

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Talotekniikan koulutusohjelma

Tomi Berg  
Samuli Seppänen

VESIKIERTOISEN PATTERILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN  
DEMONSTRAATIOLAITTEISTO

Opinnäytetyö  
Joulukuu 2019



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Joulukuu 2019**  
**Talotekniikka**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
+358 13 260 600

**Tekijä(t)**  
Tomi Berg, Samuli Seppänen

**Nimeke**  
Vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän demonstraatiolaitteisto

**Toimeksiantaja**  
Karelia ammattikorkeakoulu

**Tiivistelmä**

Opinnäytetyön aiheena oli vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän demonstraatiolaitteiston suunnittelu ja toteutus. Järjestelmä rakennettiin Karelia-ammattikorkeakoulun laboratorioon. Valmis järjestelmä kuvaa pienkerrostalon vesikiertoista patterilämmitysjärjestelmää nykypäivän uusimpia komponentteja ja materiaaleja hyödyntäen.

Järjestelmän suunnittelusta vastasivat Tomi Berg ja Samuli Seppänen. Järjestelmän rakennustyövaihe ulkoistettiin ammattiopisto Riverian opiskelijoille. He rakensivat järjestelmän valvotusti suunnitelmien ja ohjeiden mukaan.

Työn tavoitteena oli toteuttaa tuleville ammattikorkeakoulun talotekniikan opiskelijoille sellainen järjestelmä, mitä he voivat hyödyntää erilaisissa patteriverkoston säätö-, mittaus- ja tasapainotuslaboratorioharjoituksissa. Työssä perehdyttiin lämmitysverkoston perussäädön merkitykseen ja tasapainotustyöhön ja sen menetelmiin. Lisäksi opiskelijoille laadittiin laboratoriotöitä varten kirjalliset työohjeet sekä erimuotoisia harjoitustehtäviä.

**Kieli**  
suomi

Sivuja 39  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 2

**Asiasanat**  
LVI, patteriverkosto, perussäätö, mittaus, tasapainotus.



**THESIS**  
**December 2019**  
**Building Services Engineering**

Tikkarinne 9  
80200 JOENSUU  
FINLAND  
+ 358 13 260 600

Author (s)  
Tomi Berg, Samuli Seppänen

Title  
Demonstration Equipment of a Water-Based Radiator Heating System

Commissioned by  
Karelia University of Applied Sciences

Abstract

The subject of this thesis was the designing and implementation of a demonstration equipment for a water-based radiator heating system. The system was built in the laboratory of Karelia University of Applied Sciences. The finished system represents a small apartment building's water-based radiator heating system that uses the latest components and materials.

Designing the radiator heating system was a part of the thesis. The construction phase of the system was delegated to the students of Riveria. They built the system under supervision according to the plans and instructions.

The aim of this thesis was to implement a system for future students of Karelia University of Applied Sciences that enables them to carry out various laboratory exercises for adjusting, measuring and balancing the radiator network. This thesis examines the importance of adjusting heating systems as well as balancing and methods for it. Written instructions and different forms of exercises were prepared to introduce the radiator system to future students.

Language  
Finnish

Pages 39  
Appendices 2  
Pages of Appendices 2

Keywords  
HVAC, radiator network, adjusting, measuring, balancing

## Sisältö

1	Johdanto .....	3
2	Yleistä .....	4
3	Vesikiertoinen patterilämmitysjärjestelmä .....	5
4	Demolaitteisto .....	6
4.1	Putkisto osuus .....	6
4.2	Patteriventtiilit .....	8
4.3	Sulku- ja linjasäätöventtiilit.....	9
4.4	Omavoimaiset linjasäätöventtiilit ja säätöventtiilit .....	10
4.5	Palkkiventtiili TBV-C .....	11
4.6	Paisunta-astia ja varolaitteet.....	12
4.7	Pumppu .....	13
4.8	Mikrokuplanpoistin .....	14
4.9	Lianerotin.....	14
4.10	Mittalaite TA-SCOPE .....	15
5	Patteriverkoston perussäätö .....	16
5.1	Perussäädön tarkoitus .....	16
5.2	Perussäädön edellytykset.....	18
6	Tasapainotus laskemalla .....	19
6.1	Lämmitystehon tarve .....	19
6.2	Patterien lämmönluovutus .....	21
6.3	Verkoston painehäviöt .....	24
6.4	Venttiilien esisäätöarvot.....	25
6.5	Patteriverkoston pumpun mitoitus.....	28
6.6	Paisunta-astian ja varoventtiilin mitoitus .....	29
7	Tasapainotustyön menetelmät .....	30
7.1	Vesivirtamenetelmä .....	30
7.2	TA Wireless- menetelmä.....	30
7.3	TA Diagnostic- menetelmä.....	32
7.4	Säätökäyrä.....	33
8	Pohdinta.....	35
	Lähteet.....	37

### Liitteet

Liite 1	Patteriverkoston demonstraatiolaitteisto
Liite 2	Laboratorioharjoitukset

# 1 Johdanto

Asuinkiinteistön lämmitysjärjestelmän energiatehokkuus ei ole nykyään itsestään selvyyttä. Mahdollisimman energiatehokas järjestelmä saavutetaan valitsemalla oikeanlainen lämmitysjärjestelmä asumistarpeiden mukaan. Tämä pitää sisällään lämmönlähteen sekä sen ympärillä virtaavan putkiston sekä vaadittavien komponenttien ja toimilaitteiden oikeanlaisen mitoituksen. Nykyään laitevalmistajilla on saatavilla monipuolisia ratkaisuja, joiden avulla on mahdollista saavuttaa mahdollisimman energiatehokas lämmitysjärjestelmä.

Ei kuitenkaan pelkästään riitä, että on osattu valita oikeanlaiset laitteet ja komponentit. Lämmitysjärjestelmän asennuksen jälkeen aloitetaan vasta se kaikkein tärkein työvaihe, eli kuinka saada tämä järjestelmä säädettyä tasapainoon siten, että jokaisella lämmönluovuttimella (patterilla) virtaisi haluttu vesimäärä ja vieläpä halutun lämpöisenä.

Tämän opinnäytetyön aiheena on nykyaikaista pienkerrostaloa kuvaava vesikiertoinen patterilämmitysjärjestelmä, josta suunnitellaan ja rakennetaan pienoiskoossa demonstraatiolaitteisto (liite 1) oppilaitoksen laboratorion seinälle. Tämän modernin demonstraatiolaitteiston avulla tulevat opiskelijat voivat tehdä erilaisia vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän mittaus-, säätö- ja tasapainotuslaboratorioharjoituksia. Järjestelmän tasapainoon saattamiseksi hyödynnetään alan uusimpia komponentteja. Paine-erojen ja vesivirtojen mittauksessa hyödynnetään TA-SCOPE mittaus- ja dokumentointilaitetta.

Aihe on rajattu tarkasti vesikiertoiseen patterilämmitysjärjestelmään ja sen säätöön ja tasapainotukseen. Demonstraatiolaitteisto tuli Karelia-ammattikorkeakoulun talotekniikan koulutusohjelman opetuskäyttöön. Työohjeiden ja laboratorioharjoitusten laatiminen opiskelijoille kuuluivat myös opinnäytetyöhömmme. Laboratorioharjoitukset on kuvattu pääpiirteittäin liitteessä 2.

Tämän laitteiston avulla opiskelijat voivat jatkossa suorittaa talotekniikan koulutusohjelmassa lämmitysjärjestelmän mittaus-, säätö- ja tasapainotuslaboratorio-

harjoituksia. Järjestelmän avulla opiskelijat saavat fyysisesti peruskäsityksen vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän toimintaperiaatteista ja oppivat muun muassa suorittamaan järjestelmän vesivirtojen mittaukset, säädön ja tasapainoituksen.

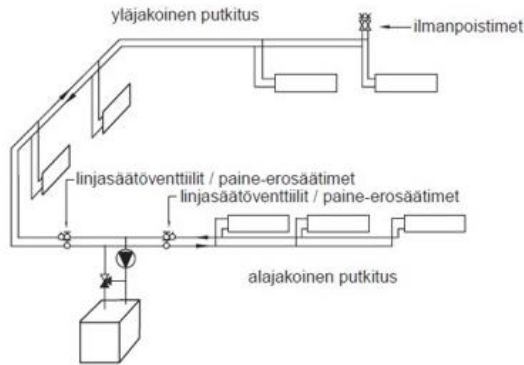
## **2 Yleistä**

Opinnäytetyön keskeisinä käsitteinä ovat lämmitysjärjestelmän mittaus, säätö ja tasapainotus. Tämä käsittää linjasäätöventtiileiden sekä patteriventtiileiden painehäviöiden, virtaamien, kv-arvojen (virtauskerroin) sekä esisäätöarvojen määrittämissä. Työssä esitetään alan nykyaikaisia tasapainotusmenetelmiä ja -laitteita lämmitysverkoston optimaalisen toiminnan saavuttamiseksi. Opinnäytetyössä sovelletaan IMI Hydronic Engineeringin käsikirjojen ja luentojen tietoperustaa.

Järjestelmän putkistomateriaaliksi valittiin Uponor komposiittiputki ja siihen kuuluvat liittimet ja muut osat. Venttiilit ja muut toimilaitteet tulivat TA:n mallistosta. Kiertovesipumpuksi valittiin Wilon Yonos Pico. Demonstraatiolaitteiston putkisto ja sen osat on esitelty tarkemmin luvussa 4.

Varsinaisen järjestelmän kokoonpanon tekivät Riverian opiskelijat suunnitelmien (liite 1) ja ohjeiden mukaisesti. Järjestelmä kuvaa kolmekerroksista taloa, jossa on kolme erillistä rappua. Patteriventtiileitä on kaksi venttiiliä/kerros. Linjasäätöventtiilit tulivat runkolinjan paluujohtoon, jokaiseen kerrokseen ja jokaiseen nousujohtoon. Tyhjennys ja sulkuventtiilit sijoitettiin niille tärkeisiin putkistokohtiin. Ilmausventtiilit sijoitettiin putkistoverkoston piirien ylimpiin kohtiin.





Kuva 2. Esimerkki ylä- ja alajakoisesta patteriverkostosta [2].

## 4 Demolaitteisto

### 4.1 Putkisto osuus

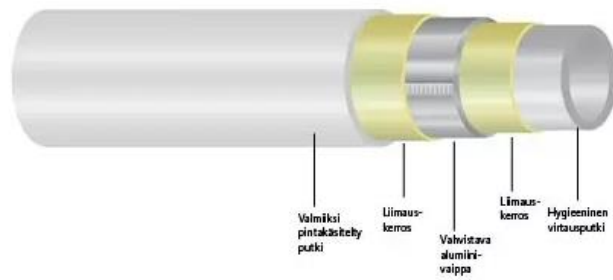
Demolaitteiston putkisto osuus tehdään Uponor-komposiittiputkella (kuva 4) ja kyseiseen putkeen tarkoitetuilla liittimillä (kuva 5) ja osilla. Putkisto rakennetaan 2-putkijärjestelmänä siten että meno- ja paluujohdot kulkevat omina linjoinaan.

Komposiittiputki on erittäin pitkäikäinen ja kestävä kolmikerrospotki, jossa pohjimmaisena kerroksena on hygieeninen virtausputki, välikerroksena vahvistava alumiinivaippa ja päällimmäisenä kerroksena pintakäsitelty muoviputki. Putki on diffuusiosuojattu siten, ettei ulkopuolinen happi pääse putkiston pinnan läpi, eikä aiheuta näin ollen korroosiovaurioita järjestelmän muissa osissa. Putki on helposti työstettävää, sitä voi taivuttaa taivuttimilla ja erilaisten liittinten liitokset tapahtuvat puristamalla puristuskoneella (kuva 3). Sama putki soveltuu käytettäväksi lämmitys-, käyttövesi- ja jäähdytysjärjestelmissä. Liitinkoot ovat saatavilla 16-50mm putkille. [4.]





Kuva 3. Uponor puristuskone ja -leuat [3].



Kuva 4. Uponor komposiittiputken rakenne [4].



Kuva 5. Uponor komposiittijärjestelmän liittimiä [5].

## 4.2 Patteriventtiilit

Patteriventtiileiksi valikoitui TA:n mallistosta kaksi erilaista: Eclipse (kuva 6) ja TRV-3 Calypso (kuva 7).

Eclipse on ns. automaattisesti säätyvä patteriventtiili. Sisäänrakennettu virtauksen rajoitin estää ylivirtaukset, vaikka verkoston kuorma hetkellisesti muuttuisikin. Painehäviölaskelmia esisäätöarvojen määrittämiseksi ei tarvita, sillä venttiili säätelee itse virtausta paine-eron perusteella. Mitoitusvirtaama saavutetaan asettelemalla esisäätöarvo. Käyttöalueena ovat lämmitysjärjestelmät. [6.]



Kuva 6. Termostaattinen patteriventtiili Eclipse [6].

TRV-3 Calypso on uudenajan esisäädettävä termostaattinen patteriventtiili. Esisäätö on piilotettu siten, että se estää ulkopuolisen muuttamisen. Venttiilissä on virtauksen säätöominaisuus, maksimirajoitus sekä se toimii myös sulkuna. TRV-3 Calypso soveltuu niin lämmitys- kuin jäähdytysjärjestelmiinkin. [7.]



Kuva 7. Termostaattinen patteriventtiili TRV-3 Calypso [7].

### 4.3 Sulku- ja linjasäätöventtiilit

Sulkuventtiileiksi valikoitui TA:n malli Globo H ja linjasäätöventtiileiksi TA:n malli STAD. Sulkuventtiilit Globo H (kuva 8) asennettiin menopuolen runkojohtoon ja yhteen nousuhaaraan sekä jokaiseen kolmen nousun jokaiseen kerrokseen.

Venttiili on ihanteellinen asentaa ahtaisiinkin paikkoihin kahvaosan muotoilun takia, jossa on erittäin lyhyt kääntösäde. Venttiiliä käytetään niin lämmitys- kuin jäähdytysjärjestelmissäkin. Väliaineena voivat olla vesi ja neutraalit nesteet. Puhonametallirunko ja pallo-osa ovat korroosion kestäviä. [8.]



Kuva 8. Sulkuventtiili Globo H [8].

STAD-linjasäätöventtiili (kuva 9) asennettiin kahden menopuolen nousujohtoon, kahden nousun osalta paluupuolelle jokaiseen kerrokseen ja yhden nousun paluupuolen haarajohtoon sekä paluupuolen runkojohtoon ennen pumppua.

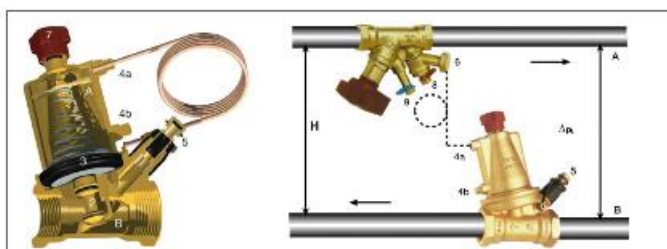
Venttiiliä käytetään lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien toisiopuolella. Venttiili mahdollistaa erittäin tarkan järjestelmien virtaamien perussäädön. Numeronäyttöisen käsipyörän avulla esisäädöt voidaan asettaa vaivattomasti ja perussäätö on helppoa. Itsetiivistyvät mittayhteet tekevät mittaamisesta tarkan ja yksinkertaisen. Venttiili toimii tarvittaessa myös sulkuventtiilinä. [9.]



Kuva 9. Linjasäätöventtiili STAD [9].

#### 4.4 Omavoimaiset linjasäätöventtiilit ja säätöventtiilit

Kahteen nousujohtoon asennettiin myös STAD-linjasäätöventtiilit, jotka ovat yhdistetty kapilaariputken avulla paluujohdon omavoimaisiin STAP-linjasäätöventtiileihin (kuva 10).



Kuva 10. STAD-STAP säätöparin asennustapa [10].

STAP (kuva 11) on monikäyttöinen paine-erosäädin. Se pitää kuorman yli vallitseman paine-eron vakiona. Säätö toimii näin ollen tarkasti ja virtaamien perussäätö helpottuu. Myös säätöventtiilien aiheuttamat ääniongelmät pienenevät. Sillä on mahdollista asettaa haluttu paine-ero, mikä tekee perussäädöstä tarkan. Painekevennetty istukka pitää huolen, että paine-ero säätty tarkasti. [11.]



Kuva 11. Omavoimainen linjasäätöventtiili STAP [11].

#### 4.5 Palkkiventtiili TBV-C

Yhden nousun jokaisen kerroksen paluujohtoon asennettiin TA:n TBV-C palkkiventtiili (kuva 12). Venttiiliä käytetään lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä. Venttiilistä voi tehdä virtauksen säädön ja maksimirajoituksen sekä paine-eron ja virtauksen mittauksen linjasäätöventtiilin tavoin. Venttiilissä on itse tiivistyvät mittayhteet, mikä tekee mittaamisesta helppoa. Venttiilille on oma työkalu, mikä tekee perussäädöstä tarkan ja yksinkertaisen. Venttiili voi toimia myös sulkuventtiilinä. [12.]



Kuva 12. Palkkiventtiili TBV-C [12].

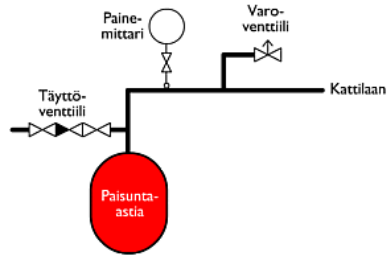
#### 4.6 Paisunta-astia ja varolaitteet

Paisunta-astiaksi valittiin TA:n Statico SD 8.3 (kuva 13). Tilavuus on 8 litraa. Paisunta-astia toimii omavoimaisesti, jossa on sisäänrakennettu ilmatiivis butyylikumipussi. Paisuntalinjaan (kuva 14) asennettiin myös varoventtiili, painemittari ja verkoston täyttöventtiili. Varoventtiilin tehtävänä on estää verkoston liiallinen paineenousu, jottei verkoston muut paineelle herkät osat vaurioitu. Varoventtiili avautuu verkoston paineen ylittäessä venttiilin avautumispaineen. Tällöin ylimääräinen vesi laskee venttiilin läpi viemäriin laskien verkoston painetta, kunnes paine laskee avautumispaineen alle.

Paisunta-astian tehtävänä on ottaa vastaan veden lämpötilan muutoksista johtuvat tilavuuden muutokset sekä varmistaa, että vesi kiertää myös järjestelmän ylimmissä kerroksissa. Se on painesäiliö, jonka sisällä on butyylikumipussi, jonka sisäpuolella on lämmitysverkoston vesi ja toisella puolella kaasu. Kun veden tilavuus lämpötilojen muutosten takia muuttuu, kumikalvo joustaa ja kaasu puristuu kokoon nostaen veden paineen. [13.]



Kuva 13. Statico paisunta-astiat [13].



Kuva 14. Tyypillinen paisuntalinja lämmitysverkossa [14].

#### 4.7 Pumppu

Kiertovesipumpuksi valittiin Wilo Yonos Pico 25/1-6 (kuva 15), jossa on elektroninen säätö. Pumppu sijoitettiin paluupuolelle runkojohdon päälinjasäätöventtiin jälkeen. Pumppu on huoltovapaa märkämoottoripumppu kierreliitännällä. Pumpua on mahdollista käyttää kaikenlaisissa lämmitys- ja ilmastointisovelluksissa. Pumpun maksimikäyttöpaine on 10 baaria, nostokorkeus 6 metriä ja virtaama  $3,5\text{m}^3/\text{h}$ . Pumpussa on esivalittavat säätötavat kuormituksen optimointiin. Kulutuksen näyttö watteina sekä led-merkkivalo asetusarvon säätöä varten. Wilo Yonos Pico on energiatehokas EC-moottoripumppu. EC-moottori tarkoittaa hiiliharjatonta tasavirtamoottoria. EC-moottori pystyy tunnistamaan ylikuormitukset ja suojaamaan myös näin ollen itse itseään. [15.]



Kuva 15. Wilo Yonos Pico -pumppu [15].

#### 4.8 Mikrokuplanpoistin

Järjestelmään asennettiin TA:n Zeparo ZU mikrokuplanpoistin (kuva 16). Tämän automaattisen ilmausventtiilin avulla putkistosta poistuu täytön aikana muodostuneet pienimmätkin ilmakuplat. Putkiston hyvä ilmaus on tärkeässä asemassa. Mikäli putkistoon jää ilmaa, kun se on täytetty nesteellä, niin se saattaa tuoda ongelmia veden tasaiselle virtaukselle, pahimmillaan putkiston johonkin kohtaan jää ns. ilmapussi ja virtaus estyy. Tämä taas johtaa lämpökatkoon kyseisellä putkiosuudella. Ilmaukset pyritäänkin järjestämään aina verkostohaarojen ylimpiin kohtiin sekä patterilla on vielä erikseen omat ilmausruuvinsa. [16.]



Kuva 16. Automaattinen ilmausventtiili Zeparo ZU [16].

#### 4.9 Lianerotin

Järjestelmään asennettiin TA:n Zeparo Cyclone lianerotin (kuva 17). Lianerotin puhdistaa ja suojaa lämmitysjärjestelmää ja sen eri osia epäpuhtauksista. Lianerotus on parhaimmillaan virtauksen kasvaessa. Pohjassa olevan tyhjennysventtiilin avulla on kertynyt lika poistettavissa ja huuhdeltavissa vaivattomasti. Kerätyn lian määrä ei vaikuta verkoston painehäviöihin. Syklonitekniikan ansiosta lianerotin on asennettavissa mihin asentoon tahansa, sillä lianerotus tapahtuu keskipakoisvoiman avulla. Zeparo Cyclone lianerotin ei myöskään tukkeudu normaalien suodattimien tapaan, eikä virtaus näin ollen verkostossa pienene. [17.]





Kuva 17. Zeparo Cyclone lianerotin [17].

#### 4.10 Mittalaite TA-SCOPE

Demolaitteiston linjasäätöventtiilien virtaamien, paine-erojen, painehäviöiden ja lämpötilojen mittauksessa käytössämme on TA-SCOPE-mittari (kuva 18).

Mittaukset suoritetaan linjasäätöventtiileiden mittayhteiden kautta. Mittari on tärkeä työkalu virtaamien säätämisessä, tarkistusmittauksissa ja mahdollisissa vianetsinnöissä sekä dokumentoinnissa. Mittalaitteen valikot neuvovat askel askeleelta käyttäjäänsä, mikä tekee mittauksista helppoa ja vaivatonta. TA-SCOPE käsittää kaksi laitekokonaisuutta. Näyttöyksikkö, johon on ohjelmoitu TA-venttiilien eri käyrästöt ja paine-eroanturiyksikkö mihin myös kiinnittyvät mittayhteet ja joka vaihtaa langattomasti tietoja näyttöyksikön kanssa. [18.]

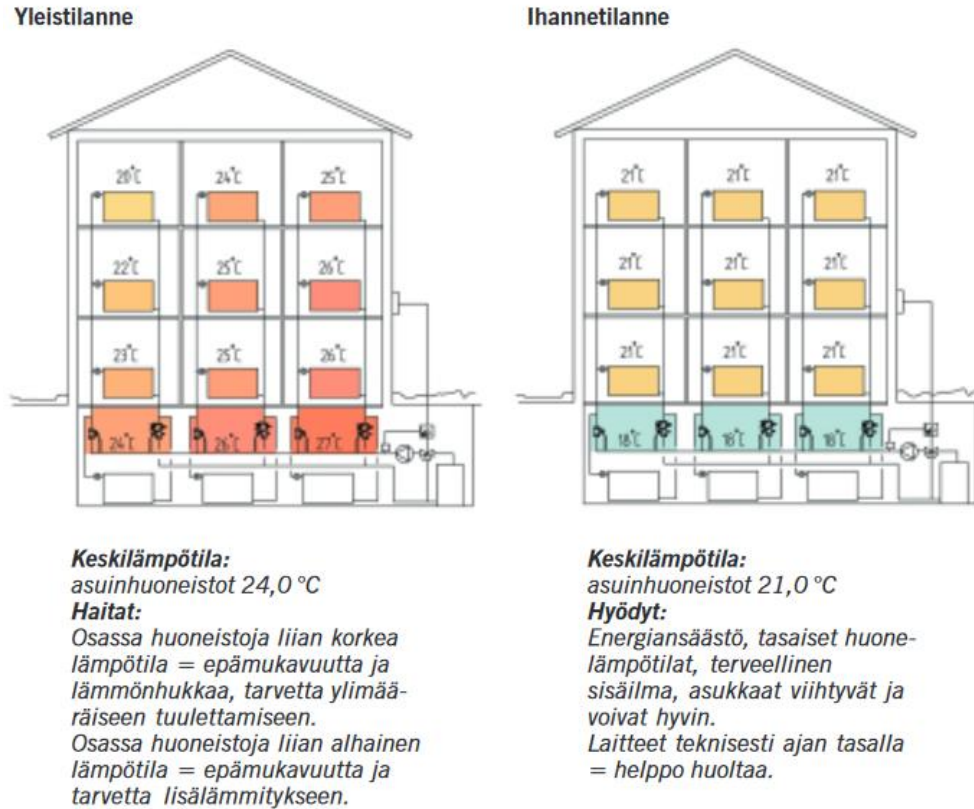


Kuva 18. Mittalaite TA-SCOPE [18].

## 5 Patteriverkoston perussäätö

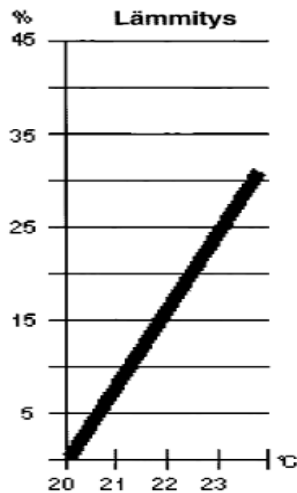
### 5.1 Perussäädön tarkoitus

Patteriverkoston perussäädön tarkoituksena on säätää verkoston säätöventtiileitä siten, että jokaiselle verkoston patterille virtaisi LVI-suunnittelijan mitoittama tilavuusvirta. Perussäädöllä saadaan rakennuksen jokaiseen tilaan suunnitelmien mukaiset ja tasaiset lämpötilaolosuhteet (kuva 19). Säätämättömässä patteriverkostossa vesivirtaama ei riitä verkoston virtausteknisesti vaikeimpien kiertojen pattereille eli reiteille, joissa on suurimmat painehäviöt. Vaihtoehtoisesti verkoston helpoimpien kiertojen pattereiden läpi kulkee mitoitusvirtaamaa suurempi virtaama. Liian suuri virtaama johtaa liian suuriin lämpötiloihin tiloissa. Perussäädöllä estetään myös veden liiallisesta nopeudesta sekä venttiilien yli vaikuttavista liiallisista paine-eroista johtuvia ääniongelmia.



Kuva 19. Lämpötilaolosuhteet rakennuksessa ennen säätöä ja säädön jälkeen [19].

Säädetty patteriverkosto parantaa rakennuksen sisäilmastoa tasaamalla huoneistojen lämpötilaerot ja poistamalla kohinaäänit verkostosta. Yleisenä tavoitteena lämpötilalle asuinrakennuksissa pidetään noin 21 °C. Verkoston lämpötilavaihtelut aiheuttavat perussäädön puutteellisuuden vuoksi epämukavat asuin- ja työolosuhteet rakennuksissa: liian kylmä huonelämpötila aiheuttaa vedon tunnetta ja lisää kosteutta, kun taas liian lämmin huoneilma aiheuttaa allergiaoireita ja saa asukkaat tuulettamaan huoneistojaan. Perinteisellä tuulettamisella lämmitysenergia kulkeutuu ulkoilmaan, minkä johdosta rakennuksen energiakustannukset nousevat merkittävästi. Suomen asuinrakennuksista arviolta noin 75 % on säätämättömiä, mikä korostaa energiankulutuksen merkittävyyttä entisestään. Näissä säätämättömissä kiinteistöissä keskimääräiset lämpötilaerot ovat 3-6 °C. [19.] Säätämättömän kiinteistön energiakustannukset nousevat kuvan 19 mukaisesti ja jo yksikin aste yli 20 °C lisää energiakustannuksia 5-8 % (kuva 20) [20]. Energiasäästöä ei kuitenkaan saada sellaisissa rakennuksissa, joissa perussäädön seurauksena keskilämpötila nousee tai pysyy samana verrattuna alkutilanteeseen. Perussäädön jälkeen samalla mitoituslämpötilalla suunnitellut tilat eivät saa poiketa keskilämpötilaltaan toisistaan yli 3 °C.



Kuva 20. Energiakustannusten nousu lämpötilan funktiona [20].

## 5.2 Perussäädön edellytykset

Jotta perussäätö olisi kannattavaa ja mahdollista toteuttaa, tulee ottaa huomioon monia asioita. Ensimmäisenä tulee tarkastaa, onko perussäädölle tarvetta. Perussäädön tarve riippuu rakennukseen ja sen LVI-tekniisiin järjestelmiin tehtyjen muutoksien vaikutuksista. Esimerkiksi luvanvaraisessa rakennuksen ulkovaippaan tai IV-järjestelmään tehtyjen muutoksien seurauksena määräykset jopa edellyttävät perussäädön tarkastuksen. Lisäksi muut rakennuksen lämpöhäviöihin ja verkoston tasapainoon vaikuttavat toimenpiteet saattavat aiheuttaa käyttäjille oireita, jotka parantuvat vain oikein toteutetulla lämmitysjärjestelmän perussäädöllä. Perussäätö kannattaakin tehdä vasta kaikkien tiedossa olevien lämmitystarpeeseen vaikuttavien remonttien jälkeen. Uudisrakennuksissa perussäätö tulee toteuttaa ennen rakennuksen käyttöönottoa. [21.]

Tarkoituksenmukaisella perussäädöllä pyritään saavuttamaan rakennukseen haluttu sisäilmasto pienimmillä mahdollisilla energiakustannuksilla. Päästäkseen haluttuun lopputulokseen, järjestelmän pitää täyttää säädön kolme perusehtoa:

- Kaikkien verkoston laitteiden täytyy saada käyttöönsä suunniteltu mitoitusvirtaama. Tämä varmistetaan tasapainotuksen avulla. Tasapainotuksella estetään sekä yli- että alivirtaamat ja huomataan pumpun mahdollinen ylimitoitus. Näin varmistetaan järjestelmän kyvykkyys tarjota suunniteltu suorituskyky.

- Säästöventtiilien paine-ero ei saa varioida liikaa venttiilien tarkoituksenmukaisen toiminnan kannalta. Tämäkin hoidetaan verkoston tasapainotuksella.
- Järjestelmän verkostojen liitoksien tulee olla yhteensopivia. Jos näin ei ole, verkoston rajapinnoilla tapahtuu käytettävissä olevan tehon laskua ja verkoston hyötysuhde heikkenee. [22.]

Yksikään hydroninen järjestelmä ei voi toimia tehokkaasti, jollei nämä kolme ehtoa ole voimassa. Tehokkain tapa ehtojen toteutumiseksi on suorittaa ammattimainen tasapainotus. [22.]

## 6 Tasapainotus laskemalla

### 6.1 Lämmitystehon tarve

Tasapainotuslaskennan ensimmäisessä vaiheessa lasketaan lämmitystehontarpeet rakennuksen jokaiselle tilalle. Lämmitystehontarve lasketaan tilakohtaisesti kaavalla 1, jotta saadaan selville tilan vaatima lämmitysteho, joka toimii tilan pattereiden tehojen yhteenlaskettuna mitoitusarvona. Tilan lämmitysteho koostuu tilan rakennusosien läpi johtuvista lämpöhäviöistä, tilan ja ulkoilman välisen paineeron aiheuttaman vuotoilman lämmitykseen kuluvasta lämmitystehosta sekä ilmanvaihdon tulo- ja korvausilman lämmitykseen kuluvasta lämmitystehosta.

$$\Phi_{tila} = \Phi_{joht} + \Phi_{vuotoilma} + \Phi_{iv,tuloilma} + \Phi_{iv,korvausilma} \quad (1)$$

jossa

$\Phi_{tila}$	tilan lämmitystehon tarve, W
$\Phi_{joht}$	johtumislämpöhäviöiden teho rakennusvaipan läpi, W
$\Phi_{vuotoilma}$	vuotoilman lämmitystehon tarve, W
$\Phi_{iv,tuloilma}$	tilan tuloilman lämmitystehon tarve, W
$\Phi_{iv,korvausilma}$	korvausilman lämmitystehon tarve, W.

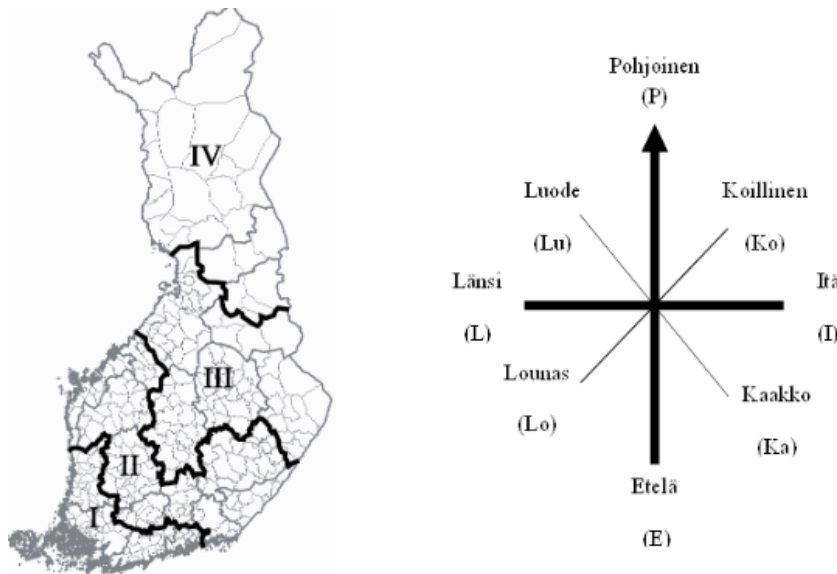
Johtumislämpöhäviötä vastaava teho lasketaan ulkoilmaan tai muuhun lämpötilaltaan poikkeavaan tilaan rajoittuvien rakennusosien (ulkoseinien, ylä- ja alapohjien, ikkunoiden ja ulko-ovien) sekä kylmäsiltojen lämpöhäviötehojen summana kaavan 2 mukaisesti.

$$\Phi_{joht} = \sum U_i A_i (T_s - T_{u,mit}) + \sum l_k \Psi_k (T_s - T_{u,mit}) \quad (2)$$

jossa

$U_i$	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, U-arvo, W/(m <sup>2</sup> K)
$A_i$	rakennusosan i pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_s$	sisäilman lämpötila, °C
$T_{u,mit}$	mitoittava ulkoilman lämpötila, °C
$l_k$	viivamaisen kylmäsiltojen pituus, m
$\Psi_k$	viivamaisen kylmäsiltojen lisäkonduktanssi, W/(m K).

Lämpöhäviöitä laskettaessa käytetään rakennuksen paikallista ulkolämpötilan mitoitusarvoa, jotka on esitetty kuvassa 21. Mikäli tilan rakennusosa johtaa muuhun huonelämpötilasta poikkeavaan tilaan, käytetään mitoittavan ulkoilman lämpötilan paikalla rakennusosan eri puolien sisälämpötilojen eroa.



Taulukko L1.1. Mitoittavat ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.

Säävyöhyke	Mitoittava ulkoilman lämpötila, °C
I	-26
II	-29
III	-32
IV	-38

Kuva 21. Mitoittava ulkoilman lämpötila alueittain [23].

Tilan vuoto-, tulo- ja korvausilmojen lämmitystehojen laskemiseen käytetään pääosin samaa kaavaa 3. Ainoa eroavaisuus kaavaan tulee eri lämmitystehoja laskeessa käytettävästä lämpötilaerosta.

$$\dot{\Phi}_i = \rho_i c_{pi} q_{v,ilma} \Delta T \quad (3)$$

jossa

$\dot{\Phi}_i$	lämmitettävän ilman lämmitystehon tarve, W
$\rho_i$	ilman tiheys, 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pi}$	ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 J/kg°C
$q_{v,ilma}$	lämmitettävän ilman tilavuusvirta, m <sup>3</sup> /s
$\Delta T$	lämmitettävän ilman ja huoneilman lämpötilaero, °C.

## 6.2 Patterien lämmönluovutus

Lämmitysjärjestelmän toiminnan ja varsinkin patterien kannalta olennaisia arvoja ovat menoveden mitoituslämpötila sekä verkoston mitoituslämpötilaero. Lämpötilaero voidaan optimoida jokaiseen järjestelmään erikseen, mutta Suomessa on yleisesti käytössä nimelliset lämpötilat menovedelle 45 °C ja paluuveden lämpötila 30 °C, jolloin patterilla luovutettava lämpötilaero on 15 °C. Mitoitusarvoiksi voi valita muitakin arvoja, kunhan huomioi eri lämpötilojen hyödyt ja haitat. Suuri lämpötilaero mahdollistaa pienemmät virtaukset ja putkistot, mutta lisää patterien kokoa ja hankaloittaa säätämistä [20]. Toisaalta pieni lämpötilaero mahdollistaisi pienemmät patterit, mutta säätäminen olisi edellistäkin vaikeampaa [20].

Patteria valittaessa huomioidaan sen lämmönluovutusteho halutulla yllämpötilalla. Jos käyttöön tulevaan patteriin on mitoitettu kaavalla 4 eri yllämpötila kuin patterin valmistajan ilmoittama, voidaan patterin todellinen teho laskea logaritmi-  
sen yllämpötilan avulla kaavalla 5.

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_m - t_p}{\ln \frac{t_m - t_h}{t_p - t_h}} \quad (4)$$

jossa

$\Delta t_{ln}$	logaritminen yllämpötila, °C
$t_m$	menoveden lämpötila, °C
$t_p$	paluuv veden lämpötila, °C
$t_h$	huoneilman lämpötila, °C.

$$\Phi_p = \Phi_{rp} \left( \frac{t_{ln}}{t_{lnr}} \right)^n \quad (5)$$

jossa

$\Phi_p$	patterin lämmönluovutusteho, W
$\Phi_{rp}$	referenssiteho patterin lämmönluovutukselle, W
$t_{lnr}$	logaritmisen yllämpötilan referenssi, °C
$n$	lämmönluovutuseksponentti patterille, $\approx 1,33$ .

Tilaan pyritään valitsemaan patterit jokaisen ikkunan alle. Patterien lämmönluovutustehojen summan tulisi tällöin vastata tilan lämpöhäviötehoa. Vertaamalla tilan lämpöhäviötehoa logaritmista yllämpöä vastaaviin lämmönluovutustehoihin löytää tilaan sopivat patterit. Sopivien patterien löydyttyä lasketaan patterien vaatimat lämmitysveden tilavuusvirrat. Tilavuusvirtoja tarvitaan myöhemmässä vaiheessa patterien esisäätöjen määrittämisessä. Patterin vaatima tilavuusvirta riippuu lämmönluovutustehon lisäksi myös patteriin tulevan ja lähtevän veden lämpötiloista kaavan 6 mukaisesti.

$$q_{v,vesi} = \frac{\Phi_p}{\rho_v c_{pv} (t_m - t_p)} \quad (6)$$

jossa

$q_{v,vesi}$	veden tilavuusvirta, m <sup>3</sup> /s
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4200 J/kg °C
$t_m$	menoveden lämpötila, °C
$t_p$	paluuv veden lämpötila, °C.



Toisinaan rakennukseen tulee muutoksia, jolloin pitää tarkastaa patterien sopivuus tiloissa. Patterien mitoituslämpötilat voivat muuttua tai rakennuksen lämpöhäviöt pienentyä remontin vuoksi. Tällöin lasketaan pattereille uusia ylälämpötiloja vastaavat tehot ja tarkastetaan patterien vaatimat virtaamat.

Esimerkki: Tilassa on patteri, jonka teho on 1407W nimellislämpötiloilla 80/60/21 °C. Remontoidun tilan uusi lämmitystehon tarve on 1100W ja uusi menoveden lämpötila on 70 °C ja huonelämpötila 21 °C. Mikä tulee olla patterin virtaama?

Tilanteen selvittämiseksi tarvitsee tietää uusi paluueden lämpötila, jotta tilavuusvirran ratkaiseminen olisi mahdollista. Paluueden lämpötilan saa laskettua uuden ylälämpötilan kautta, jonka saa selvitettyä kaavalla 5. Kaavaa 5 varten pitää kuitenkin selvittää ylälämpötila vanhoilla arvoilla kaavalla 4.

$$\Delta t_{ln} = \frac{t_m - t_p}{\ln \frac{t_m - t_h}{t_p - t_h}} = \frac{80 - 60}{\ln \frac{80 - 21}{60 - 21}} = 48,31^\circ\text{C}$$

Sijoitetaan vanhan tilanteen ylälämpötila kaavaan 5.

$$\phi_p = \phi_{rp} \left( \frac{t_{ln}}{t_{lnr}} \right)^n \leftrightarrow t_{ln} = t_{lnr} \sqrt[n]{\frac{\phi_p}{\phi_{rp}}} = 48,31 \sqrt[1,33]{\frac{1100}{1400}} = 40,3^\circ\text{C}$$

Uuden ylälämpötilan selvittyä ratkaistaan ohjelmallisesti nykytilannetta vastaava paluueden lämpötila kaavasta 4, jolloin saadaan paluueden lämpötilaksi 53,33 °C. Kaikkien kaavan 6 lähtötietojen selvittyä voidaan laskea patterin nykyistä tehoa vastaava tilavuusvirta.

$$q_{v,vesi} = \frac{\phi_p}{\rho_v c_{pv} (t_m - t_p)} = \frac{1100\text{W}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (70^\circ\text{C} - 53,33^\circ\text{C})} = 0,014 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 51,4 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Vertailun vuoksi lasketaan tilavuusvirta myös alkuperäisessä tilanteessa.

$$q_{v,alkuperäinen} = \frac{1407\text{W}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (80^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C})} = 0,01675 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 60,3 \frac{\text{l}}{\text{h}}$$

Ilman säätöä patterin läpi kulkeva tilavuusvirta olisi 117 % mitoitusvirtaamastaan, mikä näkyisi suoraan vastaavasti patterin energiankulutuksessa.

### 6.3 Verkoston painehäviöt

Patteriverkoston painehäviöt ovat yksi tärkeimpiä käsitteitä järjestelmän tasapainotuksen kannalta. Verkoston painehäviöt määrittävät yhdessä pumpun tehon kanssa patteriventtiilien käytettävissä olevat paine-erot. Painehäviöt lasketaan jokaisen patteriventtiin ja pumpun välille, minkä perusteella määritetään tarvittavien linjasäätöventtiilien painehäviöt. Verkoston painehäviöt koostuvat putkiston kitkapainehäviöistä, putkiston osien kertavastushäviöistä sekä eri laitteiden ja venttiilien kertavastuksista. Putkiston kitkapainehäviöt metrille saa luettua eri putkimateriaalien painehäviödiagrammeista tilavuusvirtojen ja putkikoon mukaan. Kitkapainehäviöiden putkiston osalle laskemiseksi käytetään kaavaa 7. [24.]

$$\Delta p_{\lambda} = RL \quad (7)$$

jossa

$\Delta p_{\lambda}$	putkiston kitkapainehäviö, Pa
$R$	putkimateriaalin kitkavastus, Pa/m
$L$	putkiston pituus, m.

Putken poikkipinnan muutoksista kuten mutkista ja haaroista johtuvat painehäviöt ovat kertavastushäviöitä. Laskettaessa painehäviöitä putkiston osalle kitkavastushäviöihin summataan putkiston kertavastushäviöt (kaava 9). Kertavastushäviöt lasketaan kaavalla 8 putkiston veden tiheydestä, virtausnopeudesta sekä mutkien ja haarojen kertavastusluvusta, jotka esitetään taulukossa 1. [24.]

$$\Delta p_{\xi} = \sum \left( \frac{1}{2} \xi \rho_v v^2 \right) \quad (8)$$

jossa







$\Delta p_{\xi}$	putkiston kertavastusten painehäviöt, Pa
$\xi$	Kertavastusluku
$v$	veden virtausnopeus, m/s.

$$\Delta p_k = \Delta p_{\lambda} + \Delta p_{\xi} \quad (9)$$

jossa

$\Delta p_k$	putkiston kokonaispainehäviö, Pa.
--------------	-----------------------------------

Taulukko 1. Komposiittiputkien kertavastuslukuja eri kertavastuksille [25].

Ulkohalkaisija x seinämän vahvuus (mm)	16 x 2	20 x 2,25	25 x 2,5	32 x 3	40 x 4	50 x 4,5
Sisähalkaisija (mm)	12	15,5	20	26	32	41
Kertavastuskerroin $\zeta$	$\zeta$	$\zeta$	$\zeta$	$\zeta$	$\zeta$	$\zeta$
Putken ekvivalentti pituus $L_{ekv}$ (m)	$L_{ekv}$	$L_{ekv}$	$L_{ekv}$	$L_{ekv}$	$L_{ekv}$	$L_{ekv}$
Kulma 90° 	4,4 2,0	3,0 1,9	2,8 2,4	2,3 2,7	2,0 3,1	1,6 3,3
Kulma 45° 	- -	- -	1,5 1,3	1,2 1,4	1,2 1,8	0,8 1,7
Supistus 	1,7 0,8	1,2 0,8	1,0 0,9	0,9 1,1	0,8 1,2	0,6 1,2
Haara sivuvirtauksen suuntaan 	5,2 2,4	3,6 2,3	3,2 2,7	2,6 3,1	2,4 3,7	1,9 3,9
Haara läpivirtauksen suuntaan 	1,2 0,6	0,8 0,5	0,8 0,7	0,7 0,8	0,5 0,8	0,4 0,8
T-haara 	4,6 2,1	3,2 2,0	2,9 2,5	2,3 2,7	2,1 3,2	1,7 3,5

$L_{ekv}$  = putken ekvivalenttipituus [m]  $L_{ekv}$  on laskettu virtausnopeudella 2 m/s  
 $\zeta$  = kertavastuskerroin [-]

## 6.4 Venttiilien esisäätöarvot

Putkiston ollessa mitoitettu ja kiertopiirien painehäviöt laskettu, etsitään virtaus-teknillisesti vaikein kiertopiiri. Vaikeimmalla kiertopiirillä on verkoston suurimmat painehäviöt. Tämän kiertopiirin mukaan tasataan muut piirit lisäämällä niihin painehäviöitä siten, että jokaisella kiertopiirillä on yhtä suuret painehäviöt. Tämä mahdollistaa tarvittavan paineen tarjoamisen patteriventtiilien säätämiseen ja mitoitettun lämmitystehon saavuttamisen. [24.]

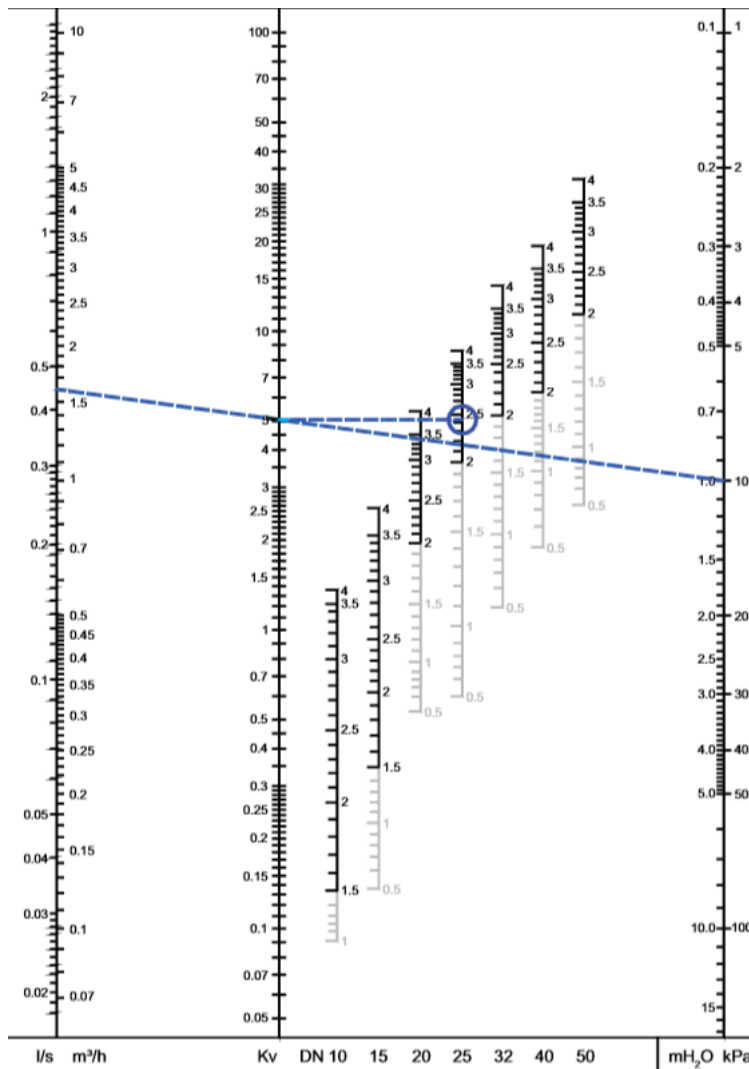
Kiertopiirien painehäviöiden ollessa tiedossa, lasketaan linjasäätöventtiileille piirien tasapainotiloja vastaavat painehäviöt. Linjasäätöventtiileille määritettyjen painehäviöiden ja piirien patterien vaatimien tilavuusvirtojen avulla voidaan määrittää linjasäätöventtiilien  $K_V$ -arvot vedelle kaavalla 10 tai katsomalla valmistajan diagrammista.  $K_V$ -arvo kertoo, kuinka suuri virtaama venttiilin läpi menee, kun paine-ero venttiilin yli on yksi baari [26].  $K_V$ -arvon perusteella venttiilille määräytyy sen esisäätöarvo.

$$K_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (10)$$

jossa

$K_v$	$k_v$ -arvo, m <sup>3</sup> /h
$q_v$	tilavuusvirta, m <sup>3</sup> /h
$\Delta p$	venttiilin painehäviö, baari.

Kuvassa 22 näkyy, kuinka luetaan halkaisijaltaan DN25 STAD-linjasäätöventtiilin esisäätöarvo, kun venttiilin painehäviö on 10 kPa ja haluttu virtaama 1,6 m<sup>3</sup>/h. Ensin virtaama yhdistetään viivalla vastaavaan painehäviöön. Esisäätöarvo määrittyy piirtämällä poikkiviiva  $K_v$ -arvojen sarakkeen ja edellä piirretyn viivan leikkauspisteestä koon DN25 esisäätöarvojen pylväsasteikkoon. STAD-linjasäätöventtiilin painehäviö tulisi olla yli 3 kPa tarkimman mittaustuloksen saavuttamiseksi. [27.]



Kuva 22. STAD-linjasäätöventtiilin esisäätöarvokäyrästä [27].

Valittaessa patteriventtiileille käytettävissä olevaa paine-eroa, täytyy ottaa huomioon paine-eron vaikutus patteriventtiin toimintaan. Liian suurella paine-erolla venttiili toimii liian pienellä virtausaukolla, mikä nostaa karan jumittumisen ja meluongelmien todennäköisyyttä. Liian pienellä paine-erolla putkiston muiden painehäviöiden vaikutukset venttiin läpi kulkevaan virtaamaan kasvaisivat liian suuriksi. Edellä mainituista syistä johtuen hyväksi paine-eroksi on todettu 8-10 kPa. [20.]

Kaikki esisäädettävät patteriventtiilit voidaan säätää samalle paine-erolle, jolloin haaran kokonaisvirtaama säädetään haaran yhteisellä linjasäätöventtiilillä. Valittu paine-ero vaikuttaa haaran puolivälissä, mistä johtuen patteriventtiilien virtaamat pienenevät ensimmäistä venttiilistä kohti viimeistä. Poikkeama riippuu putkiston painehäviöistä mikä johtaa siihen, että haaran pituus rajoittaa mahdollisuutta käyttää samaa paine-eroa haaran venttiileillä. [20.]

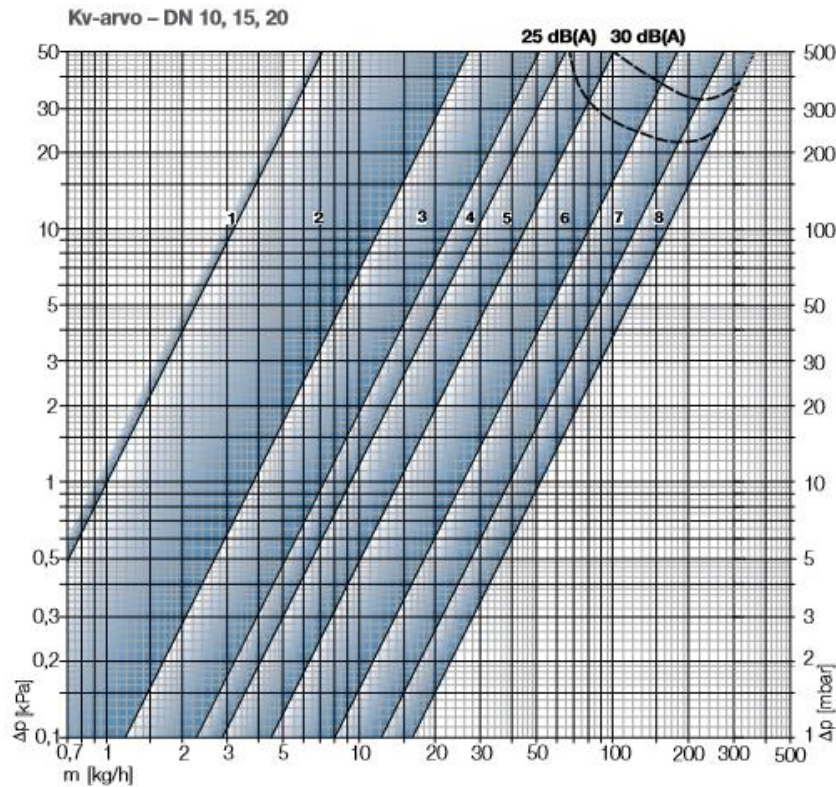
Paine-ero voidaan laskea myös jokaiselle venttiilille erikseen kaavalla 11. Tällöin ei tarvitse huolehtia haaran painehäviöistä tai pituudesta ja samalla tarkentuu myös patterien mitoitusvirtaamien säätö. [20.]

$$\Delta H = \Delta H_{max} - \frac{2RL}{1000} \quad (11)$$

jossa

$\Delta H$	patteriventtiin käytettävissä oleva paine-ero, kPa
$\Delta H_{max}$	haaran linjasäätöventtiin käytettävissä oleva paine-ero, kPa
$R$	putken painehäviö, Pa/m
$L$	haaran linjasäätö- ja patteriventtiin välimatka, m.

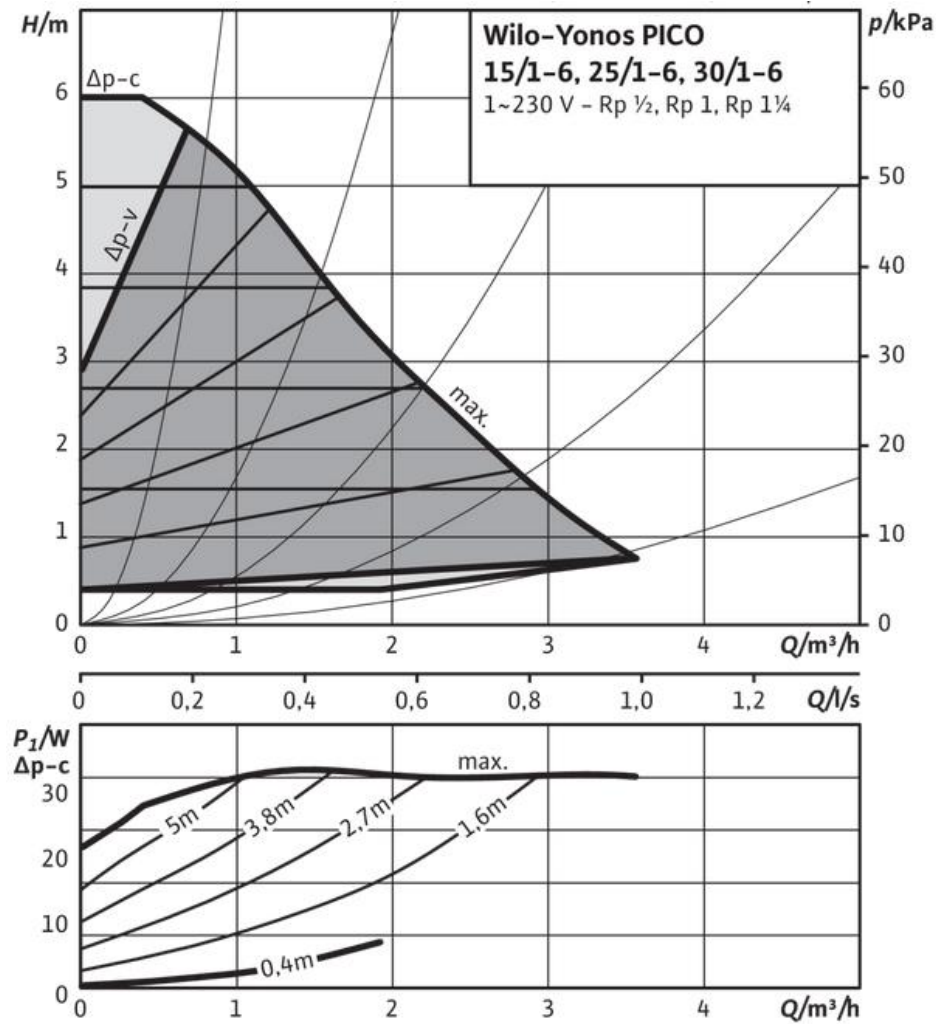
Riippumatta siitä, onko haaran venttiileillä samat paine-erot vai ei, esisäätöarvot määritetään  $k_v$ -arvon kautta, kuten linjasäätöventtiileiden tapauksessa. Esisäätöarvoa määritettäessä käytetään kyseisen venttiin esisäätökäyrästä (kuva 23). On myös olemassa venttiilejä, joille voi määrittää venttiin läpi kulkevan virtaaman suoraan venttiilistä ilman esisäätö- tai  $k_v$ -arvoa.



Kuva 23. TRV-3 Calypso-venttiilin esisäätöarvokäyrästä [28].

## 6.5 Patteriverkoston pumpun mitoitus

Suljetussa patteriverkostossa imu- ja menopuolen välille syntyy paine-ero pumpun käydessä. Tämä paine-ero saa aikaan virtaaman, jonka suuruus määräytyy piirin vastusten mukaisesti. Verkostoa palvelevan pumpun tulee tuottaa verkoston nostokorkeutta vastaavan staattisen paineen ja vastuksista aiheutuvan dynaamisen paineen summan verran painetta, jotta verkostoon saadaan haluttu virtaama. Valittaessa pumpua etsitään valmistajien ominaiskäyrästä (kuva 24) perusteella tai valintaohjelmalla verkostoa parhaimmalla hyötysuhteella palveleva pumpu, jonka tuottama paine riittää saavuttamaan verkoston mitoitusvirtaaman. [29.]



Kuva 24. Wilo Yonos Pico -pumpun ominaiskäyrästä [15].

## 6.6 Paisunta-astian ja varoventtiilin mitoitus

Paisunta-astian toimintaa varten sille mitoitetaan esipaine ja käytönaikaiset alkua ja loppupaineet sekä astiatilavuus. Paisunta-astian esipaine lasketaan lisäämällä rakennuksen staattiseen paineeseen 30 kPa. Alkupaine saadaan lisäämällä esipaineeseen 30 kPa. Loppupaine vastaa varoventtiilin avautumispainetta vähennettynä 50 kPa tai varoventtiilin avautumispaineen ollessa yli 5 baaria, 90 % avautumispaineesta. [28.] Paisunta-astian tilavuus määritetään kaavalla 12 [30]. Lämmitysverkko varustetaan aina myös varoventtiilillä. Varoventtiilin avautumispaine lasketaan lisäämällä verkoston korkeuteen 200 kPa [29].

$$V = a * K_{mit} * V_o \quad (12)$$

jossa

$V$	paisunta-astian tilavuus, $\text{dm}^3$
$a$	nesteen lämpölaajenemiskerroin, %
$K_{mit}$	paisunta-astian mitoituskerroin
$V_o$	verkoston vesitilavuus, $\text{dm}^3$ .

## 7 Tasapainotustyön menetelmät

### 7.1 Vesivirtamenetelmä

Patteriverkoston tasapainotus on perinteisesti tehty vesivirtamenetelmän mukaisesti. Menetelmässä mittaaja tasapainottaa verkoston asettamalla venttiilit suunnittelijan laskemiin esisäätöarvoihin ja todentaa virtaamat linjasäätöventtiileistä mittaamalla. Mikäli laskennat ja suunnitelmat vastaavat todellista järjestelmää, verkosto saadaan tasapainoon ja tarkoituksenmukaisiin säätöihin. Jos virtaamat eroavat mitoitusvirtaamasta yli sallitun  $\pm 10\%$ , tarkistetaan verkoston kokonaisvirtaama pääventtiililtä ja säädetään se vastaamaan haluttua tilavuusvirtaa. Virtaama jaetaan verkoston haaroille niiden vaatimien tilavuusvirtojen mukaisesti. Näin edetään kohti lämmönluovuttimia. Vastaavasti vesivirtoja säädetään myös, jos jokin tila ei pääse lämpötilaltaan hyväksytyjen rajojen sisään. Tällä tavoin tasapainotukseen kuluu reilusti aikaa, sillä näin toimittaessa verkoston painesuhteet muuttuvat säädettäessä ja venttiilit joudutaan säätämään useaan kertaan hyväksytyyn lopputuloksen saavuttamiseksi.

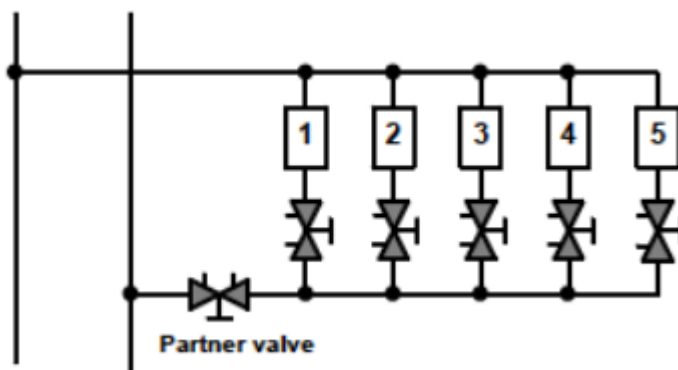
### 7.2 TA Wireless -menetelmä

TA Wireless- menetelmä on tietokoneohjelmaan perustuva menetelmä, joka löytää lämmitysjärjestelmän mitoittavan piirin automaattisesti. Menetelmä optimoi verkoston painehäviöt ja pumpun tehokkuuden sekä minimoi yksittäisten venttiilien mittauksien määrän. TA Wireless perustuu virtauksien suhteellisuussäätöön. [29.]



Menetelmä vaatii verkoston laajuuden mukaan yhden tai kaksi mittaajaa sekä TA-SCOPE näyttö- ja paine-eroanturiyksikön per mittaaja, mutta kuitenkin vähintään kaksi paine-eroanturiyksikköä. Vaihtoehtoisesti menetelmää voi käyttää myös yksin, mikäli käytössä on laitteiden signaalinvahvistimia. [29.]

Ohjelma perustuu verkoston moduulirakenteeseen. Moduuli (kuva 25) koostuu useasta piiristä, joita yhdistää sama meno- ja paluuputki. Moduulin jokaisella piirillä on oma säätöventtiili sekä yhteinen emoventtiili. Moduuleita voi olla eri tasoisia, kuten esimerkiksi kerrosmoduulit, nousumoduulit ja runkomoduulit. [31.]



Kuva 25. Tyypillinen hydrooninen moduuli [31].

Lähtötilanteessa verkoston säätöventtiilien tulee olla täysin auki ja pumpun maksimiteholla. Verkoston tasapainotus aloitetaan kauimman piirin perässä olevalta säätöventtiililtä, joka toimii mittauksien ajan referenssiventtiilinä. TA-SCOPE laskee venttiilille tarvittavan esisäätöarvon mitoitusvirtaaman perusteella kolmen kilopascalin paine-erolla. Jos paine ei riitä vaikeimman piirin päähän, voi verkoston muita nousuja sulkea väliaikaisesti paineen kasvattamiseksi. Referenssiventtiilin virtaussuhteen (todellinen virtaama/mitoitusvirtaama) tulee olla yli 90 % verkoston säätöventtiilien ollessa lasketuissa esisäätöarvoissa. Toinen paine-eroantureista jätetään mittaamaan jatkuvasti referenssiventtiiliä ja lähettämään tietoa näyttöyksikköön. Tämän jälkeen mitataan vastavirtaan moduulin seuraava venttiili ja säädetään se samalle virtaussuhteelle kuin referenssiventtiili vertaamalla reaaliaikaisia mittaustuloksia. Näin jatketaan, kunnes moduulin jokainen venttiili on säädetty samalle virtaussuhteelle. Emoventtiililtä säädetään moduulin virtaussuhteeksi 100 % ja todennetaan virtaamat kaikilta moduulin venttiileiltä. [29.]

Verkoston jokainen samantasoinen moduuli tasapainotetaan vastaavasti, minkä jälkeen tasapainotetaan moduulit taso kerrallaan samaa periaatetta käyttäen, moduulin vaikeimman ja helpoimman säätöventtiilin toimiessa referenssiventtiilinä. Kun viimeinen moduuli, eli runkomoduuli on tasapainotettu, pudotetaan pumpun tehoa, kunnes viimeisin referenssiventtiili saa 100 % virtaussuhteen. [29.]

Verkosto on nyt tasapainotettu, optimoitu ja verkostossa vallitsee mahdollisimman pieni painehäviö, jolloin pumppauskustannukset ovat mahdollisimman pienet. Tällä menetelmällä TA-SCOPE tekee mittauspöytäkirjan automaattisesti ja se on ladattavissa tietokoneelle. [29.]

### **7.3 TA Diagnostic -menetelmä**

TA Diagnostic -menetelmä on TA Wireless -menetelmän tavoin tietokoneohjelmaan perustuva menetelmä, joka löytää myös lämmitysjärjestelmän mitoittavan piirin automaattisesti. Diagnostic-menetelmällä on muuten samat edut kuin Wireless-menetelmällä sillä erotuksella, että tällä menetelmällä venttiilit mitataan kahteen kertaan. Tämän lisäksi ohjelma mitoittaa venttiileille esisäätöarvot ja tekee verkostolle painehäviökartan. [29.]

Mittaaja voi käyttää menetelmää yksin yhdellä TA-SCOPE-mittalaitteella. Yksinkertaistettuna menetelmässä mitataan kukin linjasäätöventtiili kahteen kertaan ja suljettu pääventtiili kertaalleen. Mittauksien perusteella TA-Diagnostic laskee venttiileille oikeat asetukset sekä paine-erot moduuleille vianetsinnän mahdollistamiseksi. Menetelmän toimintatapa on yksinkertainen ja ohjelma-avusteinen. [29.]

Ennen tasapainotusta pitää tarkistaa, että seuraavat ennakkovaatimukset ovat voimassa: pumppu käy maksinopeudella, säätöventtiilit ovat täysin auki, pääventtiili on täysin auki ja moduulin linjasäätöventtiilit ovat esisäätöarvoissa tai säätöasteikon puolivälissä. Verkostosta tehdään moduulirakennekartta mittalaitteeseen, minkä jälkeen tasapainotus voidaan aloittaa kauimman moduulin viimeiseltä linjasäätöventtiililtä. [29.]

Moduuli tasapainotetaan venttiili kerrallaan kauimmaisesta lähimpään, esimerkiksi kuvassa 25 tasapainottamalla venttiili 5 edeten kohti venttiiliä 1. Tasapainotus tapahtuu mittaamalla venttiilin virtaama, jonka jälkeen venttiili suljetaan ja mitataan suljetun venttiilin paine-ero. Mittauksen jälkeen venttiili palautetaan alkuperäiseen asentoon. Kun moduulin linjasäätöventtiilit on mitattu, suljetaan emoventtiili, ”partner valve” kuvassa 25, ja mitataan venttiilin yli vallitseva paine-ero. Seuraavaksi TA-SCOPE laskee moduulin painehäviöt ja ilmoittaa esisäätöarvot. Lasketut esisäätöarvot asetetaan kaikkiin moduulin venttiileihin, minkä jälkeen kokonaisvirtaamaa säädetään väliaikaisesti pääventtiililtä moduulin haluttuja virtaamia vastaavaksi. Moduulin venttiilien virtaamat todennetaan ja ne tallentuvat mittalaitteen muistiin pöytäkirjaa varten. [29.]

Verkoston jokainen samantasoinen moduuli tasapainotetaan vastaavasti, minkä jälkeen tasapainotetaan moduulit taso kerrallaan samaa toimintatapaa käyttäen. Kun viimeinen moduuli, eli runkomoduuli on tasapainotettu, pudotetaan pumpun tehoa, kunnes viimeisin referenssiventtiili saa 100% virtaussuhteen. [29.]

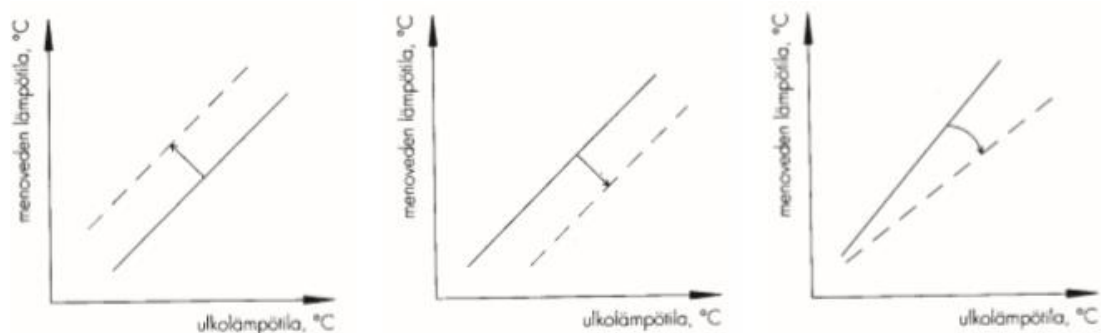
Verkosto on nyt tasapainotettu, verkostossa vallitsee mahdollisimman pieni painehäviö ja pumppu on optimoitu. TA-SCOPE tekee mittauspöytäkirjan automaattisesti mittauksien perusteella ja se on valmis tietokoneelle ladattavaksi. [29.]

Mikäli verkostossa on ongelmia, kuten tukoksia, mitattuja paine-eroja tarkastamalla ja paikkatiedon ansiosta ongelmat ovat helposti löydettävissä. Jos mitoitus on tehty TA Select -ohjelmalla, mittalaite ilmoittaa ristiriidasta omatoimisesti. [29.]

## **7.4 Säätokäyrä**

Vaikka rakennuksen lämmitysjärjestelmä olisikin säädetty oikein, sisälämpötilat vaihtelisivat ilman menoveden lämmönsäätöä. Koska ilmasto aiheuttaa suuret ulkolämpötilan vaihtelut, myös rakennuksien lämpötehon tarve vaihtelee jatkuvasti. Lämmityskeskuksen säätökeskukselle asetettavalla säätokäyrällä ohjataan lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilaa, mikä kompensoi lämmitystarpeen muutoksen. Menoveden lämpötilan säätö tapahtuu yleisimmin ulkolämpötilan funktiona, jolloin säätökeskus lämmittää lämmitysjärjestelmän menoveden valitun säätokäyrän ja ulkolämpötilan perusteella.

Rakennuksen lämpötilojen ollessa tasaiset, mutta liian kylmät tai kuumat, voidaan tilanne korjata säätökäyrää muokkaamalla. Esimerkkejä säätökäyrien muokkaamisen periaatteista: jos huonelämpötilat ovat liian kylmät, menoveden lämpötilaa voi nostaa säätökäyrän suuntaissirrolla kuvan 26 vasemman koordinaatiston mukaisesti. Vastaavasti huonelämpötilojen ollessa liian kuumat, käyrää voi laskea kuvan 26 keskimmäisen koordinaatiston mukaisesti. Jos huonelämpötilat ovat liian korkeat vain pakkasilla, ongelma korjaantuu käyrän kulmakerrointa pienentämällä kuvan 26 oikean koordinaatiston mukaisesti. [32.]



Kuva 26. Säätökäyrän muutoksia [32].

Rakennuksen lämpötilan säätämisen kannalta tärkeää on löytää rakennukselle ominainen käyrän muoto. Nykyaikaisien säätökeskusten käyrien muotoa voi muokata itse määrittämällä keskuksen parametrejä (kuva 27), esimerkiksi viisipiste säätökäyrän avulla käyrän muokkaaminen rakennukselle sopivaksi on paljon helpompaa, kuin vanhanaikaisilla kaksipiste säätökäyrillä.

Ulkolämpötila (°C)	Patterilämmitys (°C)	Lattialämmitys (°C)
-20	+ 58	+ 33
-10	+ 46	+ 30
0	+ 33	+ 27
+ 10	+ 20	+ 23
+ 20	+ 18	+ 20

Kuva 27. G-Power pientalokeskuksen säätökäyrän parametrit [33].

## 8 Pohdinta

Tämän työn tarkoituksena oli suunnitella ja rakennuttaa vesikiertoisen patterilämmitysjärjestelmän demonstraatiolaitteisto opetuskäyttöön Joensuun Karelia-ammattikorkeakoulun työtilaan. Yhteistyössä opinnäytetyön ohjaajan kanssa alettiin miettimään laitteiston toteutusta keväällä 2019.

Lähtökohtaisesti oli tarkoitus suunnitella sellainen järjestelmä, minkä avulla opiskelijat voivat suorittaa erilaisia patteriverkoston mittaus-, säätö- ja tasapainotusharjoituksia. Ensimmäisenä haasteena oli löytää opetustilasta sellainen paikka, mihin tämä järjestelmä mahtuisi ja missä sitä olisi ihanteellinen käyttää. Kun paikka oli lopulta valittu, niin alettiin suunnittelemaan putkistoa ja sen ympärille tarvittavia toimilaitteita ja muita putkistovarusteita. Putkisto laitteineen suunniteltiin Cads Hepac -ohjelmistoa hyödyntäen

Järjestelmä oli tarkoitus tehdä tämän päivän uusimpia innovaatioita ja komponentteja hyödyntäen. Aloimmekin seuraavaksi kartoittamaan mahdollisia yhteistyökumppaneita ja tavarantoimittajia. Putkistomateriaaliksi valitsimme Uponor komposiittiputken. Teimme tarvikeluettelon ja Uponor toimitti putket, liitimet ym. oheistarvikkeet suoraan koululle. Heidän kanssaan yhteistyö sujui vaivattomasti ja tavarantoimitus oli ripeää.

Seuraavaksi aloitimme suunnittelemaan, että minkälaisilla putkistovarusteilla tämä järjestelmä toteutetaan. Opinnäytetyömme ohjaaja kehotti meitä ottamaan yhteyttä IMI Hydronic Engineeringin aluemyyntipäällikkö Mikko Hynniseen. Hynninen oli aiemmin käynyt koululla luennoimassa juuri tästä, opinnäytetyömmekin keskeisimmästä aiheesta, eli kuinka saada vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä säädettyä tasapainoon. Otimme yhteyttä Hynniseen ja melko nopeasti totesimme, että yhteistyökumppani putkistovarusteiden osalta oli löytynyt.

Hynninen jakoi meille arvokkaita vinkkejä ja antoi omakohtaista näkemystä siitä, mitä kaikkea tämän järjestelmän ympärille on mahdollista ja kannattavaa suunnitella. Yhteistyössä Hynnisen kanssa saimme tehtyä massalistan putkistovarusteiden osalta ja hän toimitti varusteet suoraan koululle. Pala palalta järjestelmä kaasaantui ja meillä oli valmis putkistosuunnitelma, kaikkine materiaaleineen ja

laitteineen. Lopuksi ammattiopisto Riverian opiskelijat kokoonpanivat järjestelmän opetustilan seinälle määräysten ja ohjeiden mukaisesti.

Nyt meillä oli vesikiertoinen patterilämmitysjärjestelmän demonstraatiolaitteisto. Hynninen lupautui tulla koululle vielä opettamaan meitä, kuinka tätä modernia demonstraatiolaitteistoa säädetään ja tasapainotetaan nykyaikaisia menetelmiä hyödyntäen. Hynniseltä saimme todella arvokasta oppia ja alan johtavaa tietotaitoa yksityisopetuksena. Kiitos Mikolle ajastaan ja laadukkaasta opastuksestaan läpi opinnäytetyön toteutuksen.

Käyttöönottaessa laitteistoa kohtasimme muutamia ongelmia. Erityisesti tutustuttuamme tasapainotukseen omin neuvoin ilmeni laitteistossa olevien linjasäätöventtiilien olevan astetta liian isot, mutta laitteisto on tästä huolimatta tarkoitukseensa pätevä. Laitteisto on tehty helposti muutettavaksi, mikäli osat haluaa tulevaisuudessa vaihtaa.

Järjestelmästä laadittiin lämmitysverkoston tasapainotuksen oppimista varten monipuolisia harjoituksia, joiden avulla verkoston osien merkitys tulee konkreettisesti esille tulevilla talotekniikan laboratorio-opintojaksoilla. Järjestelmä on erittäin monikäyttöinen ja sitä on mahdollista helposti jalostaa ja kehittää tulevaisuudessa. Lisäämällä järjestelmään erilaisia säätölaitteita ja automaattioratkaisuja seuraavat opiskelijat voivat hyödyntää tätä järjestelmää tulevissa opinnäytetyöissä.

## Lähteet

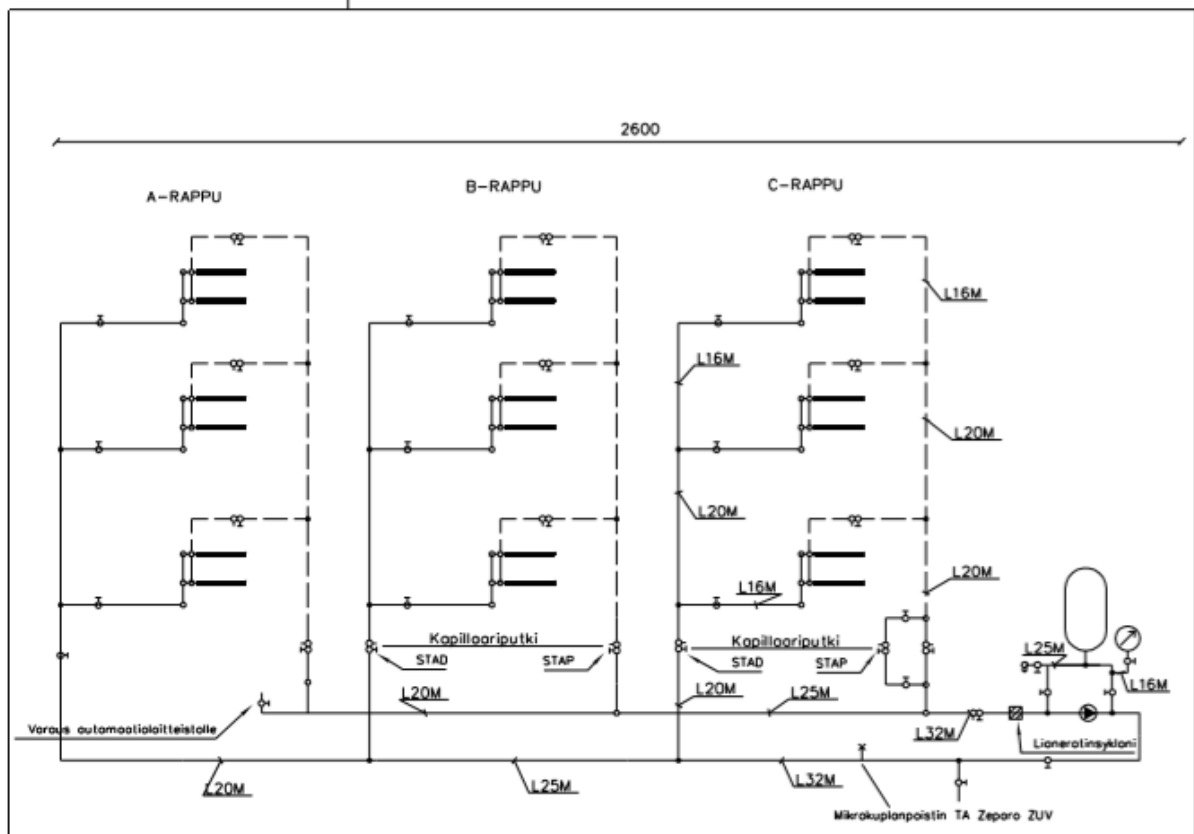
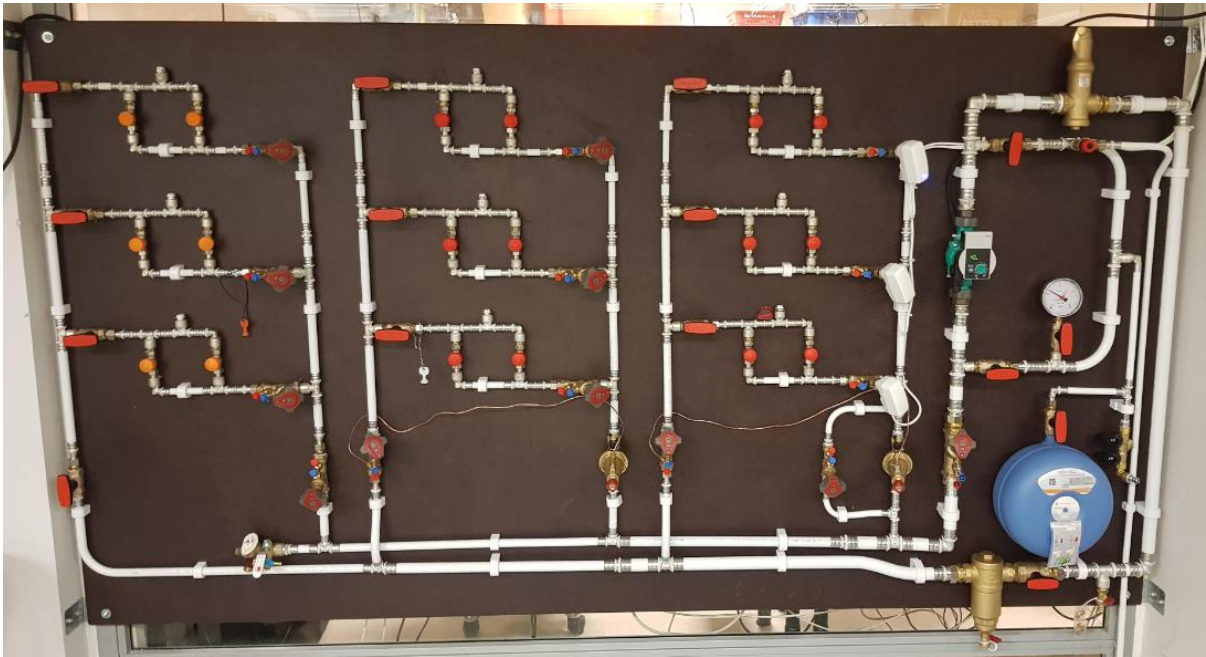
1. Suomen ympäristöopisto SYKLI. Lämmönlähteet. <https://www.ymparistoosaava.fi/kiinteistonhoitoala/index.php?k=22532>. 29.11.2019.
2. Rakennustieto Oy. Vesikiertoinen patterilämmitys. [https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/kirjastot/kirjasto/211/Kirjasto\\_tuotteet/6055.html](https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/kirjastot/kirjasto/211/Kirjasto_tuotteet/6055.html). 19.11.2019.
3. Onninen Oy. Kompo puristusleuka Uponor 16 mini 32. <https://onnshop.onninen.fi/uponor-kompo-puristusleuka-uponor-16-mini-32/p/ADV369>. 19.11.2019.
4. Taloon Yhtiöt Oy. Komposiittiputki Uponor 50x4,5 mm/5 m salko. <https://www.taloon.com/komposiittiputki-uponor-50x4-5-mm-5-m-salko/LVI-1720108/dp>). 19.11.2019.
5. Uponor Oyj. Komposiittijärjestelmän liittimet. <https://www.uponor.fi/tuotejarjestelmat/komposiitti/liittimet>. 19.11.2019.
6. IMI Hydronic Engineering. Termostaattinen patteriventtiili Eclipse. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/heimeier-thermostatic-control/termostaatit-ja-patteriventtiilit/termostaattiset-patteriventtiilit/Eclipse>. 19.11.2019.
7. IMI Hydronic Engineering. Termostaattinen patteriventtiili TRV-3 Calypso. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/heimeier-thermostatic-control/termostaatit-ja-patteriventtiilit/termostaattiset-patteriventtiilit/TRV-3-Calypso>. 19.11.2019.
8. IMI Hydronic Engineering. Sulkuventtiili Globo H. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/expert-system-components/sulkuventtiilit/palloventtiilit/Globo-H>. 19.11.2019.
9. IMI Hydronic Engineering. Linjasäätöventtiili STAD. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/linjasaatoventtiilit/linjasaatoventtiilit/STAD--PN-25/> 19.11.2019.
10. IMI Hydronic Engineering. Muuttuvien virtausnopeuksien säätö. <https://www.imi-hydronic.com/sites/de/de-at/Schulungcenter/Seminarthemen/Hydronik/Pages/Einregulierung-variable-Durchflussmengen.aspx>. 19.11.2019.
11. IMI Hydronic Engineering. Omavoimainen linjasäätöventtiili STAP. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/omavoimaiset-linjasaatoventtiilit/omavoimaiset-linjasaatoventtiilit/stap-dn-15-50/>. 19.11.2019.
12. IMI Hydronic Engineering. Säätöventtiili TBV-C. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/saatoventtiilit/maksimirajoitus-ja-saatoventtiilit/tbv-c>. 19.11.2019.
13. IMI Hydronic Engineering. Statico paisunta-astia. <http://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/Pneumatex---Pressurisation-and-Water-quality/Paineistus/Esipaineistetut-paisunta-astiat/Statico/>. 19.11.2019.
14. Oulun seudun ammattiopisto. Suljettu paisunta. Koulutusmateriaali. [http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/pientalon\\_lammitys/suljettu\\_paisunta.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/pientalon_lammitys/suljettu_paisunta.html). 19.11.2019.

15. Wilo Finland Oy. Tietolehti. Wilo Yonos Pico -pumppu. [https://wilo.com/fi/fi/Tuotteet-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6alueet/Mallisarjahaku/Yonos-PICO-25-1-6-130\\_7216.html](https://wilo.com/fi/fi/Tuotteet-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6alueet/Mallisarjahaku/Yonos-PICO-25-1-6-130_7216.html). 19.11.2019.
16. IMI Hydronic Engineering. Automaattinen ilmanpoistin Zeparo ZU. <http://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/Pneumatex---Pressurisation-and-Water-quality/Veden-laatu/Ilmausventtiili/Zeparo-ZU/>. 19.11.2019.
17. IMI Hydronic Engineering. Zeparo Cyclone lianerotin. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/Pneumatex---Pressurisation-and-Water-quality/Veden-laatu/Ilmausventtiili/Zeparo-Cyclone>. 19.11.2019.
18. IMI Hydronic Engineering. Mittalaitte TA-SCOPE. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/mittausvalineet/mittalaitteet>. 19.11.2019.
19. Motiva Oy. 2002. Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. <http://www.motiva.fi/files/781/perussaato-esite.pdf>. 7.11.2019.
20. IMI Hydronic Engineering. TA käsikirja: Patteriverkoston säätäminen. <http://vantarvi.fi/wp-content/uploads/2014/05/TA-K%C3%84SIKIRJA-Patteriverkoston-S%C3%A4%C3%A4t%C3%A4minen-2011.pdf>. 7.11.2019.
21. Motiva Oy. Milloin perussäätö on tarpeen toteuttaa. [https://www.motiva.fi/koti\\_ ja\\_ asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston\\_perussaato/milloin\\_verkoston\\_perussaato\\_on\\_tarpeen\\_toteuttaa](https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/taloyhtiot/patteriverkoston_perussaato/milloin_verkoston_perussaato_on_tarpeen_toteuttaa). 12.11.2019.
22. IMI Hydronic Engineering. Täydellisen säädön kolme perusedellytystä. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tietotaito/tekniset-artikkelit/teoria-/taydellisen-saadon-kolme-perusedellytysta>. 12.11.2019.
23. 1010/2017 Asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. Ympäristöministeriö. Helsinki. 2017. 17.11.2019.
24. Rakennustieto Oy. LVI-kortti 12-10343. Vesikiertoinen patterilämmitys. 2002. 17.11.2019.
25. Uponor Oyj. Uponor-komposiittikäsikirja, suunnittelu- ja asennusohje. 2018. S. 20. 19.11.2019.
26. Grundfos. Kv value. <https://uk.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/kv-value.html/>. 17.11.2019.
27. IMI Hydronic Engineering. STAD-linjasäätöventtiilin tuote-esite. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/linjasaatoventtiilit/linjasaatoventtiilit/STAD--PN-25/>. 17.11.2019.
28. IMI Hydronic Engineering. TRV-3 Calypso- patteriventtiilin tuote-esite. <https://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/heimier-thermostatic-control/termostaatit-ja-patteriventtiilit/termostaatit-patteriventtiilit/TRV-3-Calypso/>. 17.11.2019.
29. IMI Hydronic Engineering, Mikko Hynninen. Luentomateriaali. 18.11.2019
30. Rakennustieto Oy. LVI-kortti 11-10472. Paisuntajärjestelmän valinta ja mitoitus. 2011. 21.11.2019
31. IMI Hydronic Engineering. The TA Balance Method. <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/international/knowledge-centre/HydronicTheory/Pages/The-TA-Balance-Method%E2%80%8B.aspx>. 18.9.2019.



32. Rakennustieto Oy. LVI-kortti 41-10230. Lämmitysverkoston säätö. 1994. 21.11.2019
33. Gebwell Oy. G-Power pientalokeskukset. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohje. <https://gebwell.fi/wp-content/uploads/2019/07/G-Power-pientalokeskus-asennusohje.pdf>. 21.11.2019.

Patteriverkoston demonstraatiolaitteisto



## Laboratorioharjoitukset

- **Mittariin tutustuminen- harjoitus**
  - Harjoituksessa tutustutaan mittarin peruskäyttöön, sen toimintoihin ja verkoston mitattaviin venttiileihin.
- **Patteriventtiili Eclipse- harjoitus**
  - Harjoituksessa tutustutaan omavoimaiseen Eclipse patteriventtiilin ominaisuuksiin ja virtaamien mittaukseen ja laitteiden säätämiseen.
- **Venttiileiden esisäätöjen määrittäminen**
  - Harjoituksessa lasketaan verkoston painehäviöitä ja tehoja vastaavat esisäätöarvot patteri- ja linjasäätöventtiileille ja todennetaan laskelmat mittauksilla.
- **TA Diagnostic- menetelmä- harjoitus**
  - Harjoituksessa opetellaan HySelect-ohjelman käyttöä ja tasapainotetaan laitteisto TA Diagnostic- menetelmää käyttäen.
- **TA Wireless- menetelmä- harjoitus**
  - Harjoituksessa tasapainotetaan laitteisto TA Wireless- menetelmää käyttäen.