. Malliin pystyttiin simuloimaan tilanne, jossa virtauksiltaan pienten pattereiden venttiilit vaihdettiin TRV-2S-mallisiksi. Tällä saatiin laskettua sopivat esisäätöarvot uusille patteriventtiileille.

Kaaviosta 4 huomataan, kuinka luvussa 4.2.2 laskettu virtaama 7,92 l/h 280 W:n patterille osuu pienemmän TRV-2S-patteriventtiin säätökäyrään. Tätä voidaan verrata taulukkoon 3. Venttiilin vaihto TRV-2S:ään antaa esisäätöarvoksi 2,5, kun puolestaan vanhalle venttiilille TRV-2 ei pystytä määrittämään esisäätöarvoa.



Kaavio 4. TRV-2S säätökäyrästä [16]

4.3 Korjaustoimenpiteet

4.3.1 Patteriventtiilit

Tärkeimmäksi korjaustoimenpiteeksi todettiin patteriventtiilien vaihto. Tässä toimenpiteessä noin puolet patteriventtiileistä tulisi vaihtaa virtausaukoltaan pienemmiksi TRV-2S-venttiileiksi. Vaihto tulee kuitenkin suorittaa lämmityskauden ulkopuolella, koska lämmitystä ei voida kokonaan poistaa.

4.3.2 Verkosto

Nykyään lämmitysverkosto on hyvä suunnitella siten, että ilmanvaihdon lämmityspattereille suunnitellaan oma suljettu piirinsä ja asuntojen lämmityspattereille oma suljettu piiri. Näin ilmanvaihdon ja patteriverkoston lämmityksiä voi säätää erikseen, eivätkä säätötyöt vaikuta toisiinsa. Tämä helpottaa huomattavasti verkoston tasapainotusta.

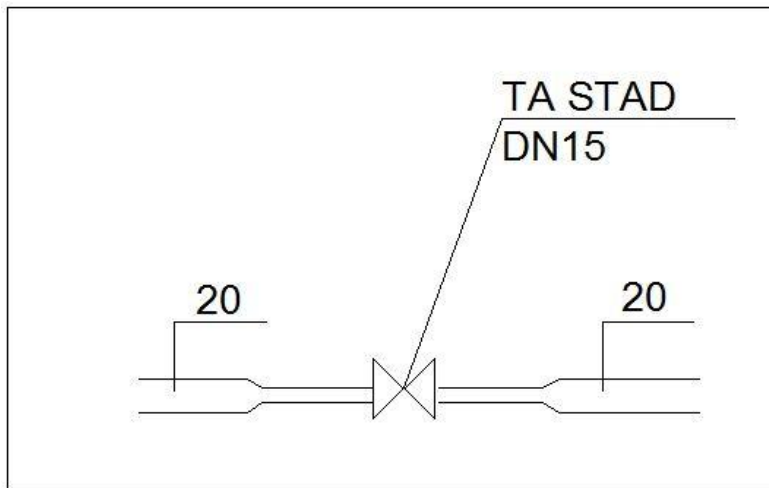
Koska kohteen patteriverkosto ja ilmanvaihdon lämmitysverkosto on toteutettu yhtenä piirinä, on väliaikaiseksi ratkaisuksi tutkittu verkoston lämpötilan muuttaminen ja sitä kautta virtaaman lisääminen poissuljettu. Menoveden lämpötilan pienentäminen pienentäisi liikaa ilmanvaihdon lämmityspatterin tehoa.

Lämmitysjärjestelmän muuttaminen kahden lämmönsiirtimen järjestelmäksi ja IV- ja patteriverkostojen erottaminen toisistaan on korjaustoimenpide, joka myöhemmin helpottaa verkoston tasapainottamista.

4.3.3 Linjasätöventtiilin virtausaukko liian suuri

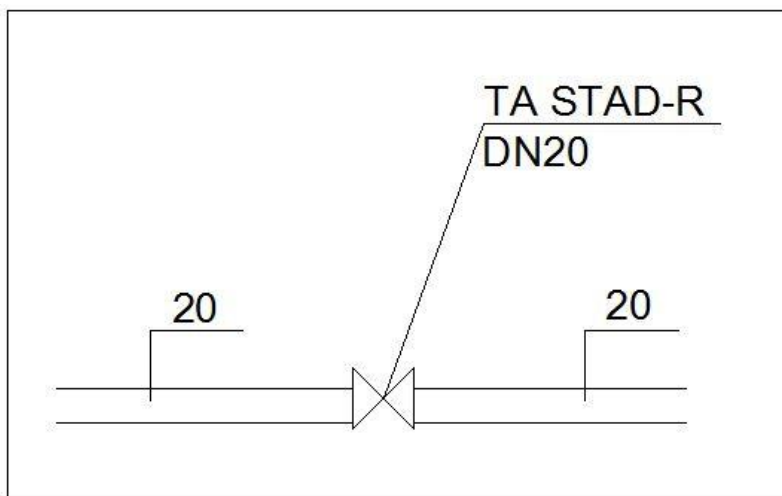
Lämmitys suunnitelmia vertaamalla todelliseen tilanteeseen huomattiin, että saneerausvaiheessa tehdyt muutokset linjasätöventtiilien koossa eivät ole toteutuneet. Osa kellarin venttiilien virtausaukoista on suunniteltu pienennettäväksi riittävän kuristuksen ja säätötarkkuuden takia. Venttiilille on varattava n. 3–4 kPa:n painehäviö, joka ei liian isolla venttiilillä toteudu.

Venttiilin virtausaukon pienennys voidaan toteuttaa kuvan 13 mukaan putkeen tehtävällä supistuksella, jolloin vanha venttiili voidaan vaihtaa pienempään.



Kuva 13. Venttiilin pienentäminen supistusosalla

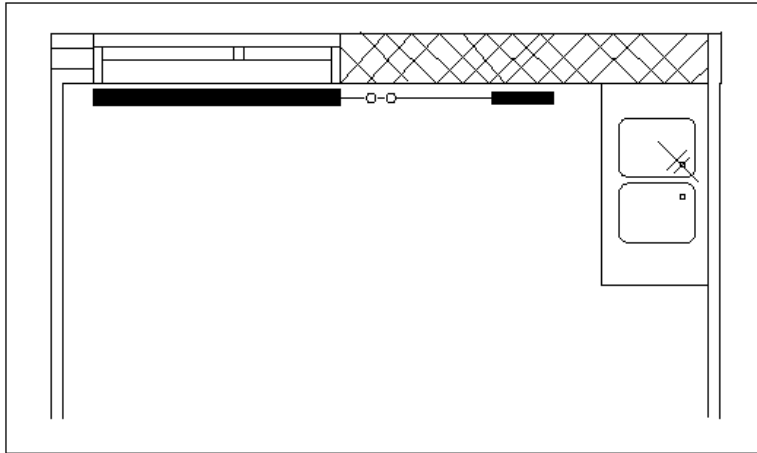
Tämän lisäksi kohteen venttiilien valmistajalta IMI-Hydronicilla on tavallisen linjasäätöventtiilimallin STAD lisäksi malli STAD-R, joka vastaa liitântäkooltaan saman kokoista STAD-venttiiliä, mutta virtauskooltaan yhtä kokoa pienempää venttiiliä. Supistus osan lisäksi venttiilien vaihto voidaan toteuttaa kuvan 14 mukaisesti.



Kuva 14. STAD-R-venttiilillä tehty supistus virtausaukkoon

4.3.4 Pienten patterien virtaamat

Oheisessa kuvassa 15 on tyypillinen tilanne, joka toistuu useassa asunnossa eri kerroksissa. Tässä kahden patterin välistä on aikanaan poistettu väliseinä. Patterit ovat tehoiltaan 450 W ja 80 W.



Kuva 15. Esimerkkihuone

Tässä oikeanpuoleisen patteriventtiin virtaama on niin pieni, että esisäätöarvo on lähes kiinni, eikä patterissa kierrä juurikaan vettä. Koska iso patteri on riittävästi ylimitoitettu, voidaan pieni patteri poistaa ja sille tarkoitettu virtaama ohjata isoon patteriin. Toisena vaihtoehtona voidaan osa ison patterin tehosta siirtää pieneen patteriin ja näin kasvattaa pienen patterin virtaamaa.

5 Yleisiä patteriverkoston ongelmia

5.1 Ilma verkostossa

Ilman pääsy patteriverkoston aiheuttaa verkostossa ääntä, kierto-ongelmia sekä korroosiota. Ilmaa pääsee yleensä patteriverkoston lisättävään veteen liuenneena täytön ja huoltotöiden yhteydessä. Tämän lisäksi ilmaa pääsee verkostoon liitosten, pumpun ja tiivisteiden kautta sekä diffusoitumalla muovisten putkiosien läpi. [17]

Paineen laskiessa liian alhaiseksi, muodostuu verkostoon ilmaa [25]. Ilma erottuu vedestä yleensä ylimpien kerroksien pattereissa, joissa paine on alhaisin [23]. Ilmaa kertyy verkoston ylimpiin kohtiin ja lämmityspattereihin.

Pattereihin kertynyt ilma voidaan poistaa patterin päädyssä olevasta ilmausruuvista. Ilmausruuvia käytettäessä on varmistettava, että verkostossa on riittävästi painetta. Veden matala lämpötila aiheuttaa alipainetta verkostoon, minkä takia verkoston lämpötilaa

tulisi nostaa ilmauksen ajaksi [4, s. 33]. Mikäli verkosto on alipaineinen, ilmausruuvin avaaminen lisää ilmaa patteriin [25].

Koska ilma pyrkii kertymään verkoston korkeimpiin kohtiin, voidaan niihin asentaa automaattiset ilmanpoistimet, jotka keräävät ilman itseensä ja poistavat sen. Tämän lisäksi verkostoon voidaan asentaa alipaineilmanpoistin. Alipaineilmanpoistin asennetaan menopuolen johtoon lähelle lämmönsiirintä. Tämä muuttaa alipaineen avulla veteen liuenneen ilman ilmakupliksi, jotka se lopulta poistaa järjestelmästä.

Jos lämmönlähteen lämpöä siirtävien pintojen lämpötila on riittävän korkea, alkaa kaasuja erottua vedestä jo lämmönlähteessä ja verkostoon muodostuu ns. mikrokuplia. Kuplat voidaan poistaa verkostosta lämmönlähteen jälkeen asennettavalla mikrokuplan erottimen avulla. Tätä tekniikkaa hyväksikäyttäen jopa ylimpien kerrosten pattereiden kaasut voidaan poistaa verkostosta. Kaukolämpöä käytettäessä lämmönlähteessä ei kuitenkaan yleensä päästä riittävän korkeaan lämmönsiirtimen pintalämpötilaan. [23]

Paras tapa ennaltaehkäistä ilman pääsy verkostoon on hapeton täyttö. Vedestä on mahdollista poistaa jopa 99 % siihen liuenneista happi- ja typpikaasusta. Edellytyksenä hapestomalle täytölle on riittävän tiivis verkosto, joka voidaan todeta koeponnistuksella paineilman avulla venttiilien asennuksen jälkeen. [22]

Muoviputkien läpi diffusoituvan hapen pääsy putkistoon voidaan estää käyttämällä happidiffuusiosuojattua putkea. Tällöin putkessa on kerros, joka estää hapen pääsyn muoviputken läpi verkoston vedenkiertoon.

5.2 Verkoston epäpuhtaudet

Verkostoon ajan myötä kertyvät epäpuhtaudet aiheuttavat lämmitysongelmia. Epäpuhtaudet aiheuttavat pattereiden epätasaista lämpenemistä, vedenkierron heikkenemistä, venttiilien ja pattereiden tukkeutumista, vuotovaurioita ja energiakustannusten nousua. Epäpuhtauksia verkostoon aiheuttavat asennus ja korjaustöiden yhteydessä aiheutuvat hitsausjätteet sekä eniten korroosio. [17]

Korroosiota aiheuttaa virtaava vesi sekä ilman mukana kulkeutunut happi, joka syövyttää putken pintaa. Ilman lisäksi muoviputken läpi aiheutuva happidiffuusio hapettaa putkistoja. Syöpyneet pinta irtaantuu putkesta rautasakkana. Rautasakka kiertää verkostossa vesivirran mukana aiheuttaen tukkeumia ja kuvan 16 mukaista kerrostumaa. Likaa kertyy mm. lämmönsiirtimeen, pumpun roottoriin, patteriventtiileiden ahtaisiin virtausaukkoihin, pattereiden alaosiin ja paikkoihin, joissa virtaus on hidasta. Patteriventtiilin virtausaukko on kooltaan 0,1–5 mm², minkä takia pienikin roska voi aiheuttaa venttiilin tukkeutumisen. Tukkeutunut virtausaukko aiheuttaa lämmitysongelmia sekä verkoston epätasapainoa. Putkien pintaan syntyvä kerrostuma pienentää putken virtausaukkoa ja kasvattaa huomattavasti painehäviötä. [17]

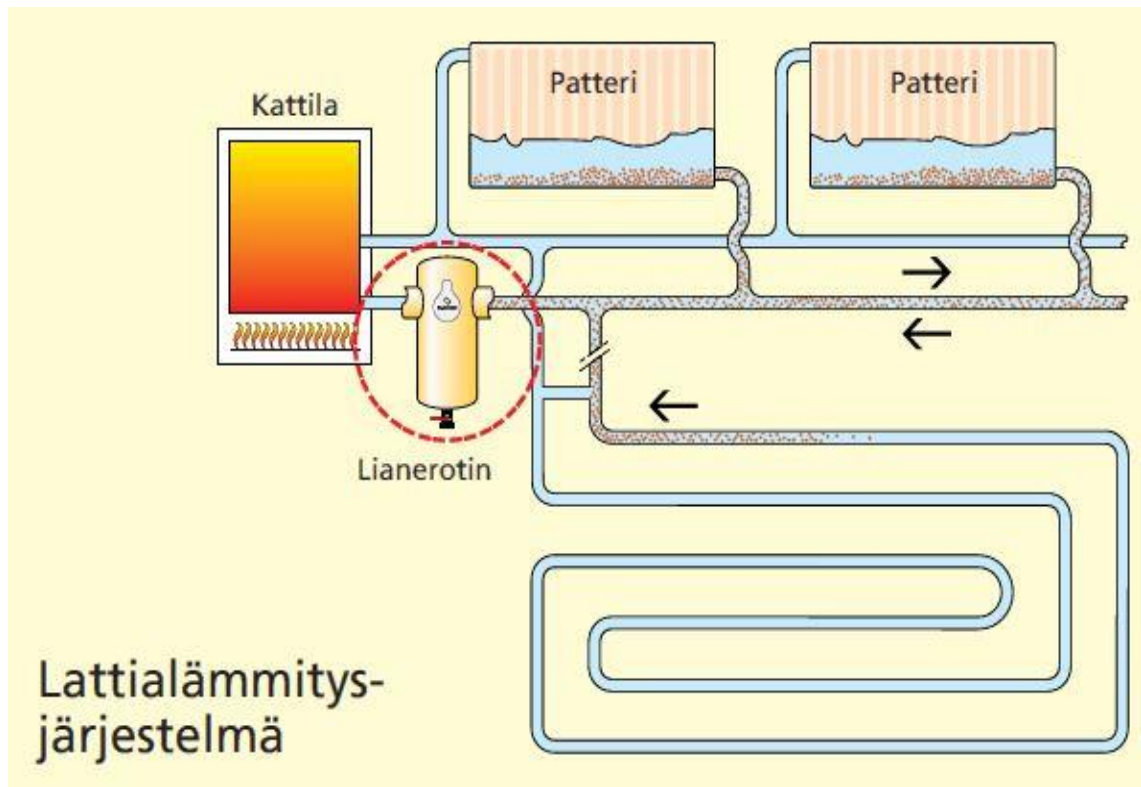


Kuva 16. Rautasakkakerrostuma [17]

Tukkeutumien aiheuttamia lämmitysongelmia voidaan ennaltaehkäistä luvun 5.1 mukaisesti ilmauksella. Tämän lisäksi asennustoimilla ja materiaalivalinnoilla voidaan ennaltaehkäistä tukkeutumia. Nykyään lämmitysverkostoon happidiffuusiosuojatut muoviputket estävät osaltaan veden hapettumisen.

Mikäli korroosio on jo päässyt aiheuttamaan tukkeumia verkostoon, on verkosto puhdistettava. Puhdistus tulee tehdä ennen mahdollisia säätötöitä, jotta saadaan selville onko säätöä tarpeen toteuttaa. Usein saatetaan vaihtaa täysin toimivia venttiileitä vain, koska niihin on päässyt kertymään likaa. Verkoston puhdistus voidaan toteuttaa joko verkostoon asennettavalla automaattisella lianerottimella tai huuhtelemalla verkosto. Kuva 17

esittää automaattisen lianerottimen sijainnin patteriverkostossa, paluupuolella ennen lämmönvaihdinta. Erotin kerää talteen virtaavan veden mukana kulkeutuvan lian ja se voidaan tyhjentää tarvittaessa.



Kuva 17. Lianerotin lämmitysverkostossa [19]

Huuhtelu voidaan puolestaan toteuttaa lämmönjakuhuoneesta käsin kytkemällä puhdistuslaitte väliaikaisesti esimerkiksi pumpun tilalle. Huuhtelussa hyödynnetään ns. kavitaatiota ja veden korkeaa virtausnopeutta ilman, että aiheutuu ylipainetta. Kavitaatiolla tarkoitetaan veden kiehumista alipaineen johdosta. Kavittation aiheuttamat kuplat irrottavat kerrostumat putkista ja vesivirta huuhtoo irronneen lian verkostosta puhdistusveden mukana pois. [21]

5.3 Ääniongelmat

Patteriverkostossa syntyvät äänet ovat yleinen ongelma varsinkin asuinrakennuksissa. Ääntä aiheuttaa yleensä liian suuri virtausnopeus, verkostoon päässyt ilma ja kasvava paine-ero. Verkostossa kiertopiirin hydraulinen vastus aiheuttaa painehäviötä. Tällöin osa energiasta häviää meluna. Paine-eron lisääntyessä kasvaa myös meluriski. [4, s. 32.] Melu havaitaan yleensä pattereista ja niiden termostaattiventtiileistä. Ääni voi siirtyä huoneistosta toiseen joidenkin levyttereiden ja pintaan asennettujen putkien välityksellä. Lämmityslaitteet tulisi suunnitella ja asentaa siten, ettei häiritsevää ääntä pääse verkostossa syntymään ja asumisen aiheuttavia ääniä siirtymään tilojen välillä. [9, s. 115.]

Ääniongelmia aiheutuu usein säätämättömissä verkostoissa. Säätämättömänä virtausnopeudet verkostossa voivat kasvaa liian suuriksi, mikä aiheuttaa mm. ääntä patterissa. Myös lämmitysjärjestelmään nähden ylisuuri pumppu voi aiheuttaa suuria virtaamia. [18] Teräsputkessa virtausnopeus tulisi olla alle 1,5 m/s, jottei ääntä pääsisi muodostumaan [3, s. 147].

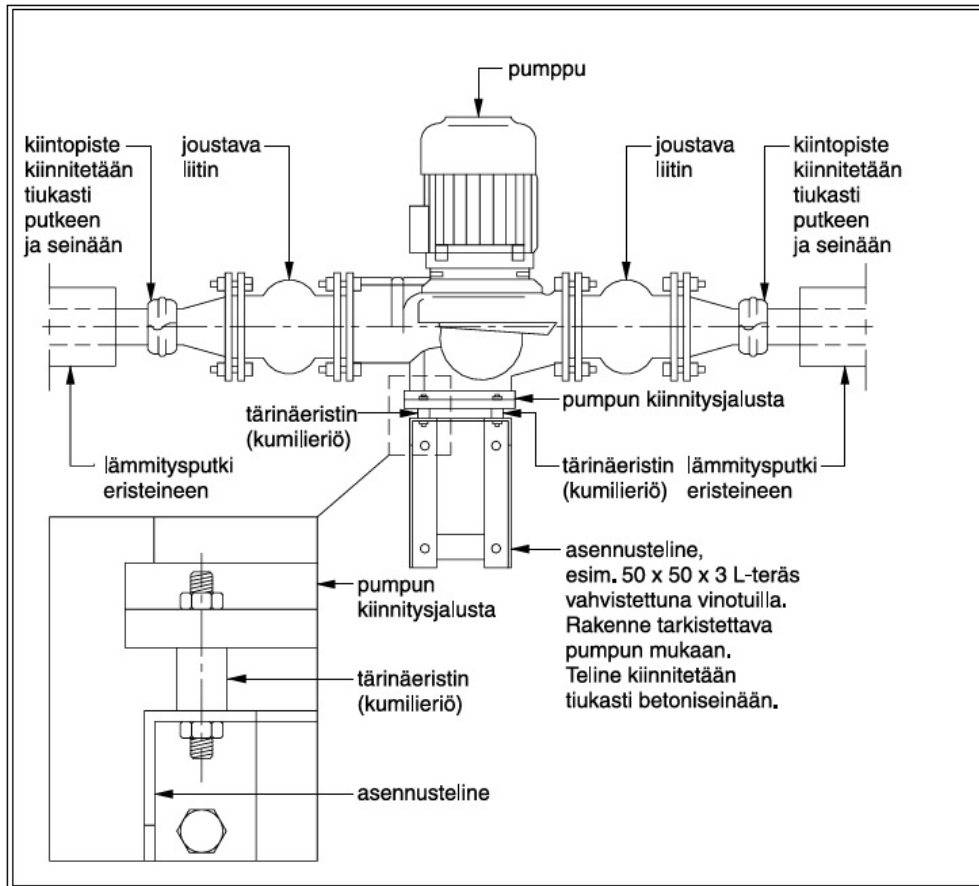
Kun termostaatti kompensoi sisäisiä lämmönlähteitä, termostaattiosa sulkee venttiilin istukan osittain. Termostaattiosan sulkeutuessa putkien ja kuristusosien painehäviö pienenee. Virtaama venttiilin yli pienenee ja paine-ero kasvaa. Meluriski kasvaa, kun paine-ero venttiilin yli kasvaa ja on suurimmillaan, kun venttiilin istukka on lähes kiinni. [4, s. 33.]

Äänen syntymistä voidaan ehkäistä suunnitteluvaiheessa mm. laitevalinnoilla. Laitteita valittaessa pyritään mahdollisimman alhaiseen äänentason. [9, s. 116] Termostaattien sulkeutumisesta aiheutuva ääni voidaan ehkäistä taajuusmuuttajaohjatulla pumpulla. Jos verkostoon on asennettu pumppu ilman taajuusmuunto-ohjausta, antaa pumppu aina saman vesivirran riippumatta termostaattien asennosta.

Pumpusta aiheutuva ääni voi kantautua verkoston teräsputkia pitkin pitkiä matkoja huoneistoihin. Huoneistossa patterit voivat vahvistaa pumpun synnyttämää melua. [4, s. 33.]

Asuinhuoneissa, kuten makuuhuoneissa äänitaso ei saa ylittää 28 dB:n rajaa [26, s. 2]. Patteriverkoston perussäädöllä voidaan poistaa virtauksen aiheuttamat ääniongelmat. Pattereissa syntyvästä äänestä päästään yleensä eroon ilmaamalla patterit. Pumpusta

aiheutuva ääni tulisi pyrkiä vaimentamaan jo lämmönjakokeskuksella esimerkiksi kuvan 18 mukaisesti, jossa kytkennät on tehty ääntä vaimentaviksi.



Kuva 18. Pumpun asennusesimerkki betoniseinään kiinnitettyyn telineeseen tärinäeristimen avulla [26, s. 2]

5.4 Paisunta-astia

Paisunta-astiasta johtuvat lämmitysverkoston ongelmat ovat yleisiä. Toimiva lämmitysjärjestelmä edellyttää toimivan ja oikein mitoitettua paisunta-astian. Paisunta-astian toimintaperiaate on esitetty luvussa 2.1.5. Lian pieneksi mitoitettu paisunta-astia aiheuttaa liian suuren paineen verkostoon. Tällöin luvussa 2.1.6 esitetty varoventtiili avautuu ja laskee järjestelmästä liiallisen nesteen pois, kunnes paine on riittävän alhainen. Kun veden lämpötila ja paine laskee, ei verkostossa enää virtaa riittävää määrää vettä rakennuksen lämmityspattereille.

Kun varoventtiili on avautunut, joudutaan tyhjentyneeseen verkostoon lisäämään vettä. Tällöin saatetaan lisätä ilmaa verkostoon, ja aiheutuu luvuissa 5.1 ja 5.2 esitettyjä ilmasta ja korroosiosta aiheutuvia ongelmia.

5.5 Venttiilin koko

Luvussa 4 esitellyistä erimerkkikohteen ongelmista hyvin tyypillisiä ovat väärät venttiilikoot, jotka aiheuttavat suuria ongelmia tasapainotuksessa. Väärät venttiilikoot johtuvat usein saneerauksen yhteydessä tapahtuneesta venttiilien vaihdosta, jolloin vaihdettavat venttiilit eivät vastaa teknisiltä arvoiltaan suunniteltua esimerkiksi venttiilien muuntotaulukon väärintulkinnan johdosta. Yleensä tällöin venttiilit joudutaan vaihtamaan, jotta verkosto saadaan toimimaan halutulla tavalla.

5.6 Säätyössä tehdyt virheet

Säätyössä tehdyt virheet ovat myös tyypillisiä. Varsinkin linjasäätöventtiilien säädössä on ensisijaisen tärkeää suorittaa mittaukset venttiilin virtaamalle. Suunnittelija merkitsee yleensä suunnitelmiinsa linjasäätöventtiilin asetusarvon säätyön helpottamiseksi. Venttiili tulee kuitenkin säätää virtaaman perusteella, jotta linjaan saadaan suunnitelmien mukainen riittävä virtaama.

Tämän lisäksi on erityisen tärkeää suorittaa toisen vaiheen lämpötilamittaukset. Mittauksilla varmistetaan verkoston toiminta sekä haluttujen huonelämpötilojen toteutuminen.

6 Yhteenveto

Insinöörityön tarkoituksena oli syventyä tarkemmin vesikiertoisien patteriverkoston perussäätöön ja tutkia säädön ja tasapainotuksen yhteydessä esiintyviä yleisiä ongelmatilanteita ja niiden ratkaisukeinoja. Näitä ratkaisukeinoja pystytään soveltamaan tulevaisuudessa vastaavan tyyppisissä ongelmakohteissa.

Aiheeseen tutustuttiin eri kirjallisuuslähteitä hyväksikäyttäen. Tämän lisäksi esimerkkikohteen avulla tutkittiin mahdollisia ratkaisukeinoja, joilla epätasaisesti lämmittävä patteriverkosto saadaan toimimaan halutulla tavalla.

Esimerkkikohdetta lähdettiin tutkimaan mallintamalla verkosto. Mallinnettuun verkostoon simuloitiin erilaisia tilanteita kuten patteriventtiilien vaihto, verkoston lämpötilan vaihto ja virtaamien lisääminen. Näin pystyttiin havainnollistamaan kunkin muutoksen aiheuttamat vaikutukset. Lopulta päästiin tulokseen, jossa patteriventtiilien vaihto parantaa huomattavasti verkoston toimintaa. Tämä päästään todentamaan lähitulevaisuudessa, jos kyseisessä kohteessa päätetään aloittaa saneeraustyöt.

Lopulta on saatu aikaan melko kattava raportti patteriverkoston toiminnasta sekä siihen liittyvistä yleisistä ongelmatilanteista. Ensisijainen ja suurin hyöty työstä on tekijälle itselle. Patteriverkoston säätö ja tasapainotus on yleensä ensimmäisiä projekteja, jonka nuori suunnittelija kohtaa, joten raporttia pystytään myös hyödyntämään, kun aiheeseen tutustutaan ensimmäistä kertaa.

Lähteet

- 1 Lämmityksen säätökäyrä ja lämpimän käyttöveden oikea lämpötila. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammityksen_saotokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila>. Päivitetty 27.11.2015. Luettu 3.3.2016.
- 2 Patteriverkoston osat. Verkkodokumentti. 2015. Motiva Oy <http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato/patteriverkoston_osat>. Päivitetty 9.11.2015. Luettu 3.3.2016.
- 3 Seppänen, Olli. 2001. Helsinki: Rakennusten lämmitys.
- 4 VantaLVI. 2011. TA käsikirja: Patteriverkoston säätäminen.
- 5 Suomen ympäristöosaava. 2016. Verkkodokumentti. <<http://www.ymparistosaava.fi/kiinteistonhoitoala/index.php?k=22462>>. Luettu 10.3.2016.
- 6 Lämmitysverkoston perussäätö. 2002. Verkkodokumentti. Motiva Oy <http://www.motiva.fi/files/7976/Lammitysverkoston_perussaato.pdf>. Luettu 3.3.2016.
- 7 Patteriverkoston perussäädöllä lämmitys tasapainoon. 2015. Verkkodokumentti. Talotekniikka-lehti. <<http://talotekniikka-lehti.fi/2015/10/07/patteriverkoston-perussaadolla-lammitys-tasapainoon/>>. Päivitetty 7.10.2015. Luettu 4.3.2016.
- 8 Oras Stabila patteriventtiili. 2008. Verkkodokumentti. Oras Oy <http://www.oras.com/fi/professional/products/productgroups/Documents/Stabila_esite.pdf>. Luettu 20.3.2016.
- 9 Harju, Pentti. 2010. Lämmitystekniikan oppikirja. 4. Painos Kouvola. Penan tieto-opas.
- 10 Tehonlaskenta. 2016. Verkkodokumentti. Purmo. <<http://www.purmo.com/fi/tuotteet/vesikiertoisetradiaattorit/paneeliradiaattorit/purmo-compact.htm#tab-tekniset-tiedot>> Luettu 29.3.2016.
- 11 Perussäädön toteutus. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato/perussaadon_toteutus> Luettu 24.3.2016.

- 12 Taloyhtiön lähtötilanteeseen tutustuminen. 2013. Verkkodokumentti. Motiva Oy. http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaekspertti-toiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammontuotto_kaukolampo. Luettu 13.3.2016.
- 13 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta. 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D5. Ympäristöministeriö.
- 14 STAD linjasäätöventtiili. 2015. Verkkodokumentti. Imi-Hydronic. <http://www.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/linjasaatoventtiilit/linjasaatoventtiilit/> Luettu 15.3.2016.
- 15 Kertavastusten arvot. 2015 Verkkodokumentti. Cupori. http://www.cupori.com/files/cupori/asennusohje/Kertavastusten_arvot.jpg Luettu 1.4.2016.
- 16 Termostaattiset patteriventtiilit. 2014. Verkkodokumentti. IMI-Hydronic. http://www.imihydronic.com/Handlers/FileDownloaderHandler.ashx?path=%2FProductFiles%2FProducts%2Fdocuments%2FCatalogues%2FFinland%2FPDF_low%2FTRV-2_TRV-2S_FI_MAIN.pdf. Luettu 15.3.2016.
- 17 Korroosio lämmitysverkostossa. 2015. Verkkodokumentti. Lämmönhuolto. <http://www.lammonhuolto.fi/korroosio.html> Luettu 2.4.2016.
- 18 Patteriverkoston toiminta. 2015. Verkkodokumentti. Motiva Oy. http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato/patteriverkoston_toiminta Luettu 28.3.2016.
- 19 Spirovent'dirt lianerottimet. 2014. Verkkodokumentti. Kolmeks Ab. [www.kolmeks.fi/Download/21812/dirt_kolmeks_suomi.pdf.](http://www.kolmeks.fi/Download/21812/dirt_kolmeks_suomi.pdf) Luettu 2.4.2016.
- 20 Patteriverkoston perussäätö. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. <http://www.motiva.fi/perussaato>. Luettu 25.3.2016.
- 21 Lämmitysverkoston puhdistus ja huolto. 2014. Verkkodokumentti. Lämmönhuolto. <http://www.lammönhuolto.fi/toimenpide.html>. Luettu 28.3.2016.
- 22 Hapeton vesi – Airsepex-täyttö- ja vedenkäsittelytekniikka. 2015. Verkkodokumentti. Termotohtori. <http://www.termotohtori.fi/hapeton-taytto>. Luettu 1.3.2016.

- 23 Mikrokuplan erotin. Verkkodokumentti. Termotohtori. 2015. <<http://www.termotohtori.fi/hapeton-taytto/muut-ilmanpoistolaitteet>>. Luettu 1.3.2016.
- 24 Patteriverkoston paine ja sen vaikutus. 2014. Verkkodokumentti. LSV Tekniikka Oy. <https://www.lsvtekniikka.fi/LSV_tekniikka_2016/LVI_info_files/Paine_ja_paisunta.pdf>. Luettu 2.4.2014.
- 25 Patterin ilmaus. 2013. Verkkodokumentti. Huoltosivut. <<http://huoltosivut.fi/patterin-ilmaus/>>. Luettu 3.4.2016.
- 26 Vesikeskuslämmityksen äänitekkinen suunnittelu ja äänenvaimennus. 2001. LVI-ohjekortti, LVI 12-10327. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 27 Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. 2011. LVI-ohjekortti, LVI 11-10472. Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto.
- 28 Lämmitysverkoston tasapainotus optimoi energian käytön. 2013. Verkkodokumentti. Valtion ympäristöhallinto. <<http://www.korjaustieto.fi/taloyhtiot/korjaushankkeet/lvi-korjaukset/lammitysverkoston-tasapainotus.html>>. Luettu 2.4.2016
- 29 Innanen, Seppo. 2013. Lehtori, Metropolia ammattikorkeakoulu, Espoo. Kalvopaisunta-astian mitoitus. Luento. 11.10.2014
- 30 Kolmeks pumput. 2014. Verkkodokumentti. <<http://www.kolmeks.fi/tuotteet/pumput-ja-paineenkorotusasemat/lammitys-jaahdytys-ja-ilmanvaihtojarjestelmat>>. Luettu 18.4.2016

