



Lauri Pylkkönen

Säätöventtiilit osana verkostoa: suunnitteluohje

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

25.04.2025

Tiivistelmä

Tekijä: Lauri Pylkkönen
Otsikko: Säästöventtiilit osana verkostoa: suunnitteluohje
Sivumäärä: 63 sivua + 4 liitettä
Aika: 25.04.2025

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Talotekniikka
Ammatillinen pääaine: LVI-suunnittelu
Ohjaajat: Operatiivinen johtaja Jussi Koskivainio
Yliopettaja Rauno Holopainen

Säästöventtiilit ovat merkittävä tekijä tasapainoisen ja tehokkaan verkoston kannalta. Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda suunnitteluohje erityisesti paineesta riippumattomille säästöventtiileille. Ohjeella pyritään selvittämään niiden käyttöönottoa LVI-järjestelmien suunnittelussa ja toteutuksessa.

Opinnäytetyössä hyödynnettiin alaan ja aiheeseen liittyvien aineistojen ja kirjallisuuden analysointia ja referointia. Haastateltiin myös johtavia asiantuntijoita, jotka ovat työskennelleet paineesta riippumattomien säästöventtiilien parissa. Lisäksi käytettiin laskenta- ja suunnitteluohjelmistoja, kuten Exceliä ja MagiCADia.

Opinnäytetyössä on esitetty, mitä keskeisiä asioita ja muuttuvia tekijöitä tulee ottaa huomioon säästöventtiilien ja säädettävän verkoston suunnittelussa, mitoituksessa ja toteutuksessa. Lisäksi koottiin yhteen tietoa erilaisista paineesta riippumattomista säästöventtiileistä, niiden toiminnasta, hyödyistä ja haasteista.

Opinnäytetyön keskeisenä tuloksena syntyi suunnitteluohje, joka koostuu erilaisista mitoitus-esimerkeistä. Mitoitus-esimerkit käsittelevät kattosäteilijän sekä säästöventtiilien mitoitusta ja valintaa. Suunnitteluohjetta voidaan hyödyntää säästöventtiilien opiskelussa, suunnittelussa ja toteutuksessa.

Avainsanat: säästöventtiili, paineesta riippumaton säästöventtiili, talotekniikka, LVIA

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Lauri Pylkkönen
Title: Design Guide for Control Valves
Number of Pages: 63 pages + 4 appendices
Date: 25 April 2025

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Building Services Engineering
Professional Major: HVAC Design
Supervisors: Jussi Koskivainio, Operations Manager
Rauno Holopainen, Principal Lecturer

The aim of this final year project was to develop a design guide for control valves, with particular emphasis on pressure-independent control valves. These valves simplify system balancing and maintenance, while also improving the design, implementation, measurement, and adjustment of systems. The guide was intended to serve as a resource for HVAC system planning and implementation.

The bachelor's thesis was based on the analysis of relevant literature and technical materials. Practical insights were gathered through interviews with professionals experienced in pressure-independent control valves. Additionally, calculation and design tools such as Excel and MagiCAD were used to support the technical aspects of the thesis.

The thesis resulted in a design guide outlining key concepts for the design, sizing, and implementation of control valves and adjustable HVAC systems. Furthermore, the thesis provided insights into various types of pressure-independent control valves, examining their functionality, advantages, and challenges. This contributes to a better understanding of how these valves can improve system performance.

Keywords: pressure independent control valve, building services, HVAC

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	7
1.1	Tausta	7
1.2	Tavoitteet ja rajaus	7
1.3	Menetelmät	8
2	Energiatehokkuusdirektiivi	8
3	Rakennuksen tehontarve	10
4	Säätöventtiili	12
4.1	Yleistä	12
4.2	Säätöventtiilin valinta	13
4.2.1	Virtaama	14
4.2.2	Kapasiteettikerroin	18
4.2.3	Vaikutusaste β	19
4.2.4	Säätöalue S_v	20
4.3	Pumpun mitoitus	20
4.4	Ominaiskäyrät	21
4.4.1	Säätöventtiin perusominaiskäyrä	21
4.4.2	Lämmönluovuttimen ominaiskäyrä	22
4.4.3	Säätöpiirin kokonaisominaiskäyrä	23
5	Paineesta riippumaton säätöventtiili	24
5.1	Yleistä	24
5.2	Toiminta	25
5.2.1	Mekaaninen paineriippumaton säätöventtiili	26
5.2.2	Elektroninen paineriippumaton säätöventtiili	28
5.2.3	Energiaventtiili	29
5.2.4	Paineriippumaton 6-tiesäätöpalloventtiili	30
5.2.5	Toimilaite	32
5.3	Hyödyt	33
5.4	Haasteet	36
6	Suunnitteluohje	37

6.1	Mitoitus	37
6.2	Mitoitusesimerkki kattosäteilijä	38
6.3	Mitoitusesimerkki paineesta riippuvainen säätöventtiili	40
6.3.1	Säätöventtiilin mitoitus	40
6.3.2	Verkoston toteutus	43
6.3.3	Asennus	44
6.3.4	Mittaus ja säätö	44
6.4	Mitoitusesimerkki paineesta riippumaton säätöventtiili	48
6.4.1	Säätöventtiilin mitoitus	48
6.4.2	Verkoston toteutus	49
7	Haastattelut	50
7.1	Suunnittelu ja mitoitus	50
7.2	Toteutus	51
7.3	Hyödyt	54
7.4	Haasteet	55
8	Yhteenveto	58
	Lähteet	60
	Liitteet	
	Liite 1: Mitoitusesimerkki kattosäteilijä	
	Liite 2: Mitoitusesimerkki paineesta riippuvainen säätöventtiili	
	Liite 3: Mitoitusesimerkki paineesta riippumaton säätöventtiili	
	Liite 4: Haastattelujen kysymykset	

Lyhenteet

- EPBD: *Energy Performance of Buildings Directive*. Euroopan Unionin rakennusten energiatehokkuusdirektiivi 2024/1275, jonka tavoitteena on vähentää kiinteistöjen päästöjä ja energian loppukulutusta.
- EPIV: *Electronic Pressure Independent Control Valve*. Elektroninen paine-riippumaton säätöventtiili.
- K_v -arvo: Kapasiteettikerroin. Kuvaa venttiilin läpi virtaavan aineen maksimimäärää (m^3/h) tietyllä venttiilin painehäviöllä.
- LVIA: Lämpö, vesi, ilma, automaatio. Talotekniikan lämmitys-, vesi- ja viemäri-, ilmanvaihto- ja automaatiojärjestelmät.
- NFC: *Near Field Communication*. Lähiluennan standardi, joka luotiin mahdollistamaan RFID tekniikan helppoa hyödyntämistä.
- PIBCV: *Pressure Independent Balancing and Control Valve*. Paineesta riippumaton linjasäätö- ja säätöventtiili.
- PICV: *Pressure Independent Control Valve*. Paineesta riippumaton säätöventtiili.
- PIQCV: *Pressure Independent Quick Compact Valve*. Mekaaninen paineriippumaton säätöventtiili.
- RFID: *Radio Frequency Identification*. Radiotaajuinen etätunnistus tiedon etälukuun ja -tallentamiseen.
- SRI: *Smart Readiness Indicator*. Rakennusten älyindikaattori. Arviointityökalu, jonka avulla mitataan ja arvioidaan rakennusten älyvalmiutta sekä miten energiatehokkuutta voisi parantaa sen avulla.

1 Johdanto

Insinööriyössä tutkitaan paineesta riippumattomien säätöventtiilien toimintaa ja mitoitusta verrattuna perinteisiin paineesta riippuvaisiin säätöventtiileihin.

Työssä perehdytään erityisesti paineesta riippumattomien säätöventtiilien toimintoihin, hyötyihin ja haasteisiin sekä siihen, miten säätöventtiilit eroavat toisistaan. Työssä esitetään asioita, jotka tulee ottaa huomioon LVI-suunnittelussa käytettäessä paineesta riippumattomia tai paineesta riippuvaisia säätöventtiileitä.

1.1 Tausta

Työn tilaajana on Belimo Finland Oy, joka on osa monikansallista Belimo AG -konsernia. Yrityksen toimitusjohtajana toimii tällä hetkellä Tero Mehtälä. Belimo kehittää, tuottaa ja myy markkinoille energiatehokkaita lämmitys-, ilmanvaihto- sekä ilmastointijärjestelmien ohjaukseen käytettäviä kenttälaitteita. Yrityksen tuotteita ovat muun muassa talotekniikassa ja rakennusautomaatiossa käytettävät venttiilit, toimilaitteet, anturit ja mittarit sekä järjestelmäratkaisut. Ratkaisujen tavoitteena on energiatehokkuuden lisääminen, mukavuuden optimoiminen sekä rakennuksen parhaan mahdollisen suorituskyvyn saavuttaminen. [1.]

Työn taustalla ovat muun muassa Euroopan unionin energiatehokkuusdirektiivi 2024/1275 (EPBD), direktiivissä kehitetty rakennusten älyindikaattori eli Smart Readiness Indicator (SRI) sekä näitä tukeva standardi EN ISO 52120. Nämä tukevat korostamaan energiatehokkuutta lisäävien ratkaisujen luomista ja toteuttamista. Dynaamiset, energiatehokkaat ja älykkäät paineesta riippumattomat säätöventtiilit tarjoavat ratkaisuja siihen.

1.2 Tavoitteet ja rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena on laatia suunnitteluohje säätöventtiileille, jota voidaan hyödyntää lämmitys- ja jäähdytysverkoston suunnittelussa. Työssä pyritään erityisesti kokoamaan tietoa paineesta riippumattomista säätöventtiileistä.

Työ rajataan käsittelemään LVIA-suunnittelua uudisrakennuksissa lämmönsiirtimen toisiopuolella lämmitys- ja jäähdytysverkostossa Belimon säätöventtiileillä ja ominaisuuksilla.

1.3 Menetelmät

Tutkielmassa perehdytään aiheeseen liittyviin aineistoihin ja kirjallisuuteen analysoiden ja referoiden. Suunnitteluohjeen mitoitusesimerkeissä syvennyttään lämmitys- ja jäähdytyskäyttöön tulevan kattosäteilijän mitoitukseen, jonka verkostossa käytetään esimerkkeinä niin paineesta riippuvaisia, kuin paineesta riippumattomia säätöventtiileitä. Mitoitusesimerkeissä hyödynnetään laskenta- ja suunnitteluohjelmistoja, kuten Exceliä ja MagiCADia. Lisäksi järjestetään haastatteluja asiantuntijoiden kanssa, jotka ovat suunnitelleet ja toteuttaneet LVI-järjestelmiä, joissa on käytetty paineesta riippumattomia säätöventtiileitä.

2 Energiatehokkuusdirektiivi

Euroopan unionin uusi energiatehokkuusdirektiivi (EPBD) EU/2024/1275 tuli voimaan 28. toukokuuta 2024, ja jäsenvaltioiden on toimeenpantava se lainsäädäntöönsä 29. toukokuuta 2026 mennessä. Direktiivin tavoitteena on parantaa rakennusten energiatehokkuutta sekä lisätä uusiutuvan energian käyttöä ja rakennuksen älyvalmiutta. Näillä toimilla pyritään vähentämään rakennuksista aiheutuvia kasvihuonepäästöjä ja pienentämään energian loppukulutusta vuoteen 2030 mennessä. Pitkän tähtäimen tavoitteena on, että rakennuskanta olisi päästötöntä vuoteen 2050 mennessä. [2; 3.]

Direktiivissä noudatetaan energiatehokkuus etusijalle -periaatetta, jonka mukaan on otettava mahdollisimman hyvin huomioon kustannustehokkaat energiatehokkuustoimenpiteet energian säästössä. Periaatteen soveltamiseen kuuluu muun muassa energian muuntamisen, siirtämisen ja jakelun tehostaminen. [2.] Yksi ratkaisu siihen on energiatehokkaiden säätöventtiilien, kuten paineesta riippumattomien käyttö lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien verkostoissa.

Direktiivin artikla 13 käsittelee rakennusten teknisiä järjestelmiä ja vähimmäisvaatimuksia, jotka edellytetään energiatehokkuuden saavuttamiseksi ja arvioimiseksi. Artikla korostaa tarvetta varustaa rakennukset asianmukaisilla automaatio- ja ohjausjärjestelmillä energiatehokkuuden jatkuvan seurannan ja tehostamisen mahdollistamiseksi. Lisäksi kun teknisiä järjestelmiä uusitaan ja päivitetään, ne on tehtävä energiatehokkuutta parantavalla tavalla ja niiden on täytettävä uusimmat energiatehokkuuden standardit. Artiklan 13 kohdan 3 mukaan uudet rakennukset ovat, siltä osin kuin se on teknillisesti ja taloudellisesti toteutettavissa, varustettava itsesäätyvillä laitteilla, jotka säätelevät huonekohtaisesti lämpötilaa ja mahdollistavat tarvittaessa vesikierron tasapainotuksen. [2, s. 30.]

Direktiivin artiklassa 15 Rakennusten älyratkaisuvalmius sekä liitteessä IV määrittellään rakennusten älyindikaattorimenetelmä (SRI) ja sen käyttöönotto. SRI on ikään kuin työkalu, jonka avulla voidaan mitata ja arvioida rakennusten älyvalmiutta sekä tarkastella, miten energiatehokkuutta voisi parantaa sen avulla. Siihen sisällytetään rakennuksen digitaalinen kaksoinen, joka käsittelee antureista, älykkäistä mittareista ja muista lähteistä peräisin olevaa reaaliaikaista dataa rakennuksen toiminnasta ja energiatehokkuudesta. Rakennusautomaation ja digitaalisen kaksoisen avulla voidaan seurata ja hallita muun muassa rakennuksen energiankulutusta, lämpötilaa, kosteutta ja käyttöastetta. [2, s. 34, 58.]

Direktiivin artikla 19 Energiatehokkuustodistukset tuo voimaan rakennuksille tai niiden osille, joita rakennetaan, myydään tai vuokrataan, energiatehokkuustodistuksen laatimisen. Todistuksessa esitetään rakennuksen energiatehokkuus primäärienergiankäytön indikaattorilla (kWh/m²/vuosi). Lisäksi siinä esitetään vertailuarvoja, joiden avulla voidaan arvioida rakennuksen energiatehokkuutta. Vertailuarvoina käytetään esimerkiksi energiatehokkuuden vähimmäisvaatimuksia sekä lähes nollaenergia tai päästöttömiä rakennuksia koskevia vaatimuksia. [2, s. 39.]

Energiatehokkuusluokka ilmaistaan kirjaimin A–G, jossa A vastaa päästötöntä rakennusta ja G energiatehokkuudeltaan kansallisen rakennuskannan kaikkein heikointa rakennusta. Jäsenvaltiot voivat myös määrittellä

energiatehokkuusluokan A+, jolla ilmaistaan rakennusta, jonka energiantarve on vähintään 20 % alhaisempi kuin päästöttömien rakennusten. Lisäksi rakennus tuottaa vuosittain enemmän energiaa kuin sen vuotuinen kokonaisenergian tarve on. Energiatehokkuustodistus voi olla voimassa enintään kymmenen vuotta. [2, s. 39.]

3 Rakennuksen tehontarve

Uusien rakennusten tehontarpeet lämmitykselle ja jäähdytykselle määritellään ympäristöministeriön laatiman asetuksen Uuden rakennuksen energiatehokkuus 1010/2017 mukaan [4]. Rakennuksen tehontarpeen laskentaan käytetään ympäristöministeriön ohjetta Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta 2018 [5]. Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittamiseen käytetään ympäristöministeriön tasauslaskentaopasta 2018 [6]. Rakennusten energiatekniikka -kirjaan vuodelta 2024 on koottu kattavasti tietoa rakennusten ja LVIA-järjestelmien energiankäytöstä, energiatehokkuudesta sekä uusiutuvan energialähteiden hyödyntämisestä. Teoksessa käsitellään myös rakennuksen energialaskennan menetelmiä [7].

Energiateollisuuden Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet -julkaisussa K1/2021 on esitetty perusvaatimukset, joita on noudatettava rakennuksen liittyessä kaukolämmityksen piiriin. Eli erityisesti lämmönsiirtimen ensiöpuolelle liitettävien tai liitettyjen laitteiden suunnittelussa, asennuksessa, korjaus- ja muutostöissä, kuten säätöventtiilien. Se sisältää myös kattavasti tietoa lämmitysjärjestelmän verkoston suunnittelusta ja mitoituksesta. [8.]

Rakennuksen tehontarpeeseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa rakennuksen sijainti ja ilmasto. Rakennuksen koko, muoto, rakenteet, rakenteiden U-arvot ja lämmöneristys. Mitä kylmemmät tai kuumemmat ovat ilmasto-olosuhteet tai mitä suurempi ja monimuotoinen rakennus on, sitä enemmän se tarvitsee lämmitystä ja jäähdytystä. Talotekniikka luo ja tuo ratkaisuja tähän. [4; 5; 6; 7.]

Rakennuksen lämpöhäviöön vaikuttavat muun muassa rakennuksen ilmapuoto, ikkunoiden koko ja laatu sekä kylmäsiilat, joita pitää paikata lämmityksellä. Hyvä ja laadukas lämmöneristys puolestaan vähentää lämmitystarvetta, koska se estää lämpöä karkaamasta ja kylmää ilmaa tulemasta sisään. Sisäiset lämpökuormat, kuten ihmiset, laitteet ja valaistus, voivat hetkellisesti vähentää lämmitystarvetta. [4; 5; 6; 7.]

Rakennuksen jäähdytystehontarpeeseen merkittävimpiä vaikuttavia tekijöitä puolestaan ovat auringonsäteily, ikkunoiden suuntaus, koko ja laatu. Ikkunat, jotka ovat suuria ja suuntautuvat etelään tai länteen ilman varjostusta lisäävät merkittävästi jäähdytystarvetta. Sisäiset lämpökuormat tuottavat paljon lämpöä, joten mitä enemmän niitä on, sitä enemmän on jäähdytyksentarve. [4; 5; 6; 7.]

Lämmöntalteenotolla (LTO) saadaan siirrettyä poistoilman lämpöä tuloilmaan, joka säästää energiaa. Hyvällä ilmanvaihdolla voidaan vähentää jäähdytyksen tehontarvetta, koska se viilentää tilan ilmaa. Rakennusautomaatiolla (RAU) voidaan ajastaa, ohjata ja mitata LVI-laitteiden toimintaa. [4; 5; 6; 7.]

Rakennuksen tehontarpeen laskentaan on mahdollista käyttää energiasimulointiohjelmistoja, kuten IDAICEa. Sopivien jäähdytys- ja lämmityslaitteiden sekä säätöventtiilien mitoittamiseen ja valintaan on valmistajien kotisivuilla olemassa mitoitusohjelmia, joita voi hyödyntää suunnittelun tueksi. Tietokoneavusteisilla suunnitteluohjelmilla eli CAD-ohjelmilla piirretään, simuloidaan ja tietomallinnetaan rakennus, sen rakenteet, talotekniikan järjestelmät ja verkostot.

Rakennuksen lämmitys- ja jäähdytyslaitteiden tehoon vaikuttavat erityisesti mitoituksessa mitoituslämpötilat. Esimerkiksi jäähdytyksessä matala lämpötila mahdollistaa parhaimman tehontuotannon, mutta matalissa lämpötiloissa on kondenssiriski kastepisteen takia. Tämän vuoksi jäähdytyksessä suositetaan mitoituslämpötiloina esimerkiksi 15/18 tai 14/17, kun huonelämpötila on 25 °C.

Kastepiste on lämpötila, jossa jäähdytetty ilmassa saavuttaa vesihöyryn kylästympisteen eli ilman suhteellinen kosteus on 100 %. Kastepiste riippuu huoneen suhteellisesta kosteudesta (RH). Mitä lähempänä se on kastepistettä, sitä

kosteampaa ilma on. Kondenssi kuvaa tätä prosessia, jossa vesihöyry muuttuu nestemäiseksi vedeksi. Kun ilman lämpötila laskee kastepisteen alle, niin vesihöyry alkaa tiivistyä nesteeksi ja muodostaa pisaroita. [9, s. 7.]

4 Säätöventtiili

4.1 Yleistä

Säätöventtiilillä säädetään sen läpi kulkevan väliaineen, kuten nesteen, kaasun tai höyryn määrää. Säätöventtiili voi olla auki/kiinni -toiminen tai jatkuvasäätötoiminen. Se voidaan varustaa toimilaitteella, joka ohjaa sen toimintaa muuttamalla säätöventtiilin karan asentoa. Toimilaitte voi olla omavoimainen tai ulkoista energiaa käyttävä. [10; 11.]

Säätöventtiileitä käytetään monipuolisesti rakennusten LVI-järjestelmissä esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytysverkoston virtaamien säätämiseen. Säätöventtiilit ovat merkittäviä lämmönsiirtimien ja lämmönluovuttimien välisessä verkostossa, kuten esimerkiksi kattosäteilijät, lämmityspatterit ja ilmanvaihtokoneet. Ne takaavat järjestelmän ja verkoston toimintaa ja tehokkuutta. Ne tasapainottavat verkostoa sekä ylläpitävät mitoitusvirtaamaa ja sen myötä tehoa. Työssä käsitellään paineesta riippuvaisia ja paineesta riippumattomia säätöventtiileitä.

Säätöventtiilien sallitut vuotoluokat on määritetty eurooppalaisessa standardissa EN 12266-1 Teollisuusventtiilit – Venttiilien testaus – Osa 1: Painetestit, testausmenetelmät ja hyväksymiskriteerit, pakolliset vaatimukset. Standardi on vuodelta 2012 ja on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. Taulukossa 1 on esitetty standardin SFS-EN 12266-1 vuotoluokat ja niiden suurimmat sallitut tiivistevuodot putkien nimellisestä sisähalkaisijasta (DN). [12, s. 15.]

Taulukko 1. Vuotoluokkien suurin sallittu tiivistevuoto standardin SFS-EN 12266-1 mukaan. Yksikkö on mm³/s. [12, s. 15.]

Testin väliaine	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D	Luokka E	Luokka F	Luokka G
Neste	Ei havaittua vuotoa testin aikana	0,01 x DN	0,03 x DN	0,1 x DN	0,3 x DN	1,0 x DN	2,0 x DN
Kaasu		0,3 x DN	3,0 x DN	30 x DN	300 x DN	3 000 x DN	6 000 x DN

Taulukossa 2 on esitetty The Association of German Engineers standardin VDI/VDE 2174 sallitut vuodot eri venttiilityyppien k_{VS} -arvosta. [10, s. 7.]

Taulukko 2. Venttiilien suurimmat sallitut vuodot VDI/VDE 2174 mukaan [10].

Venttiilin tyyppi	Suurin sallittu vuoto prosentteina (%) k_{VS} -arvosta
Kaksitieventtiili	
- yksi-istukkaiset	0,02
- kaksi-istukkaiset	0,5
Kolmitieventtiilit	2

4.2 Säätoventtiilin valinta

Perinteisesti säätoventtiilin mitoitus voidaan tehdä, kun tiedetään venttiilin läpimenevä mitoitusvirtaama q_v ja venttiilin painehäviö Δp_v . Näillä tiedoilla voidaan laskea mitoituslaitteen kapasiteettikerroin eli k_v -arvo, jonka perusteella valitaan sitä sopivin säätoventtiili k_{VS} -arvoltaan. Julkaisun K1/2021 mukaan käyttöveden säätoventtiiliksi valitaan yleensä k_{VS} -arvoltaan seuraavaksi pienempi ja lämmityspiirin säätoventtiiliksi seuraavaksi suurempi venttiili. Säätoventtiilin mitoituksessa ja valinnassa voidaan käyttää tueksi venttiilivalmistajien mitoitusohjelmia, kuten esimerkiksi Belimon kotisivuilta osiosta ”Venttiilin mitoitus ja valinta”. [8, s. 16; 10, s. 26; 13.]

Tavoitellessa parasta säätötulosta, on lisäksi otettava huomioon

- venttiilin perusominaiskäyrä
- venttiilin vaikutusaste
- venttiilin säätöalue
- venttiilin tiiviys
- venttiilin oikea sijoitus ja asennus
- säädettävän lämmönluovuttimen ominaiskäyrä
- toimilaitteen sopivuus venttiilille ja säädettävään prosessiin
- prosessia mittaavien antureiden oikea sijoitus ja asennus [10, s. 2].

4.2.1 Virtaama

Putkistoissa ja kanavissa nesteen virtaus on laminaarista, turbulenttista tai niiden välillä. Laminaarinen virtaus on tasaista, eivätkä nesteen eri kerrokset sekoitu keskenään. Sitä esiintyy yleensä matalilla virtausnopeuksilla, ja virtaavan nesteen viskositeetti on suuri. Turbulenttinen virtaus on epätasaista ja pyörteistä, ja siinä nesteen eri kerrokset sekoittuvat keskenään. Sitä esiintyy yleensä suurilla virtausnopeuksilla, ja virtaavan nesteen viskositeetti on matala.

Viskositeetti on niin sanotusti nesteen sisäinen kitka, joka kuvaa sen kykyä vastustaa virtausta, kun siihen kohdistetaan voimaa. Kun aineen viskositeetti on korkea niin neste virtaa hitaasti, ja kun se on matala niin neste virtaa nopeasti. Virtauksen luonne voidaan ilmaista pyöreälle putkelle Reynoldsin luvun avulla. Kun luku on pienempi kuin $2\,300 \sim 2\,000$, niin virtaus on laminaarista. Kun luku on yli $4\,000$, niin virtaus on turbulenttista. [14.]

Reynoldsin luku (Re) voidaan laskea kaavalla 1.

$$Re = \frac{v \cdot d_s}{\nu} \quad (1)$$

v on virtaavan aineen keskimääräinen nopeus, m/s

d_s on pyöreän putken sisähalkaisija, m

ν on virtaaman aineen kinemaattinen viskositeetti, m^2/s

Virtaavan aineen keskimääräinen nopeus voidaan laskea kaavalla 2.

$$v = \frac{q_v}{A} \quad (2)$$

v on virtaavan aineen virtausnopeus, m/s

q_v on tilavuusvirta, m³/s

A on virtauspoikkipinta-ala, m²

Pyöreän putken poikkipinta-ala voidaan laskea kaavalla 3.

$$A = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \quad (3)$$

A on pyöreän putken poikkipinta-ala, m²

π on pii, -

d_s on pyöreän putken sisähalkaisija, m

Virtaavan aineen tilavuusvirta voidaan laskea kaavalla 4.

$$q_v = A \cdot v \quad (4)$$

q_v on tilavuusvirta, m³/s

A on virtauspoikkipinta-ala, m²

v on virtaavan aineen virtausnopeus, m/s

Virtaavan aineen massavirta voidaan laskea kaavalla 5.

$$q_m = \rho \cdot q_v \quad (5)$$

q_m on massavirta, kg/s

ρ on virtaavan aineen tiheys, kg/m³

q_v on tilavuusvirta, m³/s

Mitoitusvirtaama voidaan laskea kaavalla 6.

$$q_v = \frac{\Phi}{\Delta T \cdot c_p \cdot \rho} \quad (6)$$

q_v on mitoitusvirtaama, l/s

\dot{Q} on lämmönsiirtimen teho, kW

ΔT on virtaavan aineen lämpötilan muutos, °C

c_p on virtaavan aineen ominaislämpökapasiteetti, kJ/kg°C

ρ on virtaavan aineen tiheys, kg/l

Esimerkiksi veden ominaislämpökapasiteetti on 4,199 kJ/kg°C ja tiheys on 0,970 kg/l, kun veden lämpötila on 43 °C ja paine on 100 kPa. Nämä arvot siis muuttuvat suhteessa toisiinsa lämpötilan ja paineen muuttuessa.

Virtaavan aineen lämpötilan muutos saadaan lämmönlähteeltä lämmitysjärjestelmään kiertävän menevän aineen lämpötilan T_m ja lämmönlähteelle palaavan aineen lämpötilan T_p erotuksesta. Kiertopiirin mitoituslämpötilat esitetään useimmiten muodossa T_m / T_p . [8, s. 80.]

Lämpötilan muutos voidaan laskea kaavalla 7.

$$\Delta T = T_m - T_p \quad (7)$$

ΔT on virtaavan aineen lämpötilan muutos, °C

T_m on virtaavan aineen menolämpötila, °C

T_p on virtaavan aineen paluulämpötila, °C

Mitoituslämpötila esimerkiksi kattosäteilijälle voidaan laskea kaavalla 8.

$$\Delta t = \left| \left(\frac{t_1 - t_2}{2} \right) - t_i \right| \quad (8)$$

Δt on mitoituslämpötila, °C

t_1 on virtaavan aineen menolämpötila, °C

t_2 on virtaavan aineen paluulämpötila, °C

t_i on huonelämpötila, °C

Taulukkoon 3 on koottu lämmönsiirtimien mitoitusvaatimukset uudisrakennuksissa Energiateollisuuden Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet julkaisun K1/2021 mukaan.

Taulukko 3. Lämmönsiirtimien mitoitusvaatimukset uudisrakennuksissa Energiateollisuuden Rakennusten kaukolämmitys määräykset ja ohjeet julkaisun K1/2021 mukaan [8].

Lämmönsiirtimien mitoituslämpötilat °C				
Uudet rakennukset	ENSIÖ		TOISIO	
	TULO	PALUU	LVI-suunnittelija mitoittaa järjestelmät siten, että	
Lämmityksen ja ilmanvaihdon lämmönsiirtimet	90 °C (max)	33 °C (max)	<ul style="list-style-type: none"> menolämpötila on enintään 60 °C paluulämpötila on enintään 30 °C. 	
Huomautus	<p>Ensiöpuolen paluulämpötila saa olla enintään 3 °C korkeampi kuin toisiopuolen paluulämpötila.</p> <p>Lämmitysverkon paluulämpötilan mitoitusarvo valitaan siten, että kaukolämpöverkkoon palaavan kaukolämpöveden lämpötila on enintään 33 °C.</p> <p>Lämmitysverkoston menolämpötilaksi suositellaan mahdollisimman alhaista lämpötilaa, koska tavoitteena on lämmitysverkoston hyvä säädettävyys ja energiatehokkuus.</p> <p>LVI-suunnittelijan tulee tarkistaa käytettävät ensiöpuolen mitoituslämpötilat aina lämmönmyyjältä.</p>			
Käyttöveden lämmönsiirtimet	TULO	PALUU	KYLMÄ VESI	LÄMMIN VESI
Mitoituslämpötilat	70 °C	20 °C (max)	10 °C	58 °C (min)
Huomautus	<p>Lämpimän käyttöveden lämpötilan tulee olla yli 55 °C koko järjestelmässä [YM asetus 1047/2017 6 §].</p> <p>Lämminvesilaitteistosta saatavan veden lämpötila saa olla korkeintaan 65 °C [YM asetus 1047/2017 6 §].</p>			
Mitoituspainehäviöt kPa				
Suurimmat sallitut painehäviöt			ENSIÖ	TOISIO
Käyttövesisiirtimet			20 kPa	50 kPa
Muut siirtimet			20 kPa	20 kPa
Putkistot ja varusteet (lukuun ottamatta julkaisun K1/2021 kohta 15.5)			5 kPa	5 kPa

4.2.2 Kapasiteettikerroin

Kapasiteettikertoimen k_v -arvo kuvaa kuinka suuri virtaama (m^3) virtaa venttiilin läpi yhden tunnin aikana, kun paine-ero on 1 bar eli 100 kPa. Kapasiteettikertoimella k_{vs} (m^3/h) venttiilivalmistavat ilmoittavat kuinka suuri vesimäärä virtaa venttiilin läpi sen ollessa täysin auki ja paine-eron ollessa 1 bar eli 100 kPa. k_{vs} -arvot ovat esitetty venttiilien teknillisissä tiedoissa. Venttiiliksi valitaan mitoitusseen se, jonka k_{vs} -arvo vastaa sopivin mitoitusilanteen k_v -arvoa. [10, s. 4–6.]

Kapasiteettikertoimen k_v -arvo voidaan laskea kaavalla 9.

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (9)$$

k_v on venttiilin kapasiteettikerroin, m^3/h

q_v on mitoitusvirtaama, m^3/h

Δp on venttiilin painehäviö, bar

Kun on tiedossa venttiilin mitoitusvirtaama sekä k_{vs} -arvo, voidaan venttiilin painehäviö laskea kaavalla 10.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{q_v}{k_{vs}} \right)^2 \quad (10)$$

Δp_{sv} on venttiilin painehäviö, bar

q_v on mitoitusvirtaama, m^3/h

k_{vs} on venttiilin kapasiteettikerroin, m^3/h

Talotekniikassa käytetään yleensä yksikköinä virtaamana litraa sekunnissa (l/s) ja paineena Pascalia (Pa). Kapasiteettikerroin voidaan laskea näillä yksiköillä, kun se lasketaan SI-järjestelmän yksikkömuunnosten mukaisesti kaavalla 11.

$$k_v = \frac{36 \cdot q_v}{\sqrt{\Delta p}} \quad (11)$$

k_v on venttiilin kapasiteettikerroin, m^3/h

q_v on mitoitusvirtaama, l/s

Δp on venttiilin painehäviö, kPa

Vastaavasti voidaan venttiilin painehäviö laskea näillä yksiköillä kaavalla 12.

$$\Delta p_{sv} = \left(\frac{36 \cdot q_v}{k_{vs}} \right)^2 \quad (12)$$

Δp_{sv} on venttiilin painehäviö, kPa

q_v on mitoitusvirtaama, l/s

k_{vs} on venttiilin kapasiteettikerroin, m³/h

4.2.3 Vaikutusaste β

Venttiilin vaikutusaste β eli auktoriteetti kuvaa venttiilin painehäviön suhdetta säädettävän kiertopiirin painehäviöön. Vaikutusasteella tarkoitetaan käytännössä venttiilin toimivuutta sen säätöpiirin verkoston osassa. Yleissääntönä pidetään, että venttiilin painehäviön tulee olla vähintään samansuuruinen sen vaikutuspiirissä olevan verkoston painehäviön kanssa mitoitusvirtaamalla. Lisäksi auktoriteetin tulisi olla vähintään puolet säätöpiirin kokonaispainehäviöstä eli suurempi kuin 0,5. Huomioitavaa on, ettei vaikutusaste ole riippuvainen vain venttiilin ominaisuksista vaan myös verkostosta, johon se asennetaan. Saavuttaakseen mahdollisimman hyvän säätötarkkuuden, tulee tapauskohtaisesti määrittää säätöpiirin kokonaisominaiskäyrä eli venttiilin perusominaiskäyrä ja säätökäyrä sekä lämmönluovuttimen ominaiskäyrä. [8, s. 16; 10, s. 27.]

Auktoriteetti lukema voidaan laskea kaavalla 13.

$$\beta = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_v + \Delta p} \quad (13)$$

β on venttiilin auktoriteetti, -

Δp_v on venttiilin painehäviö, kPa

Δp on muun säädettävän piirin painehäviö, kPa

Jos auktoriteetti alittaa arvon 0,5, voivat painevaihtelut huojuttaa säätöä ja vaikuttaa virtaamaan. Tällöin on esimerkiksi käytettävä paine-erosäädintä tai selvitetty onko säätöventtiilissä, mitoituslämpötiloissa, paine-eroissa tai lämmönluovuttimen valinnassa muutoksen varaa, jotta saadaan valittua sopiva

säätöventtiili. Samalla selvittävää voidaan kytkeä kaksi säätöventtiiliä rinnan avautumaan sarjassa, ensin pienempi ja sen jälkeen isompi. Tässä tapauksessa tehdään laskelmat, mitkä venttiilit k_{vs} -arvoltaan summassa täyttävät auktoriteetin vaatimuksen lukeman. Viime kädessä luotetaan siihen, että säätöventtiili on niin korkeantasoinen, että se kykenee säätöön myös pienillä osakuorilla. Kuitenkin kaukolämmön piirissä ensiöpuolen verkoston säätöventtiileissä pidättäytyään siinä, että auktoriteetti on vähintään 0,5 julkaisun K1 mukaisesti.

4.2.4 Säätöalue S_v

Venttiilin säätöalue S_v on arvo, jolla kuvataan venttiilin säätökykyä eli kuinka hyvin se pystyy seuraamaan sen teoreettista perusominaiskäyräänsä. Säätöalue saadaan venttiiliin suurimman ja pienimmän k_v -arvon suhteesta. [10, s. 8.]

Venttiilin säätöalue voidaan laskea kaavalla 14.

$$S_v = \frac{k_{vs}}{k_{vr}} \quad (14)$$

S_v on venttiilin säätöalue, -

k_{vs} on venttiilin suurin kapasiteettikerroin, m^3/h

k_{vr} on venttiilin pienin kapasiteettikerroin, m^3/h

Säätöventtiilien säätösuhteen tulisi olla suurempi kuin 30. Säätöalueesta käytetään myös termiä erottelukyky. Laittevalmistavat ilmoittavat yleensä k_{vs} -arvon sekä S_v -arvon venttiilin teknisessä materiaalissa. [10; 15.]

4.3 Pumpun mitoitus

Pumpulla tuotetaan verkostoon paine, jolla ylläpidetään virtaamaa ja katetaan painehäviöt. Pumpun mitoituksessa koko verkoston painehäviöt lasketaan yhteen ja lasketaan pumpulta vaadittava nostokorkeus. Pumpun tehoa määrittävät nostokorkeus, tilavuusvirta ja pumpun hyötysuhde. Yksinkertaistetusti sopiva pumppu valitaan niin, että sen teho kattaa ainakin mitoitettun vähimmäistehon. Pumpun valinnassa voidaan hyödyntää valmistajien mitoitusohjelmia. [14.]

Pumpun nostokorkeus voidaan laskea kaavalla 15.

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} \quad (15)$$

H on pumpun nostokorkeus, m

Δp on verkoston painehäviöt, Pa

ρ on virtaavan aineen tiheys, kg/m³

g on putoamiskiihtyvyys, 9,81 m/s²

Pumpun teho voidaan laskea kaavalla 16.

$$P = \frac{\Delta p \cdot q_v}{\eta} \quad (16)$$

P on teho, W

Δp on verkoston painehäviöt, Pa

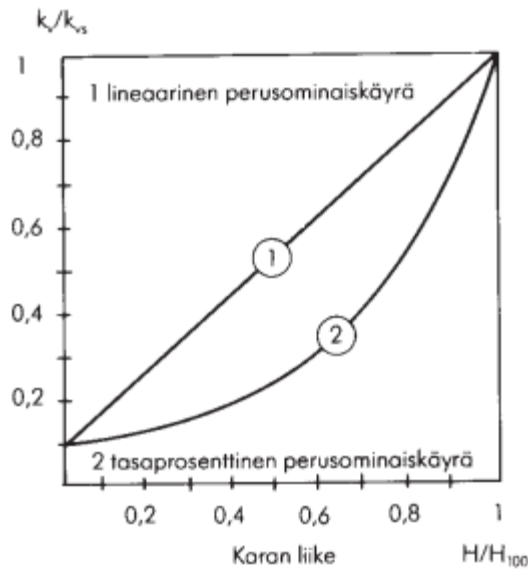
q_v on tilavuusvirta, m³/s

η on pumpun hyötysuhde, -

4.4 Ominaiskäyrät

4.4.1 Säätoventtiin perusominaiskäyrä

Säätoventtiilien ominaiskäyrät kuvaavat venttiilin virtaaman, kapasiteettikertoimen tai lämmitystehon riippuvuuden suhdetta karan asentoon. Säätoventtiin perusominaiskäyrä kuvaa venttiilin iskunpituuden ja tilavuusvirtauksen välistä suhdetta venttiilin painehäviön ollessa vakio. Se voi olla nopeasti avautuva, lineaarinen tai tasaprosenttinen (logaritminen). Kahta jälkimmäistä perusominaiskäyrää havainnollistetaan kuvassa 1. [10, s. 11; 16, s. 2.]



Kuva 1. Kaksitieventtiilin perusominaiskäyrät [16, s. 2].

Linearisessa säätöventtiilissä virtaama on suoraan verrannollinen karan nousuun eli aiheuttaa yhtä suuren muutoksen virtaamassa, jolloin perusominaisuuskäyrä on suora. Tasaprosenttisessa säätöventtiilissä virtaama muuttuu logaritmisesti suhteessa karan nousukorkeuteen. Karan suhteellinen liike muuttaa siis virtausta suhteessa saman verran, jolloin perusominaisuuskäyrä saa logaritmisin muodon. [10, s. 11.]

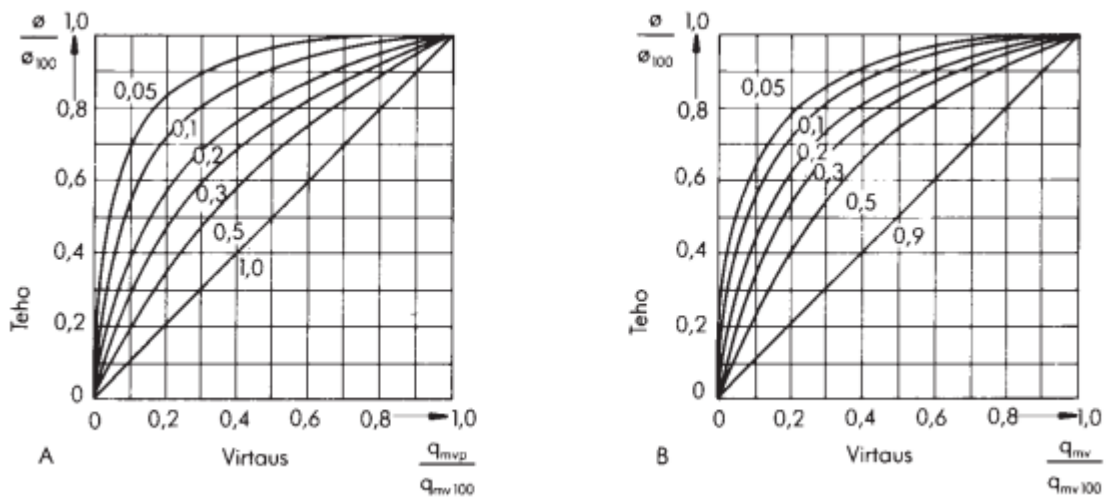
Säätöventtiilin perusominaiskäyrä on venttiilin sisäinen ominaiskäyrä, joka riippuu pelkästään venttiilin ominaisuuksista. Kun venttiili asennetaan osaksi verkostoa, siihen vaikuttavat myös pumpun ja putkiston virtaukset sekä painehäviöt. Säätöventtiilin kytkentä vaikuttaa venttiilin auktoriteettiin ja muuttaa perusominaiskäyrää. Verkostoon liitetyn venttiilin karan iskunpituuden ja tilavuusvirtauksen välistä suhdetta kutsutaan käyttöominaiskäyräksi. [10, s. 12–14.]

4.4.2 Lämmönluovuttimen ominaiskäyrä

Lämmönluovuttimen ominaiskäyrä osoittaa siirtimen läpivirtauksen ja siirtimen luovuttaman lämpötehon välisen suhteen. Ominaiskäyrän kaarevuus muodostuu lämpöä luovuttavien ja lämpöä sitovien aineiden välisestä lämpötilaerosta.

Lämmönluovuttimen ominaiskäyriä havainnollistetaan kuvassa 2, kun tehoa säädetään yleensä kahdella perusvaihtoehdolla:

- A. Sekoitussäädössä lämmönluovuttimen läpi virtaavan veden massavirta pysyy likimain vakiona. Lämmönsiirtimeen tulevan veden lämpötilaa säädetään sekoittamalla keskenään lämmitysverkoston kuumaa vettä sekä lämmönsiirtimeltä palavaa vettä. Sekoitussäätö toteutetaan lämmityspattereissa joko kaksitie- tai kolmitieventtiilikytkenällä.
- B. Vesivirran säädössä lämmönluovuttimelle menevän lämmitysveden lämpötila pidetään vakiona. Lämmönluovuttimen tehoa säädetään muuttamalla lämmitysveden massavirtaa. [10, s. 15; 16, s. 3.]

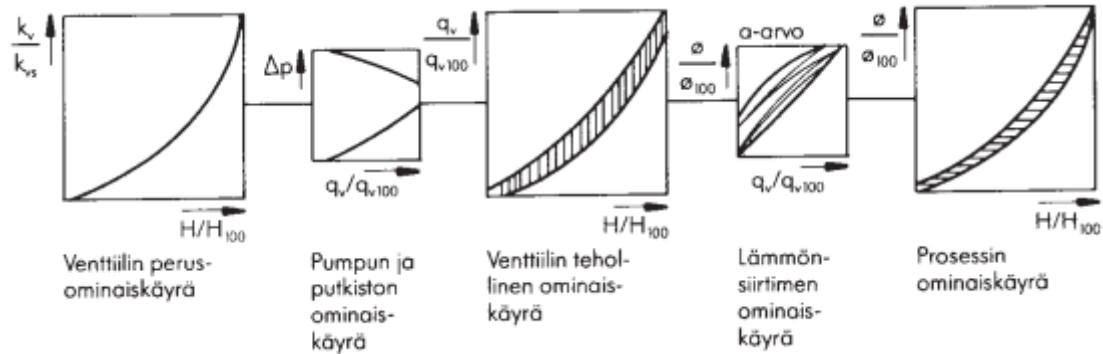


Kuva 2. Lämmönsiirtimen perusominaiskäyrät sekoitussäädössä (A) ja muuttuvan vesivirran säädössä (B) [16, s. 3].

4.4.3 Säätopiirin kokonaisominaiskäyrä

Säätopiirin kokonaisominaiskäyrä kuvaa lämmönluovuttimen suhteellista tehon riippuvuutta säätöventtiilin karan suhteellisesta nousukorkeudesta. Säätopiirin kokonaisominaiskäyrä muodostuu, kun tiedetään venttiilin käyttöominaiskäyrä ja lämmönluovuttimen ominaiskäyrä. Säätopiirin hyvän toiminnan kannalta kokonaisominaiskäyrän tulisi olla mahdollisimman lineaarinen, jolloin muutos

venttiin avautumassa aiheuttaa yhtä suuren muutoksen siirtimen luovuttamaan lämpötehoon. Kuvassa 3 havainnollistetaan säätöpiirin kokonaisominaiskäyrän muodostumista lämpöpatterikytkennässä. [10, s. 19; 16, s. 4.]



Kuva 3. Säätöpiirin kokonaisominaiskäyrän muodostuminen [16, s. 4].

5 Paineesta riippumaton säätöventtiili

5.1 Yleistä

Paineesta riippumattomia säätöventtiilejä kutsutaan kansainvälisesti nimillä Pressure Independent Control Valve (PICV) tai Pressure Independent Balancing and Control Valve (PIBCV). Elektronisesti toimivia paineesta riippumattomia säätöventtiilejä kutsutaan nimellä Electronic Pressure Independent Control Valve (EPIV). Belimon mekaanisesti toimivia paineesta riippumattomia säätöventtiilejä kutsutaan nimellä Pressure Independent Quick Compact Valve (PIQCV).

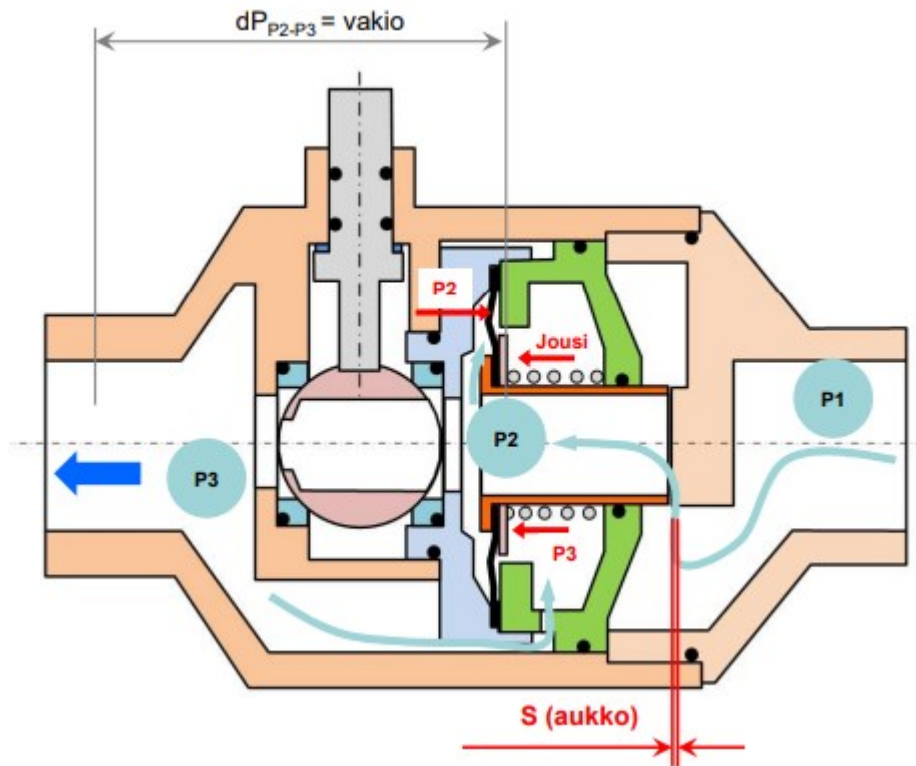
PICV-venttiileissä yhdistyvät tavanomaisen säätöventtiilin lisäksi automaattinen virtausrajoitin sekä paine-erosäädin yhdeksi laitteeksi. Näiden avulla se pystyy toimimaan dynaamisesti ja pitämään yllä vakio virtausta riippumatta verkoston paineenvaihteluista. Näitä ominaisuuksia tarvitaan erityisesti lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien verkostoissa, joissa vakaus ja tarkka säätö ovat tärkeitä. Näin ollen käyttökohteita ovat esimerkiksi ilmanvaihtoyksiköt, lämmitys- ja jäähdytyspatterit, jäähdytyspalkit ja puhallinkonvektorit. [17.]

5.2 Toiminta

Paineesta riippumattoman säätöventtiilin toiminta perustuu sisäänrakennettuun paine-erosäätimeen, joka ylläpitää haluttua virtaamaa venttiilin läpi paine-erosta riippumatta. PIQCV-venttiili toimii mekaanisesti ilman sähköistä ohjausta ja EPIV-venttiili elektronisella ohjausviestillä. Paineesta riippumattomilla säätöventtiileillä on minimi- ja maksimipaine-ero, jonka välillä venttiilin toiminta on mahdollista. Esimerkiksi Belimon PIQCV-venttiilin vaatima paine-ero Δp on 16–350 kPa, missä paineen vaihtelu voi olla $\frac{(350-16)}{16} \cdot 100 \% = 2088 \%$ verrattuna vähimmäispaine-eroon. Paineesta riippumattomien säätöventtiilien tarvittavat minimipaine-erot ilmoitetaan venttiilien teknillisissä tiedoissa. [11; 17; 18; 19.]

Verkoston suunnittelussa on huolehdittava, että kaikille verkoston paineesta riippumattomille säätöventtiileille on varattuna minimipaine-ero, jotta verkoston venttiilien paine-erosäätimet pystyvät toimimaan. Kun minimipaine-ero on saavutettu, paine-erosäädin varmistaa, ettei suunniteltu virtaama nouse yli asetusarvonsa, vaikka paine-ero verkostossa kasvaisikin. Paine-erosäädin pitää huolen, että venttiilin auktoriteetti on aina lähellä arvoa 1. Säätöventtiilin yli vallitsee aina vakio paine-ero ja mitoitusvirtaama. Tämän vuoksi verkostoon ei tarvitse erillisiä linjasäätöventtiileitä tasapainotukseen, mutta ne voidaan asentaa mahdollisia tarkistusmittauksia varten. Huomioitavaa on, että EPIV-venttiilien virtaamia voidaan tarkastella rakennusautomaation (RAU) kautta. Lisäksi PIQCV-venttiilit voidaan varustaa mittausyhteillä, joilla voi mitata paine-eroa. [18; 19.]

Kuvassa 4 on esitetty PIQCV-säätöventtiilin rakenne ja toiminta venttiilin sisältä. Virtaussuunta on nuolen mukaisesti vasemmalta oikealle pisteessä P1 pisteeseen P3. Jos painero pisteen P2 ja P3 välillä on yli määritellyn arvon, niin kuvassa oranssilla värillä merkitty holkki liikkuu oikealle ja virtausaukko (S) pienee. Vastaavasti holkki liikkuu vasemmalle ja aukko suurenee, mikäli paine-ero on alle määritellyn arvon. Holkki ei liiku, jos paine-ero on määritellyssä arvossa säätölaitteen yli. Näin paine-ero pysyy venttiilin sisällä vakiona pisteiden P2 ja P3 välillä ja virtaama asetusarvossaan. [20.]

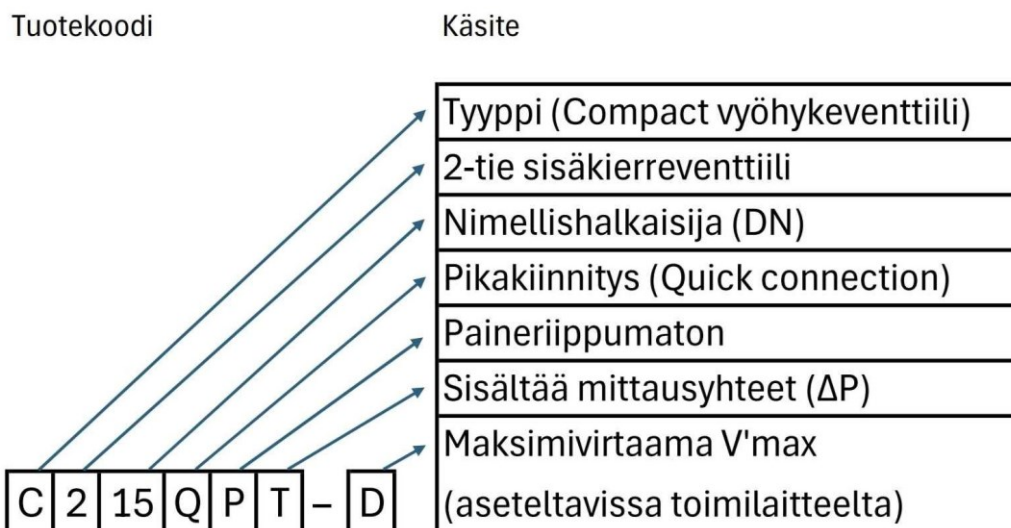


Kuva 4. Paineesta riippumattoman säätöventtiilin (PIQCV) rakenne ja toimintaperiaate. Venttiilissä paine-ero pisteiden P2 ja P3 välillä pidetään vakiona aukkoa S pienentämällä ja suurentamalla [20].

5.2.1 Mekaaninen paineriippumaton säätöventtiili

Mekaanisessa paineriippumattomassa säätöventtiilissä (PIQCV) yhdistyvät paine-erosäädin ja 2-tiesäätöventtiili, joka tuottaa tietyn virtauksen kullekin pallon avautumisasteelle ja ylläpitää haluttua virtaamaa, vaikka paine vaihtelisi järjestelmässä. [20]. Kuvassa 5 on Excel-ohjelmalla koostettu selitys Belimon PI-QCV-venttiilin tuotekoodista.

Säätöventtiili



Kuva 5. PIQCV tuotekoodin avaus [19].

Esimerkiksi tuotekoodilla C215QPT-D palkkiventtiilin suurin mahdollinen virtaama V'_{nom} on 0,117 l/s. Toimilaitteella virtaamaa voidaan säätää 16 eri asetusarvolle V'_{max} . Paine-ero Δp 16–350 kPa alueella saavutetaan vakiona pysyvä asetettu virtausmäärä. Venttiilin sulkupaine Δp_s on 1400 kPa. Ominaiskäyrä on tasaprosenttinen ja optimoitu avausalueella. Venttiilejä on nimelliskokoina DN 15, 20 ja 25. Väliaineena käy kylmä ja lämmin vesi, jossa on glykolia enintään 0–50 tilavuusprosenttia. [21.]

Tämä ja myös seuraavaksi käsiteltävät säätöventtiilit ovat ilmakuplatiivita ja kuuluvat vuotoluokkaan A (SFS-EN 12266-1). Nämä soveltuvat suljettuihin kylmän ja lämpimän veden järjestelmiin, jännitesäätöiseen ilmankäsittely-yksiköiden ja lämmitysjärjestelmien säätöön vesipuolella. [18; 21.] Kuvassa 6 on esitetty toimilaitteella ja mittausyhteillä varustettu Belimon PIQCV-venttiili ja sen piirrosmerkki. Kuva on koostettu Belimon materiaaleista.

PIQCV



Kuva 6. Belimon PIQCV ja sen piirrosmerkki [1; 21].

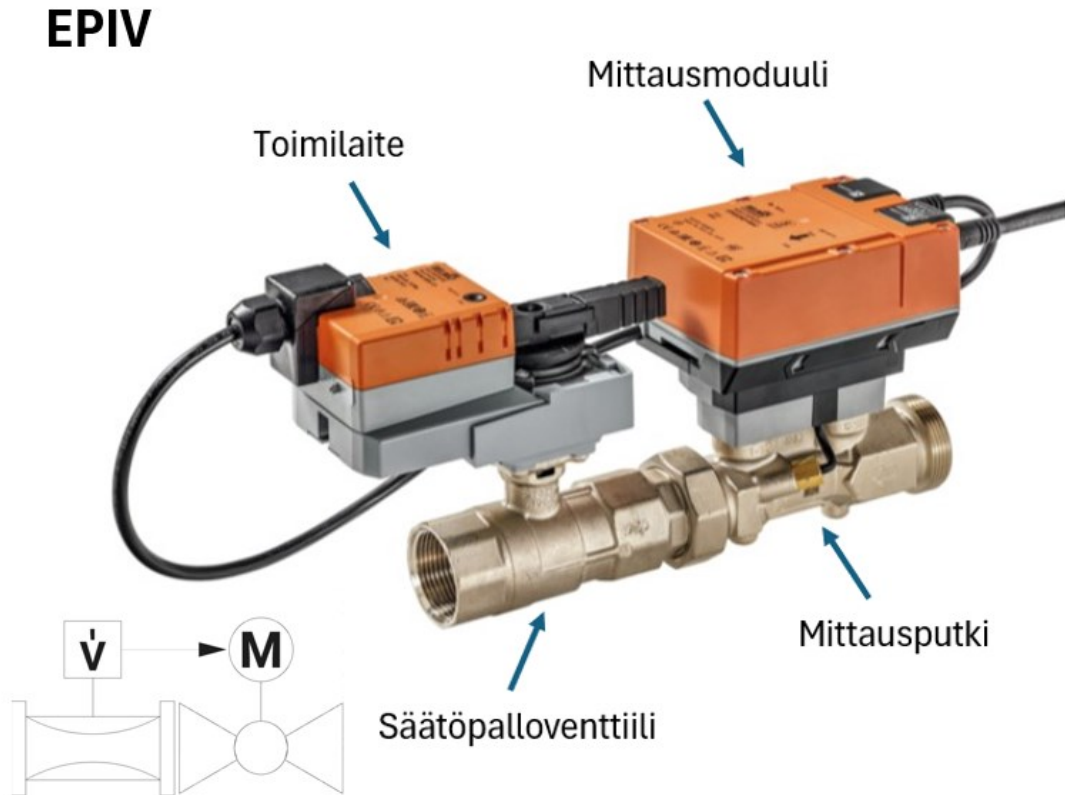
5.2.2 Elektroninen paineriippumaton säätöventtiili

Elektronisessa paineriippumattomassa säätöventtiilissä (EPIV) käytetään integroitua virtausanturia ja erityistä ohjausalgoritmia ohjaamaan säätöventtiilin toimintaa. Laitteeseen integroitu ohjausviesti ylläpitää haluttua virtaamaa, vaikka paine vaihtelisi järjestelmässä. Virtaaman mittaus tapahtuu mittausputkessa, joka välitetään mittausmoduulin kautta rakennusautomaatioon ja toimilaitteeseen. Toimilaite säätelee käskystä tai tarvittaessa säätöventtiilin karan asentoa, jotta virtaama pysyy asetusarvossaan. [22; 23.]

Belimon EPIV-venttiili on esimerkiksi tuotekoodilla EP015R2+BAC. Nimelliskoon DN15 suurin mahdollinen virtaama V'_{nom} on 0,42 l/s, paine-ero Δp_{max} on 350 kPa ja sulkupaine Δp_s on 1400 kPa. Hiljaista käyttöä varten paine-ero suositus on enintään 200 kPa. Ominaiskäyrä on tasaprosenttinen (VDI/VDE 2173) ja optimoitu avausalueella, mutta on myös vaihdettavissa lineaariseen. [22; 23.]

Tässä ja myös seuraavissa käsiteltävissä paineriippumattomissa säätöventtiileissä virtauksen mittaus tapahtuu ultraäänellä. Kommunikaatio onnistuu

väyläprotokollien BACnet, Modbus, Belimon MP-Bus tai analogisen säädön kautta. [18; 23.] Kuvassa 7 on esitetty EPIV-venttiili ja sen piirrosmerkki. Kuva on koostettu Belimon materiaaleista.



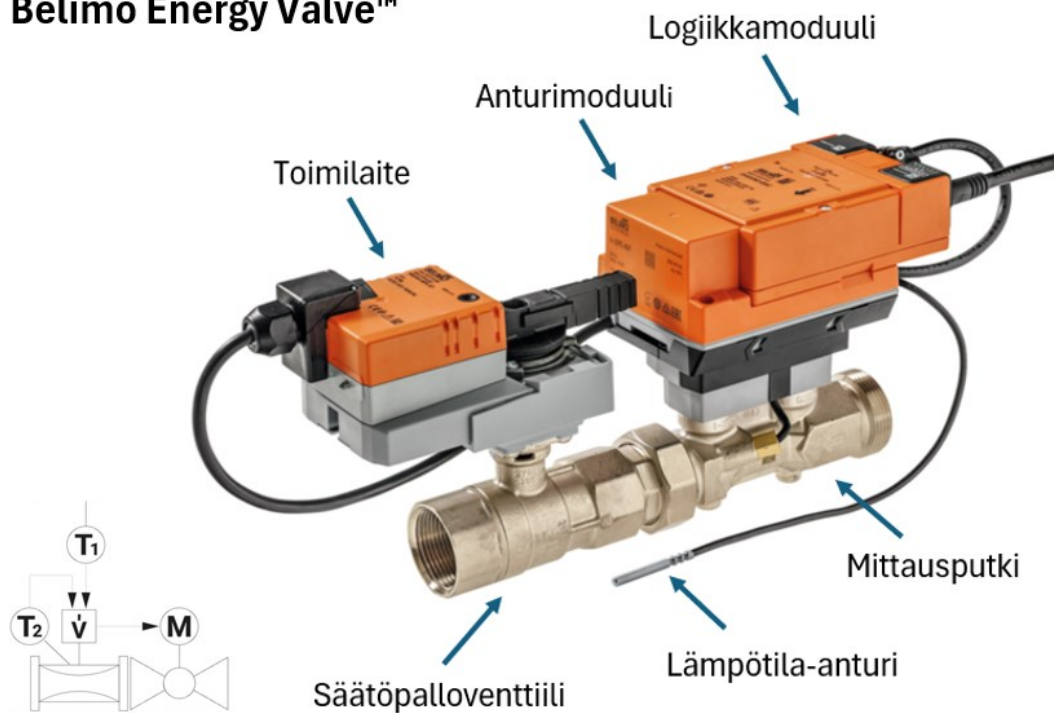
Kuva 7. Elektroninen paineriippumaton säätöventtiili (EPIV) ja sen piirrosmerkki [1; 23].

5.2.3 Energiaventtiili

Belimo Energy Valve™-energiaventtiilissä yhdistyvät säätöpalloventtiili, toimilaite sekä lämpöenergiamittari, logiikka- ja anturimoduuli. Logiikkamoduuli sisältää energiamittarin virransyötön, kommunikaatorajapinnan sekä NFC-liitännän. Kaikki olennaiset tiedot mitataan ja tallennetaan anturimoduuliin. Energiaventtiilissä on anturikäyttöinen säätö virtaukselle tai teholle sekä tehon ja energian monitorointitoiminto. Lisäksi on asennon ohjaus ja paine-eron säätö. [18; 24.]

Belimon Energy Valve™ on esimerkiksi tuotekoodilla EV015R2+BAC. Nimellis-
koon DN15 suurin mahdollinen virtaama V'_{nom} on 0,42 l/s, paine-ero Δp_{max} on
350 kPa ja sulkupaine Δp_s on 1400 kPa. Hiljaista käyttöä varten paine-ero suosi-
tus on enintään 200 kPa. [24.] Kuvassa 8 on esitetty Belimo Energy Valve™-
energiaventtiili ja sen piirrosmerkki. Kuva on koostettu Belimon materiaaleista.

Belimo Energy Valve™



Kuva 8. Belimo Energy Valve™-energiaventtiili ja sen piirrosmerkki [1; 24].

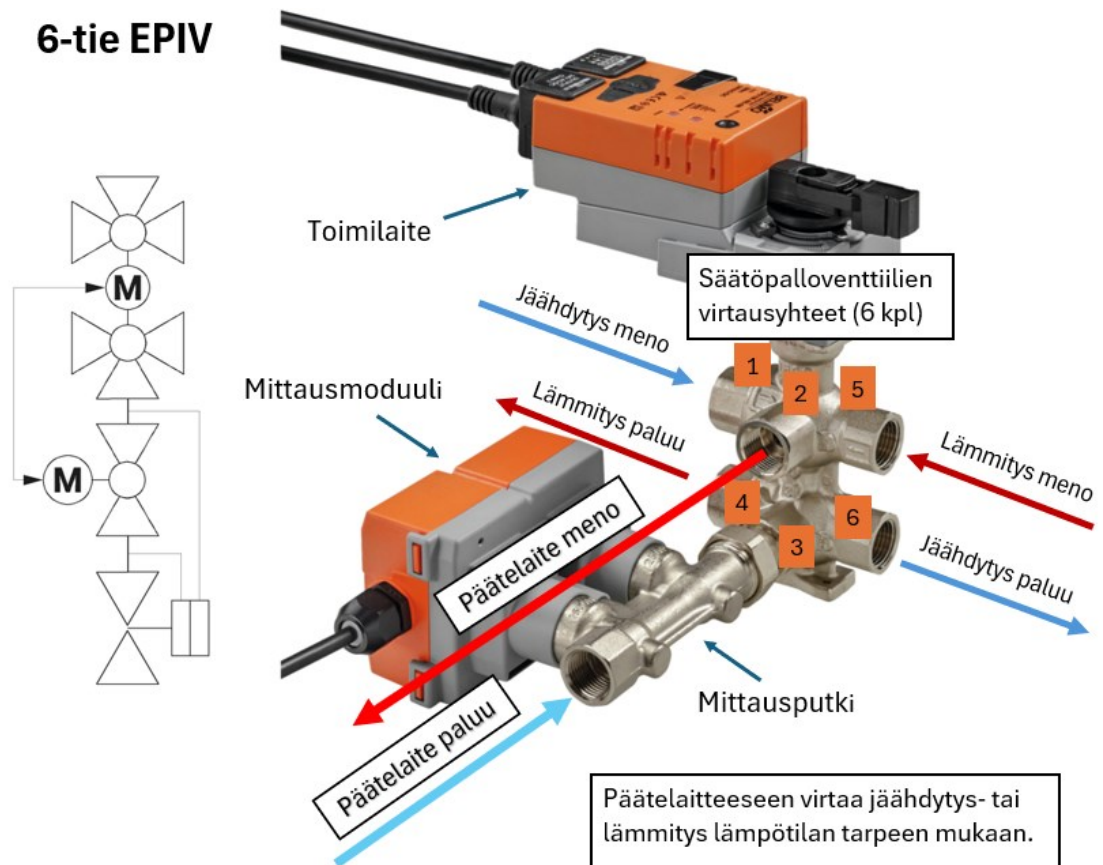
5.2.4 Paineriippumaton 6-tiesäätöpalloventtiili

Paineriippumattomassa 6-tiesäätöpalloventtiilissä (6-tie EPIV) yhdistyvät 6-tiesäätöpalloventtiili, toimilaite ja mittausmoduuli mittausputkella. Se yhdistää esimerkiksi jäähdytys- ja lämmitysverkoston yhdeksi hallittavaksi venttiilikokonaisuuudeksi, pitäen järjestelmät kuitenkin toisistaan erillään.

Laitteessa on anturikäyttöinen virtauksen ohjaus, jota voidaan tarkastella ja ohjata digitaalisesti esimerkiksi Modbusin tai analogisen viestin kautta. RAU ohjaa

automaattisesti venttiiliin toimintaa rakennuksen ja sen ympäristön lämpötilojen mukaan, kumman verkoston se avaa ja sulkee päätelaitteeseen eli lämmönluovuttimeen. Lisäksi anturi mittaa väliaineen virtaamaa mittausputkessa. Poikkeava mittausarvo tasapainotetaan asetusarvoon, jolloin toimilaitte korjaa poikkeaman muuttamalla venttiiliin karan asentoa. [18; 25.]

Belimon 6-tie EPIV on esimerkiksi tuotekoodilla EP015R-R6+BAC. Nimelliskoon DN15 suurin mahdollinen virtaama V'_{nom} on 0,35 l/s, paine-ero Δp_{max} on 110 kPa ja sulkupaine Δp_s on 350 kPa. Saatavilla nimelliskokoina DN 15 ja DN 20. [25.] Kuvassa 9 on esitetty paineriippumaton 6-tie säätöpalloventtiili, sen komponentit ja virtausyhteet sekä piirrosmerkki. Kuva on koostettu Belimon materiaaleista.



Kuva 9. Paineriippumaton 6-tie säätöpalloventtiili ja sen piirrosmerkki [1; 25].

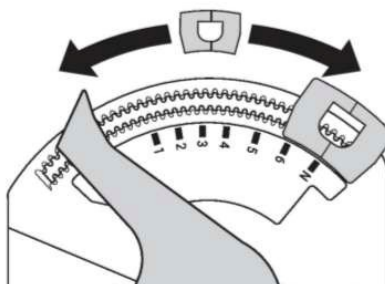
5.2.5 Toimilaite

Edellä käsitellyt paineesta riippumattomat säätöventtiilit varustetaan toimilaitteella. Toimilaitteet ovat ylikuormitusuojattu ja pysähtyvät automaattisesti ilman erillisiä rajakytkimiä, kun rajoitin saavutetaan. Toimilaitteissa on alhainen tehontarve, joten niiden energian kulutus on pieni. Toimilaitteet asennetaan PIQCV-venttiileissä yksinkertaisella pikakiinnityksellä asennuksen yhteydessä. Muissa käsitellyissä venttiileissä toimilaite on tehdasasetettu venttiiliin. Toimilaitteessa on virtauksen asetus eli esisäätoasetus (ES), josta valitaan virtaamaa vastaava V'max-arvo tai paineesta riippuvaisten vyöhykeventtiilien osalta virtaamaa vastaava kv-arvo ES-luvultaan. Kääntökulmalla voidaan säätää venttiiliin maksimivirtauksen rajoitinta 2,5°:n välein. Kuvassa 10 on esitetty PIQCV:n (C2..QP(T)-..) virtauksen asetus ja niiden eri maksimivirtaamat (V'max). [18; 21; 26.]

Tekninen tuote-esite

C2..QP(T)-..

Virtauksen asetus CQ..toimilaitteen kääntökulmaa voidaan muuttaa rajoitinkiinnikkeellä 2.5° välein. Tätä käytetään säädettäessä V'max-arvo (venttiilin maksimivirtaus).
Poista rajoitinkiinnike ja aseta haluttuun asentoon.
Jännitesäätoiset toimilaitteet tulee adaptoida jokaisen kv -asettelun muutoksen jälkeen..



	1	2	3	3+	4-	4	4+	5-	5	5+	6-	6	6+	N-	N	
Pos	41%	49%	56%	60%	63%	66%	68%	71%	74%	77%	79%	82%	85%	88%	91%	100%
↔	37°	44°	51°	54°	57°	59°	61°	64°	67°	69°	71°	74°	77°	79°	82°	90°
C215QP(T)-B	Vmax (l/h)	20	30	40	45	50	60	70	80	90	105	120	135	150	165	210
	Vmax (l/s)	0.006	0.008	0.011	0.013	0.014	0.017	0.019	0.022	0.025	0.029	0.033	0.038	0.042	0.046	0.050
C215QP(T)-D	Vmax (l/h)	50	70	100	110	130	150	170	190	210	240	270	300	330	360	420
	Vmax (l/s)	0.014	0.019	0.028	0.031	0.036	0.042	0.047	0.053	0.058	0.067	0.075	0.083	0.092	0.100	0.111
C220QP(T)-F	Vmax (l/h)	90	130	190	220	250	290	340	390	440	500	570	630	700	760	980
	Vmax (l/s)	0.025	0.036	0.053	0.061	0.069	0.081	0.094	0.108	0.122	0.139	0.158	0.175	0.194	0.211	0.228
C225QPT-G	Vmax (l/h)	260	410	600	670	750	840	920	1010	1110	1210	1310	1420	1530	1640	2100
	Vmax (l/s)	0.072	0.114	0.167	0.186	0.208	0.233	0.256	0.281	0.308	0.336	0.364	0.394	0.425	0.456	0.486

Kuva 10. Virtauksen asetus toimilaitteessa [21].

EPIV, 6-tie EPIV ja Belimo Energy Valve™-venttiileissä käyttöönotto tehdään Belimo Assistant 2 sovelluksen avulla. Sovelluksella toimilaitteet ovat mahdollista määritellä Bluetoothin tai NFC:n kautta jo ennen asennusta. Asennusten jälkeen, kun yhteys laitteeseen on muodostettu, loput säätö- ja valvontatyöt tehdään etäällä venttiilitoimilaitteen ja rakennusautomaation avulla. [18.]

5.3 Hyödyt

Paineesta riippumattomien säätöventtiilien automaattinen virtausrajoitin ja paine-erosäädin varmistavat asetetun virtaaman, vaikka paine verkostossa vaihtelisikin. Dynaaminen tasapainotus ylläpitää tasaista virtausnopeutta kaikkien verkoston osien läpi, jonka vuoksi paineesta riippumattomat säätöventtiilit ovat riippumattomia järjestelmän muutoksista. PIQCV-venttiilissä tasapainotus toimii toimilaitteeseen asetetun esisäätöasetuksen perusteella. EPIV ja Belimo Energy Valve™-venttiileissä virtausta ylläpidetään toimilaitteella, joka säätää virtausta ohjaussignaalin perusteella niin, että virtaus pysyy asetusarvossaan. [18; 19.] Dynaaminen tasapainotus täyttää EPBD:n artiklan 13 edellytyksiä.

Mitoituksessa ei tarvitse ottaa huomioon venttiilin k_v -arvoa tai auktoriteettia. Mitoittava tekijä on lämmönluovuttimen mitoitusvirtaama, jonka perusteella valitaan toiminta-alueeltaan siihen oikea paineesta riippumaton säätöventtiili. Venttiili valinta voidaan toteuttaa Belimon verkkosivuilla ”venttiilin mitoitus ja -valinta”-työkalulla. Soveltuvat venttiilit näytetään ohjelmaan syötetyn mitoitusvirtaaman perusteella. Tämä helpottaa suunnittelussa venttiilin valintaa. [18, s. 4.]

Toteutuksessa asennus- ja säätötyön määrä vähenevät toimilaitteiden yksinkertaisten pikakiinnitysten vuoksi, eikä ole tarvetta usealle eri komponentille tai työkalulle. Paineesta riippumattomat säätöventtiilit tasapainottavat verkoston automaattisesti, kun virtaaman V_{max} -arvo on asetettu toimilaitteelle. Tämän pysyvän dynaamisen ja nopean tasapainotuksen ansiosta voidaan luopua manuaalisesta monivaiheisesta tasapainottamisesta, joka vähentää huomattavasti mitaus- ja säätökustannuksia. [18, s. 6–9.]

Rakennusautomaation avulla voidaan hallita ja ohjata Belimo Energy Valve™ ja EPIV-venttiilien ohjaussignaaleja. Sillä voidaan muun muassa tunnistaa verkostossa haarat, jonka mukaan pumpun nostokorkeutta on säädettävä nykyistä toimintapistettä varten. Tätä varten pumpun painetta voidaan alentaa, kunnes haarojen venttiilit ovat tyypillisesti saavuttanut 90 %:n avautumisasennon, jolloin pumppu kuluttaa mahdollisimman vähän energiaa. [18, s. 10.]

Belimo Energy Valve™-venttiilissä on monipuoliset mahdollisuudet venttiilin asennon-, virtausnopeuden- ja tehonsäädölle, jotka mahdollistavat verkoston vesivirran tarkan säädön. Venttiiliin on integroitu lämpötilaeron (ΔT) hallintatoiminto, joka mittaa jatkuvasti lämpötilaeroa ja vertaa sitä asetettuun raja-arvoon. Jos lämpötila laskee raja-arvon alapuolelle, niin Belimo Energy Valve™ säättää automaattisesti virtaamaa niin, että vain tarvittava vesimäärä käytetään halutun tehon saavuttamiseksi. Tämä estää tehottoman ΔT :n muodostumisen, jolloin lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät voivat toimia suunnitellussa mitoitustilassa saavuttaen korkean hyötysuhteen. Toiminto tarjoaa myös vakaat lämpötilat rakennuksen sisäilmastolle mahdollisimman alhaisella energiankulutuksella. [18.]

Belimo Energy Valve™ mahdollistaa myös energian seurannan ja IoT-pohjaisen kustannuslaskennan. Lisäksi siihen on integroitu käyttöliittymällä toimiva web-palvelu ja käynnistysavustin, jotka mahdollistavat nopeasti käyttöönoton. [18, s. 9–10.] Belimo Energy Valve™ ominaisuudet vastaavat erityisesti EPBD ja SRI:n edellytyksiä sekä kattaa niin ikään kuin digitaalisen kaksosen.

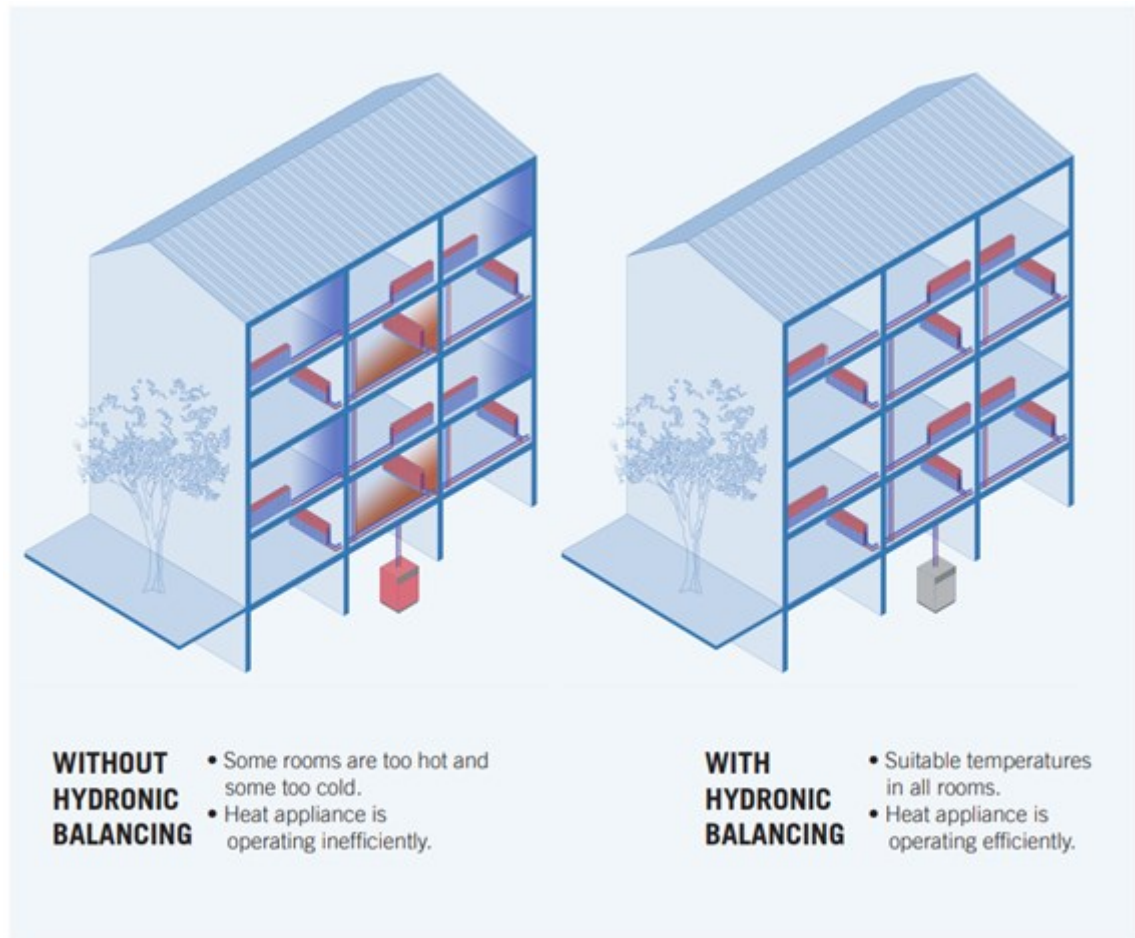
Belimon säätöpalloventtiilit ovat lähtökohtaisesti huoltovapaita. Palloventtiiliteknikan ansiosta säätöventtiilit sulkeutuvat ilmakuplatiiviisti ilman vuotoja ja estää likaa tarttumasta. Kun vuotoja tai likaa ei muodostu, virtaus kulkee vapaasti ilman energiahukkaa. Lisäksi mahdollistaa verkoston luotettavan aktiivoinnin pitkän käyttämättömyydenkin jälkeen. [27.]

Paineesta riippumattomat säätöventtiilit ovat energiatehokasratkaisu, jotka tarjoavat parannuksia ja tehokkuutta niin suunnitellussa, toteutuksessa kuin rakennuksen toiminnassa. Myös mahdolliset muutokset säätöihin tai verkostoon ovat

helpompia suunnitella ja toteuttaa, sillä paineesta riippumattomat säätöventtiilit ovat muunnoksille joustavia. Esimerkiksi Belimon PIQCV:ssa on laajat virtaaman asetukset, EPIV ja energiaventtiileitä voidaan ohjata monipuolisesti rakennusautomaatiolla.

Kuvassa 11 havainnollistetaan verkostojen tasapainon vaikutusta. Kuvassa vasen rakennus kuvaa paineesta riippuvaista säätöventtiiliverkostoa, jonka säätöventtiilit ovat ajautuneet epätasapainoon ajansaatossa tai verkoston muutoksista. Se aiheuttaa tasapainottomuuden verkostoon ja lämmönluovuttimiin, mikä kuormittaa lämmönsiirrintä. Rakennuksen tiloissa on huomattavasti epävakaat lämpötilat ja mahdollisesti ääniongelmia. Patteritermostaateista ei voi enää säätää huonelämpötilaa, koska virtaama ei ole kohdillaan tai riittävä. Verkosto tarvitsee perusteellisen mittaus- ja säätötyön toimiakseen jälleen normaalisti.

Sen sijaan paineesta riippumattomissa säätöventtiileissä jatkuvasäätöinen toiminta pitää virtaaman dynaamisena ja verkoston tasapainossa, kuten kuvan oikeanpuoleisessa rakennuksessa. Paineesta riippumattoman verkoston jokaisessa tilassa on sopivat lämpötilat ja mukavat oltavat. Rakennusautomaation avulla voidaan elektronisilla paineesta riippumattomilla säätöventtiileillä ohjata verkostoa vielä monipuolisemmin ja vakaammin. Esimerkiksi voidaan säätää hallitusti verkosto kuvan vasemman rakennuksen tilaan, jossa tiloissa on huomattavan erilaiset lämpötilat. Järjestelmä tai verkosto ei kuitenkaan ole tasapainottomuudessa, vaan se voidaan hetkessä dynamisoida takaisin neutraaliseen tilaan. Paineesta riippumattomat säätöventtiilit ovat yksi vaihtoehto, jolla saavutetaan rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmälle EPBD:tä vastaava energiatehokas ja tasapainossa oleva verkosto.



Kuva 11. Vesivirrat ja lämpötilat säätämättömässä ja säädetyssä lämmitysjärjestelmässä [28, s. 3].

5.4 Haasteet

Paineesta riippumattomien säätöventtiilien haasteena ovat korkeat alkuinvestointikustannukset, sillä ne ovat kalliimpia kuin perinteiset paineesta riippuvaliset säätöventtiilit. Suunnittelussa paineesta riippumattomat säätöventtiilit ovat mitoitettava toiminta-alueeltaan sopivalle paine-eroalueelle. Jos paine-ero alittuu tai ylittyy venttiilit voivat johtaa virheelliseen toimintaan. Periaatteessa jos paine laskee tämän alueen ulkopuolelle, PICV-venttiilistä tulee paineesta riippuvainen venttiili, joka on herkkä paineen muutoksista johtuville virtausvaihteluille. Näin ollen molemmat venttiilit on mitoitettava tarkasti suunnitellun virtaaman ja paineeron mukaan. [1; 14.]

Paineesta riippumattomien säätöventtiilien sisäinen rakenne on monimutkaisempi, mikä voi vaikeuttaa mahdollista vianetsintää ja huoltoa. Niiden huolto voi vaatia erikoistunutta asiantuntevuutta ja erikoistyökaluja. Suomessa paineesta riippumattomien säätöventtiiliverkostojen suunnittelu ja toteutus on vielä vähäistä, jonka vuoksi kotimaista yleistä tietoa ei ole paljon saatavilla. Ne eivät myöskään ole tuttuja kaikille suunnittelijoille, urakoitsijoille, asentajille tai erityisesti käyttäjille. Johtuen pitkälti paineesta riippuvaisten säätöventtiilien suosioista, koska ne ovat perinteisiä ja ostettuna edullisempia.

6 Suunnitteluohje

6.1 Mitoitus

Otetaan käsittelyyn teoreettinen uudisrakennus ja avoin toimistotila, johon mitoitetaan avoimeen alakattoon eristämätön kattosäteilijä tilan lämmitykseen ja jäähdytykseen. Kattosäteilijöihin ja verkostoon mitoitetaan ensin paineesta riippuvaliset säätöventtiilit ja sen jälkeen paineesta riippumattomat säätöventtiilit. Tarkoituksena on havainnollistaa suunnittelun vaiheita, huomioon otettavia asioita, muuttuvia tekijöitä sekä säätöventtiilien mitoituksen eroavaisuutta.

Rakennuksen ja sen tilojen lämmitys- ja jäähdytystehontarpeen muodostumista on käsitelty luvussa 3. Kattosäteilijöiden koot ja määrät mitoitetaan sekä valitaan tiloihin niin, että tarvittava lämmitys- ja jäähdytysteho saadaan säteilijöistä kustannustehokkaasti. Painehäviöt pyritään pitämään matalina, koska ne pitää kompensoida pumpulla. Suuret painehäviöt vaativat korkeampaa paineen tuottoa, joka nostaa pumpun energiankulutusta ja käyttökustannuksia. Myös korkeat paineet verkostossa nostavat äänitasoa.

Mitoitusesimerkkien yksinkertaistamiseksi tilan lämmityksen ja jäähdytyksen tehontarve on molemmissa tapauksissa esimerkiksi noin 1 200 W. Ilmanvaihdon tuloilman mukana tilaan tulee jäähdytystehoa 300 W, joka on jo otettu huomioon jäähdytystehontarpeessa. Tehontarpeeseen voidaan käyttää niin sanottua varmuuskerrointa esimerkiksi 1,2 varmistamaan, ettei synny alimitoitusta. Tällöin

jää hieman mitoitus ja muutos varaa rakennuksen tilamuunnoksille, tilan käytön ja olosuhteiden tai muille mahdollisesti rakennuksen tehontarpeeseen vaikuttaville muutoksille. Näin ollen tilan lämmönluovuttimien tehoksi muodostuu lämmitykselle ja jäähdytykselle kummallekin 1 440 W. Kun tarkat mitoitus tiedot ja laskelmat on määriteltä tapauskohteisesti, valitaan vaihtoehdoista, kuinka paljon lämmönluovuttimilta halutaan saada tehoa.

6.2 Mitoitus esimerkki kattosäteilijä

Mitoitus esimerkissä käytetään kattosäteilijävalmistajan Itulan ItuGraf® vapaasti roikkuvaa ja eristämätöntä kattosäteilijää, jonka koko on 1190 x 2390 mm. Itula noudattaa siinä seuraavia SFS-EN standardeja: SFS-EN 14037 Vapaasti roikkuvat lämmitys ja jäähdytys pinnat alle 120 °C tuloveden lämpötilalle vuodelta 2016. SFS-EN 14240 Ventilation for buildings – Chilled ceiling – Testing and rating vuodelta 2004. [29.]

Kattosäteilijän mitoitus aloitetaan lämmitys- ja jäähdytystilanteiden mitoituslämpötilojen määrittämisellä, joista määräytyvät paneelien tehot. Lämmityksessä on käytettävissä korkeammat säteilylämpötilat, jotka mahdollistavat paneeleille paremman tehontuoton. Jäähdytyksessä sen sijaan on käytettävissä matalammat lämpötilat, jotka rajoittavat paneelista saatavaa jäähdytystehoa. Sen vuoksi paneeleita on tarvittaessa mitoitettava useampi, jotta ne kattavat kokonaisjäähdytystehontarpeen. Kun järjestelmä tulee molempiin käyttöön, on tämän vuoksi mitoitus tehtävä jäähdytystehontarpeen mukaan.

Kattosäteilijät ovat kondensoimattomia huonelaitteita, joilla ei ole kondenssiveden viemärointiä tai tiputusvesiallasta. Näin ollen säteilijän pintalämpötila tulee olla suurempi kuin ympäröivän ilman kastepistelämpötila. Muuten muodostuu kondenssiriski eli säteilijän pintaan alkaa muodostumaan nestemäistä vettä. Tämä voi aiheuttaa kosteusvaurioita ja vahinkoja, jonka vuoksi jäähdytysveden lämpötila tulee mitoitaa niin, että se pysyy vähintään 2 °C kastepisteen yläpuolella. [9, s. 36.]

Kastepistesäädöllä pidetään jäähdytyksen menoveden lämpötila jatkuvasti huoneilman kastepisteen yläpuolella, ettei jäähdytyslaitteen pintalämpötila laske liian matalaksi ja muodostu kondenssiriskiä. Myös tuloilman viilennyksellä mahdollistetaan kastepistelämpötilan pysyvän matalana, koska se kuivaa ilmaa. Dynaamisella simuloinnilla on mahdollista ottaa huomioon, kuinka kastepisteen sekä sisäilman ja huonelaiteiden lämpötilaeron vaihtelut vaikuttavat kastepistesäätöön. Nämä määrittävät käytettävissä olevia mitoituslämpötiloja, jotka määrittävät jäähdytyspaneelista saatavaa tehoa. [9, s. 36.]

Kattosäteilijän parhaan lämmönsiirron ja toiminnan vuoksi on tärkeää, että säteilijässä kiertävän nesteen virtaus on turbulenttista. Kattosäteilijän teho on riippuvainen sen koosta, laitekohtaisista ominaisuuksista ja mitoituslämpötilasta. Laitekohtaiset ominaisuudet ja tiedot löytyvät kattosäteilijöiden teknillisistä materiaaleista. Kattosäteilijöiden teho voidaan laskea edellä mainittujen standardien SFS-EN 14037 ja SFS-EN 14240 mukaisella kaavalla 17. [29; 30; 31; 32.]

$$\Phi = K \cdot \Delta t^n \quad (17)$$

Φ on teho, W

K on laitekohtainen vakio, W/m°C

Δt on mitoituslämpötila, °C

n on mittaustuloksilla määritelty laitekohtainen eksponentti, -

Liitteessä 1 on esitetty Itulan ItuCalc-mitoitusohjelmalla laskettuja kattosäteilijän erilaisia mitoitus tietoja, joista voi havaita kuinka eri mitoituslämpötilat vaikuttavat virtaukseen sekä säteilijältä saatavaan tehoon ja painehäviöihin. Mitoitusohjelmaan syötetään mitoituslämpötilat, joiden mukaan se määrittää mitoitus tiedot.

Käytetään kattosäteilijöiden verkostoon esimerkiksi vettä, lämmitykseen lämpötiloina 35/30 °C ja jäähdytykseen lämpötiloina 14/17 °C. Huoneen lämpötila on talvella 21 °C ja kesällä 25 °C. Lasketaan kattosäteilijän mitoituslämpötilat kaavalla 8, jolloin jäähdytyksen mitoituslämpötila Δt on $\left| \frac{(14-17)}{2} - 25 \right| = 9,5$ °C ja lämmityksen mitoituslämpötila Δt on $\left| \frac{(35-30)}{2} - 21 \right| = 11,5$ °C.

Itulan ItuGraf® teknisen esitteen 2.6 ja kaavan 15 mukaan sen jäähdytystehoksi muodostuu $30,608 \cdot 9,5^{1,1177} = 379 \text{ W}$. Kun näitä mitoitetetaan neljä kappaletta, muodostuu kokonaisjäähdytyksen tehoksi $1\,516 \text{ W}$, joka on riittävä asetetulle tavoitteelle. Lämmitystehoksi muodostuu yksittäiselle paneelille $24,576 \cdot 11,5^{1,1850} = 444 \text{ W}$. Kun paneeleita on mitoitettu neljä kappaletta, muodostuu kokonaislämmityksen tehoksi $1\,776 \text{ W}$, joka on myös riittävä.

Kattosäteilijän mitoitusvirtaama lasketaan kaavalla 6. Jäähdytyksen mitoitusvirtaamaksi muodostuu $\frac{0,379}{(3 \cdot 4,186 \cdot 0,999)} = 0,030 \text{ l/s}$. Kun paneeleita on mitoitettu neljä kappaletta, muodostuu haaran runkolinjan mitoitusvirtaamaksi $0,121 \text{ l/s}$. Valmistaja ilmoittaa mitoitustiedoilla paneelin painehäviöksi letkujen kanssa $15,56 \text{ kPa}$, joista letkujen painehäviö on $0,3 \text{ kPa}$.

Lämmityksen mitoitusvirtaamaksi muodostuu $\frac{0,444}{(5 \cdot 4,179 \cdot 0,995)} = 0,021 \text{ l/s}$ ja haaran mitoitusvirtaamaksi $0,085 \text{ l/s}$. Paneelin painehäviöksi ilmoitetaan letkujen kanssa $7,79 \text{ kPa}$. Virtauksen ilmoitetaan olevan molemmissa turbulenttista.

Liitteessä 1 on esitetty Itulan ItuCalc-mitoitusohjelman antamat mitoitustiedot esimerkissä määritellyillä lähtöarvoilla. Lisäksi on esitetty Excel-ohjelmalla lasketut mitoitustiedot. Laskuissa käytetyt kaavat ja lähdeviitteet ovat merkitty tämän opinnäytetyössä esitettyjen kaavojen ja lähteiden numeroilla (nro).

6.3 Mitoitusesimerkki paineesta riippuvainen säätöventtiili

6.3.1 Säätöventtiilin mitoitus

Perinteisesti verkoston nousulinjaan tulevat sulkuventtiili ja linjasäätöventtiili. Kun verkosto haarautuu käytävälle, niin kumpaakin suuntaan tulevat samat venttiilit. Lisäksi jokainen kattosäteilijä varustetaan sulkuventtiilillä ja säätöventtiilillä. Sulkuventtiilit asennetaan meno- ja paluuputkiin, jotta virtaus verkostossa voidaan tarvittaessa katkaista esimerkiksi huoltotöitä varten. Säätöventtiilit asennetaan paluuputkiin. Linjasäätöventtiileitä voidaan asentaa myös menoputkiin, jos mittaus- ja säätötyössä halutaan hyödyntää paine-eromenetelmää.

Kattosäteilijöiden paluuputkiin mitoitetaan säätöventtiileiksi paineriippuvaliset säätöventtiilit ja linjasäätöventtiileiksi IMI STAD. Kattosäteilijän mitoitus-esimerkissä laskimme mitoitusvirtaamat. Säätöventtiilin hyvän toiminnan varmistamiseksi sen painehäviön tuli olla vähintään sama kuin muun säädettävän piirin.

Mitoitetaan ensin linjasäätöventtiilit. Linjasäätöventtiilit eivät osallistu aktiiviseen säätöön, vaan niiden käyttötarkoituksena on tasapainottaa verkostoa ja toimia mittausyhteenä. Linjasäätöventtiilit tarvitsevat vähintään paine-eroksi 3–4 kPa luotettavan mittauksen saavuttamiseksi. Laskimme lämmityksen haaran runkolinjan mitoitusvirtaamaksi 0,085 l/s. Katsotaan linjasäätöventtiilin teknisistä tiedoista k_{vs} -arvot. Lasketaan niillä ja lasketulla mitoitusvirtaamalla kaavalla 12 linjasäätöventtiilin painehäviöt, joista valitaan esimerkiksi noin 5 kPa mukainen esisäätöasetus. Esisäätöasetuksella (1,5) saadaan painehäviöksi $\left(\frac{36 \cdot 0,085}{1,22}\right)^2 = 6$ kPa, joka kattaa asetetun tavoitteen. Linjasäätöventtiilin mitoitus on hyväksyttävä. [11; 34.]

Kattosäteilijän lämmityksen mitoitus-esimerkissä mitoitettiin mitoitusvirtaamaksi kattosäteilijälle 0,021 l/s ja runkolinjalle 0,085 l/s. Kattosäteilijän painehäviöksi muodostui letkujen kanssa 7,79 kPa ja linjasäätöventtiilin painehäviöksi 6 kPa. Putkiosuuksien ja sulkuventtiilien painehäviöt ovat yleensä pieniä. Putkien painehäviöihin vaikuttavat muuan muassa putkikoko, sisäpinnan karheus, verkoston pituus, haarat ja kulmat sekä virtaavan aineen ominaisuudet ja virtausnopeus. Esimerkin tiivistämiseksi arvioidaan niiden olevan yhteensä 2 kPa. Näin ollen muun piirin ja säätöventtiilin arvioiduksi painehäviöksi muodostuu 16 kPa.

Lasketaan säätöventtiilin kapasiteettikertoimen k_v -arvo kaavalla 11, jolloin mitoitustilanteen k_v -arvo on $\frac{36 \cdot 0,021}{\sqrt{16}} = 0,19$ m³/h. Venttiilien valinnassa käytettiin avuksi Belimon ”Venttiilin mitoitus ja valinta”-ohjelmaa valikoimaan soveltuvin säätöventtiili kaikista mahdollisista saatavilla olevista. Ohjelmaan annetaan laskettu mitoitusvirtaama 0,021 l/s ja arvioitu painehäviö 16 kPa. Ohjelma laskee kapasiteettikertoimeksi 0,19 m³/h, joka on sama tulos kuin laskemamme.

Seuraavaksi ohjelma antaa mitoitukseen soveltuvat säätöventtiilit k_{VS} -arvoltaan sekä niiden tekniset tuotetiedot. Selvitetään niistä mitoituskohtainen soveltuvuus. Esimerkiksi säätöventtiili C215Q-F on tarkoitettu muun muassa lämmitysjärjestelmien säätöihin väliaineen lämpötilavälillä 2–100 °C. Lisäksi sen k_{VS} -arvo on säädettävissä toimilaitteella. Asetuksella 3 sen k_{VS} -arvo on 0,2 m³/h. Näin ollen säätöventtiili on sopiva esimerkin mukaiseen mitoitukseen. [12; 35.]

Lasketaan venttiin todellinen painehäviö kaavalla 12, jolloin säätöventtiin painehäviöksi saadaan $\left(\frac{36 \cdot 0,021}{0,2}\right)^2 = 15$ kPa. Lasketaan säätöventtiin auktoriteetti kaavalla 13, jolloin auktoriteetiksi saadaan $\frac{15}{(15+16)} = 0,48$. Saavutettu auktoriteetti on pyöristettynä 0,5 eli voimme luottaa säätöventtiin toimivuuteen. Näin ollen kattosäteilijän lämmitysverkoston säätöventtiin mitoitus on hyväksyttävä. Samat toimenpiteet tehdään jäähdytysverkoston säätöventtiilien mitoituksessa.

Liitteessä 2 on esitetty mitoitus-esimerkkien mitoitustiedot, jotka on laskettu Excel-ohjelmalla. Kuvissa esitetään kummankin verkoston mitoituksen vaiheet ja tulokset. Lisäksi liitteessä on esitetty tilan verkoston tarkepiirustus, joka on suunniteltu MagiCAD-ohjelmalla.

Huomioitavaa suunnittelussa MagiCAD-ohjelmalla on, että valitsee mitoituksessa valikoidut säätöventtiilit ja lukitsee mitoitetut painehäviöt. Tällöin ohjelma osaa määrittää säätöventtiilien esisäätöasetukset ja kapasiteettikertoimet niiden mukaisesti. Muussa tapauksessa ohjelma mitoittaa ja tasapainottaa verkoston ohjelman määritellyn minimiarvon mukaan, eikä tulokset vastaa suunniteltuja mitoitustietoja. Näin ollen ohjelman tulokset on tarkastettava, mahdolliset ongelmakohdat selvitettävä, muutettava vastaamaan suunnitelmia tai muutettava suunnitelmia. Tarkepiirustuksiin pyritään merkitsemään kaikki oleelliset tiedot mahdollisimman tarkasti ja selvästi, ettei tarvitse enää toteutusvaiheessa selvittää tarvittavia tietoja.

Ohjeen K1/2021 mukaan lämmönsiirtimissä valitaan yleensä k_{VS} -arvoltaan k_V -arvoa seuraavaksi suurempi venttiili. Liitteen 2 kuvista näemme, että venttiin esisäätöasetusten k_{VS} -arvot ovat venttiilille tavoitellun k_V -arvon keskellä. Tällöin

jää säätö- ja muunnosvaraa, joka on hyvä ottaa huomioon valittaessa sopivaa säätöventtiiliä. Lisäksi voimme havaita, kun k_{vs} -arvo nousee niin painehäviö laskee, mutta samalla venttiilin auktoriteetti laskee. Näin ollen lämmönluovuttimissa voidaan tapauskohtaisesti valita venttiilin k_{vs} -arvo, joka paremmin täyttää mitoituksessa asetetut kriteerit. Mitoitusesimerkeissä säätöventtiilien valinnoissa valittiin kriteereiksi, ettei painehäviö olisi korkea ja venttiilin auktoriteetti olisi noin 0,5 venttiilin säädön toiminnan varmistamiseksi.

Kattosäteilijät, jotka tulevat sekä jäähdytys- ja lämmityskäyttöön, on hyvä valinta käyttää kompaktilia 6-tiesäätöpalloventtiiliä, jos mahdollista. Siihen saa kytkettyä yhteen venttiiliin molemmat säädettävät verkostot erikseen. Mitoitusohjelma antoi esimerkin mitoitusiedoilla 6-tiesäätöpalloventtiiliksi R3015-P25-P25-B1. [36.]

6.3.2 Verkoston toteutus

Verkosto toteutetaan suunnitelmien, voimassa olevien säädösten, laitevalmistajien ohjeiden sekä alan vakiintuneiden käytäntöjen mukaisesti. Verkoston mitaus ja säätö toteutetaan ohjekortin Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkostot – virtauksien säätö (RT 103452) mukaisesti. Ohjekortissa esitetään säädön valmistelua sekä erilaisia tapoja nestevirtaamien säätämiseksi ja tasapainottamiseksi. Ohjekortille on jatkoa Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkostot – Huonelämpötilojen säätö (RT 103453), joka käsittelee verkoston menoveden ja huonelämpötilojen säätöä sekä säätökäyrien määrittämistä. [11; 37.]

Verkoston täyttö ja huuhtelu voidaan toteuttaa hapettomalla Airsepex®-tekniikalla. Tekniikka ei sisällä haitallisia kemikaaleja, eikä verkostoon pääse korroosiota aiheuttavaa happea. Lisäksi ei tarvitse suorittaa ilmausta eli poistaa verkostosta ilmaa. Airsepex® vähentää verkoston ongelmia ja kustannuksia. [38.]

Verkoston tasapainotus suoritetaan, kun kaikki säätölaskelmat ja asennukset on tehty. Verkosto on täytetty, koepainettu, huuhdeltu, ilmattu ja lianerottimet puhdistettu. Kun rakennuttaja on suorittanut ja hyväksynyt asennustarkastukset ja toimintakokeet, voidaan suorittaa verkoston mitaus ja säätö. [11.]

6.3.3 Asennus

Kattosäteilijät ja säätöventtiilit asennetaan valmistajien ohjeiden mukaisesti ja työturvallisesti. Kattosäteilijät sijoitetaan niin, että ne peittävät erityisesti ikkunoiden aiheuttamat lämpöhäviöt talvella ja lämpökuormat kesällä sekä jakautuvat tilaan tasaisesti. Kiinnitys alakattoon voidaan toteuttaa kierretangoilla, vaijereilla ja turvavaijereilla, mitä voidaan korkeissa kohteissa säätää paneelien tarkastamista varten alas. Itulan patentoiduilla pintakannakkeilla on mahdollista toteuttaa asennus suoraan alakattoon, jos tilan korkeus on matala. [29.]

Käsitellyt Belimon säätöventtiilit asennetaan pysty- tai vaaka-asentoon virtauksen suunnan mukaisesti niin, etteivät ne jää riippuvaan asentoon tai kara osoita alaspäin. C215Q-venttiileissä virtauksen suunta on mahdollinen molempiin suuntiin. Muussa tapauksessa säätöventtiilit asennetaan tyyppillisesti merkityn nuolen suunnan mukaisesti virtaaman menosuuntaan. Belimon toimilaitteet voidaan kiinnittää käsin, kun verkosto on muilta osin asennettu. [21, 35.]

Verkoston kannakointi eli putkien tuenta ja kiinnitys rakenteisiin tehdään ohjekortin Putkistojen ja kanavien kannatus (RT 103447) vuodelta 2022 mukaisesti. Verkoston kannakointi toteutetaan muun muassa niin, että putkien paino kohdistuvat määritelyihin kannatuspisteisiin kannatusväleittäin, eikä putkien liitoskohtiin. Lisäksi kaikkiin haara ja mutkakohtiin sekä kytkentäjohtoihin tulee vähintään yksi kannake. Lämmitys- ja jäähdytysverkoston putket kannakoidaan pantakannakkeilla. Kupariputket kannakoidaan enintään 1250 mm välein, jos putken ulkohalkaisija (d_u) on pienempi kuin 22 mm. Sitä suuremmat enintään 2 500 mm välein (d_u) 63 asti. Pinta-asennuksessa kupariputket (d_u) 8–15 kannakoidaan enintään 500 mm välein. Teräsputket kannakoidaan enintään 2500 mm välein DN40 asti. Tarkemmat kannatusvälit tarkistetaan tuotevalmistajilta. [39.]

6.3.4 Mittaus ja säätö

Verkoston mittaus ja säätö toteutetaan edellä mainitusti ohjekortin (RT 103452) mukaisesti. Ennen verkoston mittauksia ja säätöjä suoritetaan ohjekortista

koostetun taulukon 4 mukaiset valmistelut. Valmistelujen jälkeen aloitetaan verkoston mittaus- ja säätötyöt suunnittelijoiden virtaus- ja painehäviölaskelmien perusteella, joiden mukaan venttiilien esisäätöarvot (ES) on asetettu.

Mittaukset suoritetaan kalibroidulla mittalaitteella verkoston mittausyhteiltä varustetuilta säätöventtiileiltä, jotka on merkattu suunnitelmien piirustuksiin. Säätöjä tehdään vähintään siihen asti, kunnes verkoston mitoitusvirtaama on saavuttanut vähintään 10 % tarkkuuden suunnitelmiin. Koostetussa taulukossa 5 on esitetty ohjekortin (RT 103452) mukainen verkoston mittaus ja säätö virtaus- ja paine-eromenetelmällä. Lisäksi on esitetty mitoituspöytäkirjaan kirjattavat asiat. [11.]

Paine-eromenetelmällä mitattu ja säädetty virtaus voidaan laskea kaavalla 18.

$$q_m = \sqrt{\frac{\Delta p_m}{\Delta p_s}} \cdot q_s \quad (18)$$

q_m on mitattu virtaus, l/s

Δp_m on mitattu painehäviö, kPa

Δp_s on suunniteltu painehäviö, kPa

q_s on suunniteltu virtaus, l/s

Taulukko 4. Valmistelut ennen mittaus- ja säätöitä [11].

Ennen verkoston virtauksien mittaus- ja säätöitä eri osapuolet suorittavat ja todentavat säätöurakoitsijalle seuraavat toimenpiteet tehdyksi:	
<p>Putkiurakoitsija (PU) ilmoittaa ja tarkastaa säätöurakoitsijalle:</p> <p>Venttiilien ja pumppujen valmistajat, mallit, nimelliskoot ja tekniset tiedot sekä käyttöohjeet pumpun kierrosluvun säädölle.</p> <p>Sovittaessa säätää pumpun kierrosluvun ja paineenkorotuksen säätöurakoitsijan arvoihin.</p> <p>Venttiileitä ei saa vaihtaa ilman suunnittelijan hyväksyntää.</p> <p>Tarkistaa, että venttiilit ovat asennettu oikein ja oikeaan asentoon. Kaikki pumput käyvät oikealla pyörimissuunnalla ja verkoston paine vastaa vähintään verkoston keskilämpötilaa.</p> <p>Tiedottaa, kun verkosto on täytetty ja ilmattu. Toimittaa huuhtelupöytäkirjan, jos verkosto on huuhdeltu.</p> <p>Puhdistaa lopuksi verkoston lianerottimet.</p>	<p>LVI-suunnittelija</p> <p>Merkitsee mitoittavat piirit suunnitelmiin. Eli missä LSV:ssä on pienin painehäviö.</p> <p>Korjaa LVI-suunnitelmiin PU:n tekemät muutokset ja tekee niiden mukaan verkostojen tasapainotussuunnitelmat.</p> <p>Varmistaa, että LVI-suunnitelmissa ovat kaikki säätöurakoitsijan tarvitsemat tiedot.</p> <p>Luovuttaa LVI-suunnitelmat säätöurakoitsijalle.</p> <p>RAU-urakoitsija</p> <p>Asettaa RAU:n liittyvien LVI-järjestelmien asetusarvot suunnitelmien tai säätötoiden mukaisesti.</p> <p>Tarkastaa, että kaikki toimilaitteelliset säätöventtiilit ovat oikeassa asennossa.</p> <p>Ilmanvaihtourakoitsija</p> <p>Tarkastaa, että IV-laitteet toimivat suunnitelmien tai säätötoiden mukaisesti.</p>
<p>Säätöurakoitsija laatii mittauksia varten esitetyt mittauspöytäkirjat.</p> <p>Varmistaa, että on saanut muilta osapuolilta tarvitsemansa tiedot ja asiakirjat.</p> <p>Varmistaa myös, ettei tehdä töitä mittaus- ja säätötoiden aikana LVI-laitteisiin tai niiden verkostoihin liittyen, jotka vaikuttavat putkistojen virtauksiin.</p>	
Ennen nestevirtauksien mittauksia suoritettavat ja varmistettavat tehtävät:	
<p>Uudiskohteissa patteritermostaattit asennetaan vasta hyväksytyin mittaus- ja säätöiden jälkeen. Saneerauskohteissa irrotetaan ne, jos niin on sovittu.</p> <p>Tarkastetaan, että venttiilien mallit ja nimelliskoot vastaavat suunnitelmia.</p> <p>Asetetaan kaikkien venttiilien esisäätöarvot suunnitelmien mukaisesti.</p> <p>Asetetaan pumppujen kierrosluku vakiopainesäädölle ja alustavasti mitoituspisteen nostokorkeuden ja virtauksen edellyttämälle kierrosluvulle valmistajan mitoitusohjelman tai pumppukäyrästä avulla. Asetetaan verkoston pumpun yhteydessä olevan kertasäätöventtiilin esisäätöasento vastaamaan ainakin 3 kPa:n painehäviötä mitoitusvirtaamalla ja varmistetaan pumpun oikea virtaama. Pumpun virtauksen pitää olla ≥ 100 % sen mitoitusvirtaamasta.</p>	

Taulukko 5. Verkoston virtaaman mittaus ja säätö [11].

<p>Mittaus ja säätö virtausmenetelmällä</p> <p>Mittaukset aloitetaan mitoittavan piirin säätöventtiililtä, jolla on vaikein painehäviö. Sieltä mittaukset etenevät pumpulle päin. Mittaukset suoritetaan mittausyhteiltä varustetuilta säätöventtiileiltä ja linjasäätöventtiileiltä, joilla tulee olla vähintään +3 kPa:n painehäviö varman mittaustuloksen saamiseksi.</p> <p>Mittalaitteeseen syötetään venttiilien tiedot ja suunnitelmien mukaiset k_v- tai esisäätöarvot, jotka on asetettu venttiileihin. Paine-erojen kautta saadaan selville venttiilin läpi menevä virtaama. Tarvittaessa lasketaan virtaus paine-eron ja venttiilin esisäätöarvoa vastaavan k_v-arvon perusteella.</p> <p>Venttiilien mitattu virtaama ei saa poiketa mitoitusvirtaamasta yli ± 10 %.</p> <p>Jos poikkeamia syntyy, eikä niitä saada korjattua, niin aletaan säätämään venttiileitä sitä mukaan, joilla on suurimmat poikkeavuudet suunnitelmiin. Säätöjä toteutetaan siihen asti, kunnes mitoitusvirtaama on kohdillaan.</p> <p>Lopuksi kirjataan mittaustiedot. Jos esisäätöarvoja on jouduttu muuttamaan, tehdään tarkistusmittaukset kaikista mittausyhteistä varustetuista venttiileistä. Viimeiseksi kirjataan ylös kaikki lopulliset mittaustiedot ja esisäätöarvot.</p>
<p>Mittaus ja säätö paine-eromenetelmällä</p> <p>Mittaus suoritetaan suunnittelijan määrittelemistä verkoston linjojen mittausyhteistä ja säätö tehdään linjojen paine-erojen perusteella. Pumpulle asetetaan suunniteltu nostokorkeus ja mitataan linjojen paine-erot meno- ja paluuputkista. Säätö toteutetaan muuttamalla pumpun kierroslukua, kunnes suunnitelmien mukaiset paine-erot toteutuvat vähintään 10 % tarkkuudella.</p>
<p>Mittauspöytäkirja</p> <p>Mittauspöytäkirjaan kirjataan mittauspäivä, mittaaja ja verkoston meno- ja paluueden lämpötila. Mittalaitteen ja sen kalibroinnin tiedot. Mitattujen venttiilien tiedot (tunnus, valmistaja, malli, nimelliskoko, esisäätöarvo), mittaustulokset sekä virtauksen poikkeama suunnittelusta virtauksesta tai paine-erosta (%). Pumpun valmistaja ja malli sekä asetettu toimintakäyrä ja kierrosluku.</p> <p>Kun verkosto on saatu tasapainotettua, varustetaan kaikki venttiilit kylteillä ja linjasäätöventtiilit lukitaan. Kyltissä esitetään venttiilin tunnus, nimelliskoko, esisäätöarvo, mitattu virtaama ja paine-ero.</p>

6.4 Mitoitusesimerkki paineesta riippumaton säätöventtiili

6.4.1 Säätöventtiilin mitoitus

Mitoitetaan verkostoon Belimon paineesta riippumattomat mekaaniset säätöventtiilit, jotka vaativat siis paine-eroksi vähintään 16 kPa. Näin ollen verkoston pumppu tulee mitoittaa niin, että pumppu kattaa verkoston painehäviöt sekä venttiilin tarvitseman minimipaine-eron. Korotetaan venttiilin tarvitsemaa paine-eroa varmuuskertoimella 1,2, jolla varmistetaan paineen riittävyys. Paine-eroksi muodostuu 19,2 kPa. Tilan verkoston säätöpiirin ensimmäinen ja kauimmainen säätöventtiili varustetaan mittausyhteillä, jotta voidaan varmistaa paine-eron saavuttavan 16 kPa. Muilta venttiileiltä mittaus ei periaatteessa ole tarpeen, koska paine-eron voidaan olettaa pysyvän mittauksien välillä. Lisäksi se vähentää kokonaiskustannuksia eli on kustannustehokasta.

Kattosäteilijän mitoitusesimerkissä laskimme mitoitusvirtaamat. Jatketaan mitoitusta Belimon "Venttiilin mitoitus ja valinta"-ohjelmalla. Ensin haetaan saatavilla olevat paineriippumattomat 2-tiesäätöventtiilit ja seuraavaksi 6-tiesäätöventtiilit. Syötetään ohjelmaan mitoitusvirtaamat, jolloin saadaan sopiviksi säätöventtiileiksi esimerkiksi PIQCV C215QP-D tai 6-tiesäätöventtiili EP015R-R6+BAC. Valitaan säätöventtiileiksi C215QP-D ja säädettävän piirin päihin säätöventtiileiksi C215QPT-D, jotka sisältävät mittausyhteet.

Valitaan aikaisemman esimerkin mukaisesti verkoston haaran runkolinjaan mitausta varten linjasäätöventtiiliksi IMI STAD, mutta suunnitellaan ne säädettäväksi täysin auki-asentoon. Mahdollisia tarkistusmittauksia varten ilmoitetaan linjasäätöventtiilin esisäätöasetus, jolla venttiilille muodostuu painehäviötä +3 kPa varman mittauksien varmistamiseksi. Se lasketaan vastaavasti kuin aikaisemmassa esimerkissä ja tässä tapauksessa arvot ovat samat. Huomioitavaa on, ettei linjasäätöventtiilit ole välttämättömiä, koska paineesta riippumattomat säätöventtiilit tasapainottavat verkostoa tarpeen mukaan. Liitteessä 3 on esitetty mitoitusesimerkin mitoitus tiedot, jotka on laskettu Excel-ohjelmalla. Lisäksi liitteessä on esitetty suunniteltu tilan verkosto MagiCAD-ohjelmalla.

6.4.2 Verkoston toteutus

Paineesta riippumattomien säätöventtiilien toteutuksessa sovelletaan myös peruskäytäntöä, kuten luvussa 6.3. esitettyjä asioita. Mittauksia voidaan tehdä mitausyhteillä varustetuista PIQCV-venttiileiltä ja linjasäätöventtiileiltä. Elektronisesti toimivia paineesta riippumattomia säätöventtiileitä voidaan mitata ja säätää rakennusautomaation kautta. Seuraavaksi esitetään ohjekortin (RT 103452) kohdan 5.6 mukainen paineriippumattoman säätöventtiiliverkoston mittaus [10].

Paineriippumattoman säätöventtiiliverkoston mittaus

- Asetetaan venttiilit suunniteltuihin esisäätöarvoihin, jotka vastaavat suunniteltua virtaamaa sekä asetetaan pumppu vakiopaineelle.
- Varmistetaan mittaamalla, että kauimmaisessa piirissä on käytettävissä hieman enemmän paine-eroa, kuin venttiilin vaatima minimipaine-ero. Jos mitoittava piiri on tiedossa, tehdään mittaus myös sieltä.
- Paine-ero mitataan esimerkiksi suljettua venttiiliä vasten.
- Haarojen ja nousujen linjasäätöventtiilien virtaamat tarkistetaan asettamalla venttiili esisäätöarvolle, jolla saavutetaan mitoitusvirtaama vähintään 3 kPa:n paine-erolla. Kyseinen arvo on edellytys linjasäätöventtiilin luotettavan mittaustuloksen saavuttamiseksi. [10.]

7 Haastattelut

Haastattelut saatiin järjestettyä kolmen johtavan asiantuntijan kanssa opinnäytetyön loppupuolella. Haastattelussa käyty asiat koskivat paineesta riippumattomien säätöventtiilien suunnittelua ja toteutusta. Kooste haastattelukysymyksistä löytyvät liitteestä 4. Seuraavissa kappaleissa on viitattu kysymyksiin merkinnällä ^(x). Vastaukset ovat analysoitu ja referoitu.

7.1 Suunnittelu ja mitoitus

Säätöventtiilien mitoitus aloitetaan mitoituksen keskeisemällä tekijällä eli määritämällä tapauskohtaisesti rakennuksen jäähdytys- ja lämmitystehontarve sekä tyyppikohtaisesti sopivat lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät. Myös selvitetään mahdollisesti tiedossa olevat muutokset rakennukseen ja verkostoon, jotta voidaan kattaa ne mitoituksessa ja valinnassa. Tehontarpeesta muodostuvat muun muassa mitoitusvirtaamat. Tämän jälkeen paineesta riippumattomien säätöventtiilien (PICV) osalta mitoitus on melko yksinkertaista. Mitoitustyökalua hyödyntäen valikoidaan sopivan kokoinen säätöventtiili. Yleensä suositaan virtaama-alueen välimaastossa olevaa kokoa, jotta jää varaa mahdollisille muutoksille verkostoon ja sen virtaamiin. ^{(1 (2 [40; 41.]}

Suunnittelussa on tärkeää, että verkosto on suunniteltu järkevästi niin, ettei verkoston haaroihin muodostu tarpeettoman suuria kuristuksia ja painehäviöitä, jotka aiheuttavat esimerkiksi äänihaittoja. Ainakin kerrosrunгон alku- ja loppupään säätöventtiilit on hyvä varustaa mittausyhteillä. Tällöin voidaan mitattaessa olettaa myös näiden säätöventtiilien välissä olevien säätöventtiilien saavan tarpeeksi paine-eroa. Lisäksi voidaan selvittää tuliko mahdollisia poikkeavuuksia suunnittelijan teoreettisiin laskelmiin verraten toteutukseen ja mahdollisesti asennustyössä tehtyihin muutoksiin. ^{(2 (4 (5 [40.]}

Keskeiset tekijät verkoston mitoituksessa ovat säätöventtiilien ja pumpun mitoitus. On varmistettava, että pumppu kattaa paineen tuoton verkoston toiminnalle ja laitteille sekä niiden aiheuttamille painehäviöille. Pumppua ei tule alimitoitaa,

mutta ei myöskään ylimitoittaa, ellei jo sillä hetkellä ole tietoa tulevista huomattavista muutoksista. Muuten se vain lisää kustannuksia. ^{(2 (3 [42.]} Paineesta riippumattomat säätöventtiilit tarvitsevat tietyn paine-eron toimiakseen. Tämän vuoksi niiden vaatima paine-ero voi olla suurempi kuin paineesta riippumattomien, joka tulee huomioida pumpun mitoituksessa ja valinnassa. Muilta osin ei juuri ole poikkeavuutta. ^{(2 (3 [40.]}

Paineesta riippumattomaan säätöventtiiliverkoston ei lähtökohtaisesti tarvitse niiden lisäksi mitään muuta, kuin sulkuventtiilit ja mittausyhteet. Nämä sen vuoksi, että voidaan tarvittaessa mitata ja sulkea linjoja. Kaikki muu ylimääräinen haittaavat venttiilien toimintaa esimerkiksi linjasäätöventtiilit, jos ne säädetään jollekin esisäätöarvolle, muulle kuin täysin auki. Rakennusautomaatiikan (RAU) kautta voidaan tarkastella ja säätää pumpun toimintaa sekä sen kanssa yhteensopivia paineesta riippumattomia säätöventtiileitä. ^{(2 (3 (4 [42.]}

Säätöventtiilien valinta tulee suunnittelijalta sekä otetaanko niistä kaikki mahdollinen hyöty käytäntöön. Eli valitaanko paineesta riippumattomiksi säätöventtiileiksi mekaaninen, elektroninen vai energiaventtiili. Tarvittaessa voidaan yhdistää erityyppisiä ja eri valmistajien tuotteita, mutta on varmistettava, että mitoitukset ja toimivuus kattavat toisistaan eroavat ominaisuudet ja paine-ero vaatimukset. Lisäksi miten EPIV tai energiaventtiilit kytketään rakennusautomaatioon, eli onko se väyläpohjainen automaatoratkaisu, kuten Modbus vai analoginen (esimerkiksi 0–10 voltin) venttiiliohjaus. Nämä tulevat vaikuttamaan muun muassa siihen miten venttiiliä voidaan ohjata ja mitä tietoa venttiilin rekisteristä halutaan saada. ^{(6 [42.]}

7.2 Toteutus

Toteutus toteutetaan suunnitelmien mukaisesti, joten yksityiskohtien tulee olla mitoitettu oikein, tehty kokonaan ja merkattuna selvästi. Esimerkiksi suunnittelijan tulee ymmärtää säätöventtiilien mitoitus, jotta myös suunnitelmat ja toteutus onnistuvat. Lisäksi mitoittaa ja merkata suunnitelmiin selvästi esimerkiksi

säätöventtiilien esisäätöarvot ja pumpun nostokorkeudet, jotta niitä ei tarvitse toteutuksessa lähteä arpomaan. ^{(1 (2 (5} [42.]

Asennuksessa 6-tie EPIV säätöventtiilien osalta tulee huomioida ja tehdä kytkennät huolellisesti niin, että lämmitys- ja jäähdytysverkostojen putket menevät oikeille yhteille. Virhe tapauksessa viimeistään toimintakoetta tehtäessä RAU hälyttää, ettei huone viilene tai lämpene, ja missä verkoston osassa on poikkeamaa tai ongelmaa. ⁽⁴ [42.]

Säätö

Säätötyössä ratkaisevassa tekijässä ovat osaavat säätöyöntekijät, jotka tutustuvat huolellisesti suunnitelmiin. ⁽⁴ [40.] Mekaanisten paineesta riippumattomien säätöventtiilien (PIQCV) säätötyöt voidaan toteuttaa jo asennusvaiheessa, kun asetetaan toimilaitteella venttiilien asetusarvot. Ne säätävät ja tasapainottavat verkoston niin, että haluttu virtaama saavutetaan. ^{(4 (7} [41.]

Paineesta riippumattoman säätöventtiiliverkoston säätö ja tarkastelu on huomattavasti yksinkertaisempaa ja tehokkaampaa erityisesti RAU:n yhteensovittavien venttiilien osalta. RAU:n kautta voidaan etänä asettaa verkoston ja venttiilien mitoitusarvot, joiden mukaan venttiilit tasapainottavat verkoston. RAU hälyttää heti, jos jossain säätöventtiilissä tai verkoston osassa ilmenee poikkeamaa tai ongelmaa. Henkilö voi myös käydä säätämässä huonetiloihin eri asetusarvoja, jolloin RAU:n kautta tarkastellaan verkoston ja laitteiden toimintaa. Lisäksi huoneessa voidaan lämpökameran avulla tarkastella, vaihtuuko verkoston ja tilan lämpötila vai ei. Eli toimiiko säätöventtiilien säätö ja toiminta. ^{(4 (7 (8} [42.]

Kaiken kaikkiaan asetusarvojen syöttämiseen, verkoston tasapainotukseen ja sen tarkastukseen menee noin vuorokausi tai enintään muutama, riippuen valmisasteesta. Sen sijaan, kun jokainen paineesta riippuvainen säätöventtiili käydään käsin läpi kukin erikseen mitaten ja säätäen, siinä menee useampi vuorokausi tai viikko, riippuen poikkeuksista, kohteen koosta ja muuttuvista tekijöistä. Lisäksi vaatii useamman henkilön mittaukseen ja säätöön, jos halutaan ripeästi valmiiksi. Lisäksi tyypillisesti, kun paineesta riippumattomia säätöventtiileitä ei

tarvitse enää käyttöönoton jälkeen käydä tarkastuttamassa, mittaamassa ja säätämässä, välttyään esimerkiksi alakattojen kulumiselta ja useiden huolto-
luukkujen asentamiselta. Tämä vähentää niin ikään kustannuksia. ^{(4 (7 (8 [42.]}

Toimintakokeet ja käyttöönotto

Käyttöönotto aloitetaan verkoston toimintakokeilla, joilla varmistetaan järjestelmän, verkoston ja siihen liitettyjen laitteiden toimivuus. Toimintakokeet aloitetaan suunnittelijan mitoituksen teoreettisilla asetusarvoilla ja suoritetaan rakennuksen ääriolosuhteissa eli kesällä ja talvella. Tällöin voidaan varmistua verkoston toimivuus ja pumpun paineen riittävyys kokonaisuudessaan. Toimintakokeiden avulla säädetään verkosto niin, että se toimii luotettavasti ja energiatehokkaasti konkreettisessa verkostossa ja ympäristössä. Toimintakokeita tehtäessä voidaan RAU:n kautta jatkuttavasti suoraan tarkastella ja säätää tietokoneelta erilaisia säätöarvoja. Esimerkiksi millä pumpun tuotolla katetaan verkostolle riittävät paineet, joilla saavutetaan haluttu virtaama. Tällöin pumppu kuluttaa vähemmän energiaa, kuin mitä se kuluttaisi täysillä asetuksilla. Kun toimintakokeet ovat hyväksytysti suoritettu, voidaan verkosto ottaa käyttöön. ^{(4 (7 (8 [42.]}

Huolto

Mekaanisissa säätöventtiileissä huolto tulee ajankohtaiseksi viimeistään silloin kun huomataan, ettei esimerkiksi lämmönluovutin tuota lämpöä. Tällöin yleensä toimilaitteessa on ollut vikaa ja vika on korjaantunut, kun se on vaihdettu. ^{(9 [41.]} Elektronisissa säätöventtiileissä RAU mahdollistaa suoran yhteyden ja toimenpiteet, joiden mukaan järjestää huolto ja missä. Huollot voidaan yleensä suorittaa etänä säätäen tai tarvittaessa ylläpitohenkilöstö järjestää huoltohenkilön paikalle. Sähkökatkon tapauksessa, kuten tavallisesti, säätöventtiilien viimeisin toiminto jää päälle. Kuitenkin RAU tarjoaa mahdollisuuden varustaa järjestelmä, sen verkosto ja laitteet toimimaan toistaiseksi myös varavoimalla. ^{(9 [42.]}

Elinkaari on käytännössä sama kuin muissakin säätöventtiileissä, jonka valmistaja määrittää. Paineesta riippumattomien venttiilien hyvä muuntojoustavuus

yleensä mahdollistaa elinkaaren jatkumisen kohteessa, jos muutoksia tulee verkostoon. Valmistaja voi kehittää laitetta ja pidentää elinkaarta. ⁽⁹⁾ [40; 41; 42.]

7.3 Hyödyt

Paineesta riippumattomat säätöventtiilit sopivat oikeastaan mihin vain järjestelmiin, mutta erityisesti verkostoihin, joissa tarvitaan hyvää ja tarkkaa säätöä. PICV:lla on merkittävä etu erityisesti hankkeissa, joissa tiloja otetaan käyttöön vaiheittain. Koska ne ylläpitävät asetettua virtaamaa automaattisesti ja verkoston tasapaino säilyy käytännössä koko ajan, riippumatta siitä, kytketäänkö verkostoon uusia osia tai poistetaanko niitä käytöstä. Vaikka pumppujen säätö ja tarkistusmittaukset ovat edelleen tarpeen, laajamittaista mittaus- ja säätötyötä ei tarvita, kuten paineesta riippuvaisten säätöventtiilien kanssa. ^{(7 (8 (10 (11} [40.]

Paineesta riippuvaisten säätöventtiilien verkoston tasapainotus edellyttää tarkkaa mittaus- ja säätötyötä, jotta verkoston saa kohdilleen ja lämmönluovuttimet toimimaan tehokkaasti. Tämä voi viedä merkittävän osan ennestään tiukasta budjetista. Sen sijaan paineesta riippumattomilla säätöventtiileillä säätötyöt voidaan tehdä hetkessä jo asennusvaiheessa, kun määritellään toimilaitteelle mitoitusvirtaamaa vastaavat asetusarvot, jolloin PICV tasapainottaa käyttöön-otossa verkoston automaattisesti mitoitusvirtaamalle. ^{(7 (8 (11} [41.]

Ratkaisevat tekijät ovat olleet säätötöiden helppous ja muuntojoustavuus, kun on päädytty paineesta riippumattomiin säätöventtiileihin. Esimerkiksi suuret rakennukset ja muuttuvat verkostot, joissa säätötyöt ovat haastavia ja työläitä. Erityisesti jos on tiedossa tai voidaan pitää melko varmana tilamuutoksia rakennuksen tiloihin, kuten toimistorakennukset, joissa tilamuunnokset ovat tyypillisiä vuokralaisten vaihduttua. Myös sairaalat tai muut palvelutalot ovat olleet erityinen käyttökohde RAU:n kanssa yhteensopiville säätöventtiileille, koska sen kautta voidaan nopeasti ohjata käyttäjille haluamat olosuhteet tiloihin. ^{(7 (11} [41.]

Paineesta riippumattomat säätöventtiilit, jotka yhdistetään RAU:n sisältävät monipuolisia hyödyllisiä ominaisuuksia. Esimerkiksi mainittakoon mikrokuplan

tunnistus, jolla voidaan Modbus rekisterin kautta selvittää onko verkostossa mahdollisesti ilmaa ja kuinka paljon. Se on erittäin hyödyllinen toimintakoe ja käyttöönottovaiheessa sekä verkoston laajennuksessa, kun ei tarvitse arpoa miksi ei lämpene, kiertääkö vesi kunnolla vai onko ilmaa. ^{(7 (8 (11} [42.]

Säätöventtiilien määrän sekä niiden asennus-, mittaus- ja säätötöiden vähentyminen tuovat merkittäviä kustannussäästöjä, vaikka yksittäisten PICV-venttiilien hinta on korkeampi kuin paineesta riippuvaisten säätöventtiilien. Pienempi liittomäärä putkistossa vähentää painehäviöitä ja vuotoriskejä. Erityisesti säätötyön automatisointi tuo merkittäviä säästöjä toteutukseen ja käyttöön sekä tehostaa ylläpitohenkilöstön toimintaa. Lisäksi tiedonsaanti verkosta mahdollistaa energiatehokkuuden lisäämistä. PICV-venttiilit tehostavat suunnittelua ja toteutusta sekä varmistaa laadullisen rakennuksen luovuttamista. Ne vähentävät virheitä ja kustannuksia sekä säästävät aikaa ja rahaa. ^{(7 (8 (11} [42.]

Tyypillisiä kohteita RAU-verkostoverkostoventtiileille ovat esimerkiksi suuret julkiset rakennukset, laitokset, palvelu- ja toimistorakennukset. Pienempiin rakennuksiin, joiden säätö- ja käyttöaste sekä seurantarve ovat pienemmät niin soveltuvat hyvin mekaaniset PIQCV-venttiilit. Ne vähentävät osaltaan myös hankintakustannuksia. Paineesta riippuvalaiset säätöventtiilit käyvät myös ihan hyvin, mutta niiden toiminnan epävakaus ja säätötöiden aiheuttamat kustannukset ovat paineesta riippumattomiin säätöventtiileihin nähden merkittävät. ^{(10 (11} [42.]

7.4 Haasteet

Erityisenä haasteena voidaan pitää projektin eri osapuolten välistä kommunikatiota, erityisesti rakennuttajan, urakoitsijan, suunnittelijoiden, toimihenkilöiden, asentajien, mittaajien, säätäjien, ylläpitohenkilöstön sekä valvontaviranomaisten välillä. Osapuolten välinen yhteisymmärrys siitä, että kohde suunnitellaan ja toteutetaan paineesta riippumattomilla säätöventtiileillä. Tärkeää on tuoda esille mitä se tarkoittaa ja kuinka se eroaa versus paineesta riippuvaiseen säätöventtiiliverkostoon. ^{(5 (6 (12} [42.]

Eri asiantuntijoiden, kuten LVI- ja automaatioinsinöörien, tulee käydä suunnitelmat huolellisesti läpi ja yhteensovittaa näkemyksensä siten, että toteutuksella saavutetaan paineesta riippumattomien säätöventtiilien maksimaalinen hyöty. Projektin kokonaisvaltaisessa hallinnassa on huomioitava paitsi rakennuttajan budjetti ja aikarajat, myös rakennuksen käyttötarkoitus, energiatehokkuus, laatu, turvallisuus sekä käyttäjien tarpeet. Näiden tekijöiden yhdistäminen järkevästi mahdollistaa kokonaisvaltaisen suunnittelu- ja toteutustavan. ^{(5 (6 (12 [42.]}

On myös huomioitava, että kaikki eivät ole perehtyneitä paineesta riippumattomiin säätöventtiileihin. Esimerkiksi monet eivät tiedosta niiden toimintaa, vaan tarkastelevat asioita paineesta riippuvaisen säätöventtiiliverkoston näkökulmasta. Hämmennystä aiheuttaa usein se, että linjasäätöventtiilit asennetaan täysin auki tai ettei niitä asenneta yhtä paljon tai ollenkaan verkostoon. Pahimmassa tapauksessa linjasäätöventtiilit asetetaan väärälle esisäätöarvolle eli muulle kuin täysin auki tai niitä lisätään verkostoon. Tämä voi aiheuttaa haittaa verkostolle esimerkiksi kuristamalla verkoston osia tarpeettomasti, mikä lisää painehäviötä ja ääntä sekä aiheuttaa verkostoon tasapainottomuutta. ^{(5 [42.]}

Mittauspöytäkirja

Paineesta riippumattomien säätöventtiilien osalta mittauspöytäkirjan laatiminen voi olla haastavaa, koska ne perustuvat paineesta riippuvaisten säätöventtiilien ominaisuuksille. PICV-venttiileillä ei ole suoraan saatavilla perinteisiä esisäätöarvojen k_v -arvoja tai erillisiä yksittäisiä mittaustuloksia, koska PICV-venttiilit säätelevät virtaamaa automaattisesti paineen vaihteluista riippumatta. Lisäksi, jos verkostossa ei ole linjasäätöventtiileitä, myös niiden puuttumisen perustelemisen ja kirjaaminen voi olla haastavaa. Tämä johtuu siitä, että perinteisesti venttiileistä on tiedossa suunnitellut, säädetyt ja mitatut k_v -arvot, paine-erot sekä virtaamat asetetulla esisäätöarvolla. ^{(5 (12 [42.]}

Mekaanisissa paineesta riippuvaisissa säätöventtiileissä mittauspöytäkirja voidaan toteuttaa ennen käyttöönottoa niin, että käydään läpi venttiilit ja niiden toimilaitteiden asetusarvot sekä mittausyhteiden mittausarvot. Kirjataan asetus- ja mittausarvot ylös ja varmistetaan niiden vastaavan suunniteltuja. ^{(4 [41.]}

EPIV ja energiaventtiilien ajantasaiset asetusarvot ja virtaamat ovat tarkasteltavissa RAU-järjestelmän kautta. On kuitenkin huomioitava, että nämä arvot vaihtelevat jatkuvasti tilakohtaisesti käyttäjien määrittelemien olosuhteiden mukaan. Näitä tilapäisarvoja on periaatteessa epämääräistä kirjata asetusarvoiksi, koska ne ovat jatkuvassa muutoksessa ja nähtävissä reaaliaikaisesti. Näin ollen tyypillinen ratkaisu on ollut näyttää RAU:n reaaliaikainen data kirjaavalle viranomaisvalvojalle, joka hyväksyy sen. Tarvittaessa selittää, ettei tyypillistä mittauspöytäkirjaa ole saatavilla, koska kohteessa on paineesta riippumattomat säätöventtiilit. Tämä on hyvä tuoda esille jo projektin alkuvaiheessa kaikkien osapuolten kanssa, jotta vältetään epäselvyyksiltä. Tällöin niin rakennuttaja, suunnittelija, urakoitsija, toimihenkilöt sekä viranomaisvalvojat ovat tietäväisiä asiasta ja toteutuksen poikkeamista paineesta riippuvaisiin säätöventtiileihin. ⁽⁵⁾ ⁽⁶⁾ ⁽¹²⁾ [42.]

Parannukset

Suunnittelua voidaan parantaa laitevalmistajien kanssa käymällä läpi suunnitelmat, jolloin yhteistyöllä muodostuneet ratkaisut huomioidaan ennen toteutusta. ⁽⁶⁾ [40.] Suunnittelua ja toteutusta voidaan parantaa kehittämällä yhteistyötä ja informaatiota eri osapuolten kanssa. Laitevalmistaja jatkaa tuotteen kehittämistä ja parantaa tuotteen kestävyyttä, ominaisuuksia sekä erikoistaa huoltoa. ⁽⁶⁾ ⁽⁹⁾ [42.] Paineesta riippumattomien säätöventtiilien suunnittelua ja toteutusta tulisi korostaa edellä käsiteltyjen asioiden vuoksi. ⁽¹³⁾ [41; 42.]

8 Yhteenveto

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda suunnitteluohje säätöventtiileille. Työssä tarkasteltiin paineesta riippuvaisia ja paineesta riippumattomia säätöventtiileitä. Selvitettiin niiden toimintaa, mitoitusta, hyötyjä ja haasteita. Työssä tehtiin mitoitusesimerkkejä, joissa mitoitettiin kattosäteilijät tilan jäähdytys- ja lämmitystarpeisiin. Verkostoissa käytettiin molempia säätöventtiileitä. Esimerkit havainnollistivat mitoitusprosessin etenemistä vaiheittain, muuttuvien tekijöiden huomiointia sekä niiden vaikutusta lopputuloksiin. Lisäksi avattiin, mitä toteutusprosessissa tulee ottaa huomioon sekä miten se etenee vaiheittain. Tutkimusta syvennettiin haastatteluiden avulla, jotka toivat käytännön näkökulmia johtavilta asiantuntijoilta ja vahvistivat työn sisältöä sekä sen johtopäätöksiä.

Insinööriyön käsitellyt vaiheet suunnittelun ja mitoituksen osalta olivat

- rakennuksen ja sen tilojen tehontarpeiden määrittäminen
- lämmönluovuttimien ja mitoituslämpötilojen valinta
- tehon ja mitoitusvirtaaman laskenta
- säätöventtiilien mitoitus ja valinta
- painohäviöiden määrittäminen ja kapasiteettikertoimen laskeminen
- sopivan säätöventtiilin valinta k_{vs} -arvoltaan ja sen painehäviön laskenta
- säätöventtiilin vaikutusasteen eli auktoriteetin varmistaminen
- verkoston tasapainotus
- paineesta riippumattoman osalta minimipaine-eron varmistaminen
- pumpun mitoitus ja valinta.

Lämmönluovuttimien ja säätöventtiilien mitoituksessa tulee ottaa huomioon jokainen muuttuva tekijä, jotka vaikuttavat tavoitellessa parasta mahdollista lopputulosta. Paineella ylläpidetään virtaamaa ja katetaan verkoston painehäviöt, mutta se nostaa energiankulutusta ja äänitasoa. Sen vuoksi tulee pyrkiä pitämään painehäviöt matalina. Paineesta riippumattomat säätöventtiilit helpottavat järjestelmän tasapainottamista ja ylläpitoa. PICV-venttiilien dynaaminen toiminta tasapainottaa verkoston paineen ja virtaaman välisen suhteen. Venttiiliin sisäänrakennettu paine-erosäädin pitää venttiilin vaikutusasteen korkeana ja

verkoston virtaaman määrittelyssä mitoitusvirtaamassa. PICV-venttiilit tehostavat suunnittelua ja toteutusta sekä mittausta ja säätöä.

Insinööriyöstä koostui kattava kokonaisuus rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysverkoston asioista ja menetelmistä, joita tulee ottaa huomioon niiden suunnittelussa ja toteutuksessa. Työssä havainnollistettiin, että se on pitkä ja moniosainen prosessi, jossa on monia tekijöitä ja muuttujia, eikä mikään ole yksiselitteistä. Tämän vuoksi on tärkeää, että aiheesta tehdään tutkimuksia, kootaan ajantasaista tietoa sekä tuodaan esiin eri näkökulmia, tuloksia ja johtopäätöksiä. Nämä kehittävät alaa ja osajia kohti energiatehokasta ja ympäristöystävällistä suunnittelua ja toteutusta. Päämääränä on erityisesti vähentää ympäristöä kuormittavia tekijöitä hyödyntämällä päästöttömiä energialähteitä ja energiatehokkaita LVIA-ratkaisuja. Tavoitteeseen pyritään pääsemään huomioimalla järjestelmien, verkostojen ja laitteiden toimivuus sekä kokonaiskustannustehokkuus.

Lähteet

- 1 Innovatiivisten LVI-tuotteiden täydellinen valikoima. 2025. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/fi/fi_FI/>. Luettu 30.3.2025.
- 2 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi rakennusten energiatehokkuudesta. 2024. Direktiivi 2024/1275/EU. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 8.5.2024. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401275>. Luettu 30.3.2025.
- 3 Kauppinen, Jyrki. 2024. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin uudistus. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. <<https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuusdirektiivin-uudistus>>. Luettu 30.3.2025.
- 4 Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen energiatehokkuudesta. 2017. 1010/20.12.2017.
- 5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2018. Verkkoaineisto. Suomen ympäristöministeriö. <https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Ohje---Rakennuksen-energiankulutuksen-jalammitystehontarpeen-laskenta-20-12-2017-4332AA81_75E1_4CA0_B208_B0ACB60A267F-133692.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 6 Tasauslaskentaopas 2018: Rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuuden osoittaminen. 2017. Verkkoaineisto. Suomen ympäristöministeriö. <[https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-\(002\)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564](https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf/acb4fd5e-e622-c6e7-c0f0-97aa59de0886/Tasauslaskentaopas-2018-310317-181217-(002)-8DA891B6_94AC_4367_9E45_D59ECED00CCF-133703.pdf?t=1603260250564)>. Luettu 30.3.2025.
- 7 Alanne, Kari; Holopainen, Rauno; Hyvärinen, Juhani; Kaappola, Esko; Ketomäki, Jaakko; Kurnitski, Jarek; Könkö, Samuli; Pyly, Petri; Railio, Jorma; Seppänen, Olli; Vuolle, Mika; Vuorinen, Pekka & Yrjölä, Jukka. 2024. Rakennusten energiatekniikka. Helsinki: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
- 8 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2021. 2021. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <https://www.tornionenergia.fi/wp-content/uploads/2022/11/Julkaisu_K1_2021_Rakennusten_kaukolammitys_Maaraykset_ja_ohjeet_pdf.pdf>. Luettu 30.3.2025.

- 9 Jäähdytyksen mitoitusopas. 2024. Verkkoaineisto. Talotekniikkainfo. Equa Simulation Finland Oy. <https://talotekniikkainfo.fi/sites/default/files/2024-12/Jaahdytystehon_mitoitusopas_A4_20241220.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 10 Laiho, Esa-Matti. 1997. Lämmitystekniikka, säätöventtiilit. Oppimateriaali. Mikkelin Ammattikorkeakoulu, tekniikan koulutusyksikkö.
- 11 Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkot – virtauksien säätö. 2022. RT 103452. Rakennustieto.
- 12 SFS-EN 12266-1. 2012. Teollisuusventtiilit – Venttiilien testaus – Osa 1: Painetestit, testausmenetelmät ja hyväksymiskriteerit, pakolliset vaatimukset. Suomen Standardisoimisliitto.
- 13 Venttiilin mitoitus ja valinta. Mitoitusohjelma. 2025. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/fi/shop/fi_FI/sizing-and-selection>.
- 14 ASHRAE. 2020. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. Atlanta (GA): American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- 15 TalotekniikkaRYL 2002 Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002 Osa 1. 2002. LVI 01-10355. Rakennustieto.
- 16 Lämmitysverkoston säätöventtiilien mitoitus. 1989. LVI 12-10126. Rakennustieto.
- 17 Paineriippumattomat säätöpalloventtiilit. 2025. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/fi/fi_FI/products/valves/product-documentation/pressure-independent-control-valves>. Luettu 30.3.2025.
- 18 8 reasons to use pressure independent control valves. 2024. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/europe/marketing_communication/brochures-and-flyers/water_solutions/eu_en-gb/belimo_pressure-independent-valves_8-reasons_brochure_a4_emea_en-gb.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 19 Project planning notes. Pressure-independent zone valve PIQCV. 2020. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/europe/technical-documentation/project_planning_notes/belimo_notes-for-project-planning_PIQCV_en-gb.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 20 PIQCV toimintaperiaate. 2024. Yrityksen sisäinen aineisto. Belimo.

- 21 Tekninen tuote-esite. C2..QP(T)-.. 2024. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo_C2..QP_T_-.._datasheet_fi-fi.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 22 Pressure Independent Valve Technology. 2019. Verkkoaineisto. Belimo <<https://blog.belimo.com/blog/pressure-independent-valve-technology>>. Luettu 30.3.2025.
- 23 Tekninen tuote-esite. EP..R2+BAC. 2024. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo_EP..R2_BAC_datasheet_fi-fi.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 24 Tekninen tuote-esite. EV..R2+BAC. 2024. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo_EV..R2_BAC_datasheet_fi-fi.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 25 Tekninen tuote-esite. EP..R-R6+BAC . 2024. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo_EP..R-R6_BAC_datasheet_fi-fi.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 26 Venttiilin toimilaitteet. 2025. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/fi/fi_FI/products/actuators/product-documentation/valve-actuator>. Luettu 30.3.2025.
- 27 Belimo Characterised Control Valve 8 Advantages. 2018. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/europe/marketing_communication/brochures-and-flyers/water_solutions/eu_en-gb/belimo_advantages-belimo-characterised-control-valve_flyer_web_en-eu.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 28 EU BAC. 2021. System Balancing for Technical Building Systems. 2021. Verkkoaineisto. The European Building Automation and Controls Association. <https://eubac.org/wp-content/uploads/2021/03/20220520_eubac_System_Balancing_for_TBS.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 29 Tekninen tuote-esite. ItuGraf® Tekninen esite 2.6. 2025. Verkkoaineisto. Itula. <<https://itula.fi/materiaalipankki/>>. Luettu 30.3.2025.
- 30 Kattosäteilypaneelien oikeanlainen suunnittelu. 2015. Verkkoaineisto. Itula. <<https://itula.fi/ajankohtainen/kattosateilypaneelien-oikeanlainen-suunnittelu/>>. Luettu 30.3.2025.
- 31 SFS-EN 14037. 2016. Vapaasti roikkuvat lämmitys ja jäähditys pinnat alle 120 °C tuloveden lämpötilalle. Suomen Standardisoimisliitto.

- 32 SFS-EN 14240. 2004. Ventilation for buildings – Chilled ceilings – Testing and rating. Suomen Standardisoimisliitto.
- 33 ItuCalc – mitoitusohjelma. 2025. Verkkoaineisto. Itula. <<https://itula.fi/ratkaisut/mitoitusohjelma-suunnitteluun/>>. Luettu 30.3.2025.
- 34 Tekninen tuote-esite. IMI TA STAD. 2024. Verkkoaineisto. IMI plc. <<https://climatecontrol.imiplc.com/fi-fi/tuotteet/stad-pn-25>>. Luettu 30.3.2025.
- 35 Tekninen tuote-esite. C2..Q-.. 2024. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo_C2..Q-.._datasheet_fi-fi.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 36 Tekninen tuote-esite. R3015-...-B1. 2025. Verkkoaineisto. Belimo. <https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/fi-fi/belimo_R3015-...-B1_datasheet_fi-fi.pdf>. Luettu 30.3.2025.
- 37 Nestekiertoiset lämmitys- ja jäähdytysverkostot – Huonelämpötilojen säätö. 2022. RT 103453. Rakennustieto.
- 38 Airsepex® täytöt ja huuhtelut. Verkkoaineisto. Termotohtori Oy. <<https://www.termotohtori.fi/>>. Luettu 30.3.2025.
- 39 Putkistojen ja kanavien kannatus. 2022. RT 103447. Rakennustieto.
- 40 Tapaninen, Lari. 2025. LVIA-suunnittelupäällikkö, Ramboll Finland Oy, Espoo. Sähköposti. Haastattelu 4.3.2025.
- 41 Harju-Säntti, Erkki. 2025. DI, projektipäällikkö, Granlund Oy, Vaasa. Teams-haastattelu 14.3.2025.
- 42 Myyryläinen, Mikko. 2025. Johtava Asiantuntija, Caverion Suomi Oy, Helsinki. Teams-haastattelu 14.3.2025.

Mitoitusesimerkki kattosäteilijä



ItuGraf

Mitoituslämpötilat esimerkki 1.

}}} Lämmitys

Menoveden lämpötila	40°C	dT lämpötilaero	14 K
Paluuveden lämpötila	30°C	Veden dT	10 K
Huoneenlämpö	21°C		
Teho	561 W	Moduuliteho alalle	197 W/m ²
Virtaustyyppi	Muutosvyöhyke	Painehäviö	3.31 kPa
Veden nopeus	0.22 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.013 l/s	Kokonaispainehäviö	3.61 kPa

Mitoituslämpötilat esimerkki 2.

}}} Lämmitys

Menoveden lämpötila	35°C	dT lämpötilaero	11.5 K
Paluuveden lämpötila	30°C	Veden dT	5 K
Huoneenlämpö	21°C		
Teho	444 W	Moduuliteho alalle	156 W/m ²
Virtaustyyppi	Turbulenttinen	Painehäviö	7.49 kPa
Veden nopeus	0.35 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.021 l/s	Kokonaispainehäviö	7.79 kPa

Mitoituslämpötilat esimerkki 3.

}}} Lämmitys

Menoveden lämpötila	40°C	dT lämpötilaero	16.5 K
Paluuveden lämpötila	35°C	Veden dT	5 K
Huoneenlämpö	21°C		
Teho	681 W	Moduuliteho alalle	239 W/m ²
Virtaustyyppi	Turbulenttinen	Painehäviö	15.47 kPa
Veden nopeus	0.54 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.033 l/s	Kokonaispainehäviö	15.77 kPa

<https://www.itula.fi/>

Kattosäteilijän lämmitysverkoston erilaisia mitoitus tietoja [33].



ItuGraf

Mitoituslämpötilat esimerkki 1.

* Jäähdytys

Menoveden lämpötila	15°C	dT lämpötilaero	8.5 K
Paluuveden lämpötila	18°C	Veden dT	3 K
Huoneenlämpö	25°C		

Teho	335 W	Moduuliteho alalle:	118 W/m ²
------	-------	---------------------	----------------------

Virtaustyyppi	Muutosvyöhyke	Painehäviö	12.19 kPa
Veden nopeus	0.44 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.027 l/s	Kokonaispainehäviö	12.49 kPa

Mitoituslämpötilat esimerkki 2.

* Jäähdytys

Menoveden lämpötila	14°C	dT lämpötilaero	9.5 K
Paluuveden lämpötila	17°C	Veden dT	3 K
Huoneenlämpö	25°C		

Teho	379 W	Moduuliteho alalle:	133 W/m ²
------	-------	---------------------	----------------------

Virtaustyyppi	Turbulenttinen	Painehäviö	15.26 kPa
Veden nopeus	0.50 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.030 l/s	Kokonaispainehäviö	15.56 kPa

Mitoituslämpötilat esimerkki 3.

* Jäähdytys

Menoveden lämpötila	13°C	dT lämpötilaero	10.5 K
Paluuveden lämpötila	16°C	Veden dT	3 K
Huoneenlämpö	25°C		

Teho	424 W	Moduuliteho alalle:	149 W/m ²
------	-------	---------------------	----------------------

Virtaustyyppi	Turbulenttinen	Painehäviö	18.69 kPa
Veden nopeus	0.56 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.034 l/s	Kokonaispainehäviö	18.99 kPa

<https://www.itula.fi/>

Kattosäteilijän jäähdytysverkon erillisiä mitoitus tietoja [33].



ItuGraf

Kattosäteilijän mitoitus tiedot

}}} Lämmitys

Menoveden lämpötila	35°C	dT lämpötilaero	11.5 K
Paluuveden lämpötila	30°C	Veden dT	5 K
Huoneenlämpö	21°C		
Teho	444 W	Moduuliteho alalle	156 W/m ²
Virtaustyyppi	Turbulenttinen	Painehäviö	7.49 kPa
Veden nopeus	0.35 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.021 l/s	Kokonaispainehäviö	7.79 kPa

* Jäähdytys

Menoveden lämpötila	14°C	dT lämpötilaero	9.5 K
Paluuveden lämpötila	17°C	Veden dT	3 K
Huoneenlämpö	25°C		
Teho	379 W	Moduuliteho alalle:	133 W/m ²
Virtaustyyppi	Turbulenttinen	Painehäviö	15.26 kPa
Veden nopeus	0.50 m/s	Letkujen painehäviö	0.30 kPa
Vesivirta	0.030 l/s	Kokonaispainehäviö	15.56 kPa

<https://www.itula.fi/>

Kattosäteilijän mitoitus tiedot ItuCalc-mitoitusohjelmalla [33].

Mitoitusesimerkki kattosäteilijä
Lämmitys

Mitoituslämpötilat (°C)

t_m	t_p	t_s	Kaava (8)
35	30	21	ΔT_m 11,5

Paneelin valinta

ItuGraf®

Paneelin koko

1190 x 2390 mm

Lähde (29)		Kaava (17)	Määrä (kpl)
K	n	Teho (W)	Teho (W)
24,576	1,185	444	1776

Mitoitusesimerkki kattosäteilijä
Jäähdytys

Mitoituslämpötilat (°C)

t_m	t_p	t_s	Kaava (8)
14	17	25	ΔT_m 9,5

Paneelin valinta

ItuGraf®

Paneelin koko

1190 x 2390 mm

Lähde (29)		Kaava (17)	Määrä (kpl)
K	n	Teho (W)	Teho (W)
30,608	1,1177	379	1516

Kattosäteilijän mitoitus tiedot laskettuna Excel-ohjelmalla.

Mitoitusesimerkki paineesta riippuvainen säätöventtiili

Mitoitusesimerkki kattosäteilijä

Lämmitys

Mitoituslämpötilat (°C)

			Kaava (8)
t_m	t_p	t_s	ΔT_m
35	30	21	11,5

Paneelin valinta

ItuGraf®

Paneelin koko
1190 x 2390 mm

Lähde (29)		Kaava (17)	Määrä (kpl)
K	n	Teho (W)	Teho (W)
24,576	1,185	444	1776

Mitoitusesimerkki

Paineesta riippuvainen säätöventtiili

Lämmitys

Mitoitustiedot

Mitoitusvirtaama (l/s)

35/30 °C				Kaava (6)
Teho (kW)	ΔT (°C)	c_p (kJ/kg°C)	ρ (kg/l)	q_v (l/s)
0,444	5	4,179	0,995	0,021
1,776	Runkolinja			0,085

Säätöpiirin painehäviöt (kPa)		
Lähde (33)	Arvio	Kuva (17)
$\Delta p_{\text{säteilijä}}$	$\Delta p_{\text{putkisto+muut}}$	Δp_{LSV} (kPa)
7,79	2	6

Yht. muu säätöpiiri	Arvio	Kaava nro (11)
Δp_{piiri}	Δp_{SV}	k_v (m ³ /h)
16	16	0,19

Säätöventtiili			
C215Q-F	Lähde (35)	Kaava (12)	Kaava (13)
Esisäätöasetus (ES)	k_{vs} (m ³ /h)	Δp_{SV} (kPa)	Auktoriteetti
Asetus (2)	0,14	30	0,66
Asetus (3)	0,2	15	0,48
Asetus (4)	0,3	7	0,29
Lähde (36)			
6-tie säätöventtiili	k_{vs} (m ³ /h)	Δp_{SV} (kPa)	Auktoriteetti
R3015-P25-P25-B1	0,25	9	0,37

Valitaan

Lämmitysverkoston paineesta riippuvan säätöventtiilin mitoitus tiedot.

Linjasäätöventtiilin mitoitus

Lämmitys

Haaran runkolinja

Linjasäätöventtiili
IMI TA STAD
Virtaama q_v (l/s)
0,085

DN20	Lähde (34)	Kaava (12)	
Esisäätöasetus (ES)	k_{vs} (m ³ /h)	Δp_{LSV} (kPa)	
1	0,781	16	
1,5	1,22	6,4	Valitaan
2	1,95	2	

Verkoston painehäviöt (kPa)

$\Delta p_{\text{säteilijä}}$	$\Delta p_{\text{putkisto+muut}}$	Δp_{SV}	Δp_{LSV}	$\Delta p_{\text{yhteensä}}$
7,79	2	15	6,4	31

Lämmitysverkoston pumpun paineenkorotus tilan verkostolle on 31 kPa.

Lämmitysverkoston linjasäätöventtiilin mitoitus tiedot.

Mitoitusesimerkki kattosäteilijä
Jäähdytys

Mitoituslämpötilat (°C)

			Kaava (8)
t_m	t_p	t_s	ΔT_m
14	17	25	9,5

Paneelin valinta

ItuGraf®

Paneelin koko

1190 x 2390 mm

		Määrä (kpl)	
Lähde (29)		Kaava (17)	4
K	n	Teho (W)	Teho (W)
30,608	1,1177	379	1516

Mitoitusesimerkki

Paineesta riippuvainen säätöventtiili

Jäähdytys

Mitoitustiedot

Mitoitusvirtaama (l/s)

		14/17 °C			Kaava (6)
Teho (kW)	ΔT (°C)	c_p (kJ/kg°C)	ρ (kg/l)	q_v (l/s)	
0,379	3	4,186	0,999	0,030	
1,516	Runkolinja			0,121	

Säätöpiirin painehäviöt (kPa)		
Lähde (33)	Arvio	Kuva (19)
$\Delta p_{\text{säteilijä}}$	$\Delta p_{\text{putkisto+muut}}$	Δp_{LSV} (kPa)
15,56	2	5

Yht. muu säätöpiiri	Arvio	Kaava (11)
Δp_{piiri}	Δp_{SV}	k_v (m ³ /h)
23	23	0,23

Säätöventtiili			
C215Q-F	Lähde (35)	Kaava (12)	Kaava (13)
Esisäätöasetus (ES)	k_{vs} (m ³ /h)	Δp_{SV} (kPa)	Auktoriteetti
Asetus (2)	0,14	60	0,73
Asetus (3)	0,2	30	0,57
Asetus (4)	0,3	13	0,37

* Toimintakoe

* Kuva 19

Lähde (36)			
6-tie säätöventtiili	k_{vs} (m ³ /h)	Δp_{SV} (kPa)	Auktoriteetti
R3015-P25-P25-B1	0,25	19	0,46

Jäähdytysverkoston paineesta riippuvan säätöventtiilin mitoitustiedot.

Linjasäätöventtiilin mitoitus

Jäähdytys

Haaran runkolinja

Linjasäätöventtiili
IMI TA STAD
Virtaama q_v (l/s)
0,121

DN20	Lähde (34)	Kaava (12)	
Esisäätöasetus (ES)	k_{vs} (m ³ /h)	Δp_{SV} (kPa)	
1	0,781	31	
1,5	1,22	13	
2	1,95	5	Valitaan
2,5	2,71	3	

Säätöventtiilien tasapainotus

Toimintakokeilla tarkastetaan verkoston tasapaino.

Tarvittaessa säädetään säätöventtiilien toimintaa.

Säätöasetuksella 4. $k_{vs} = 0,3$ Δp_{SV} (kPa) = 13 $\beta = 0,37$

Jos matala paine ei huojuta virtaamaa ja tehoa, energiankulutus pysyy pienempänä.

Tällöin jäähdytysverkoston pumpun paineenkorotus tilan verkostolle on 36 kPa.

Jos se ei riitä,

Säätöasetuksella 3. $k_{vs} = 0,2$ Δp_{SV} (kPa) = 30 $\beta = 0,57$

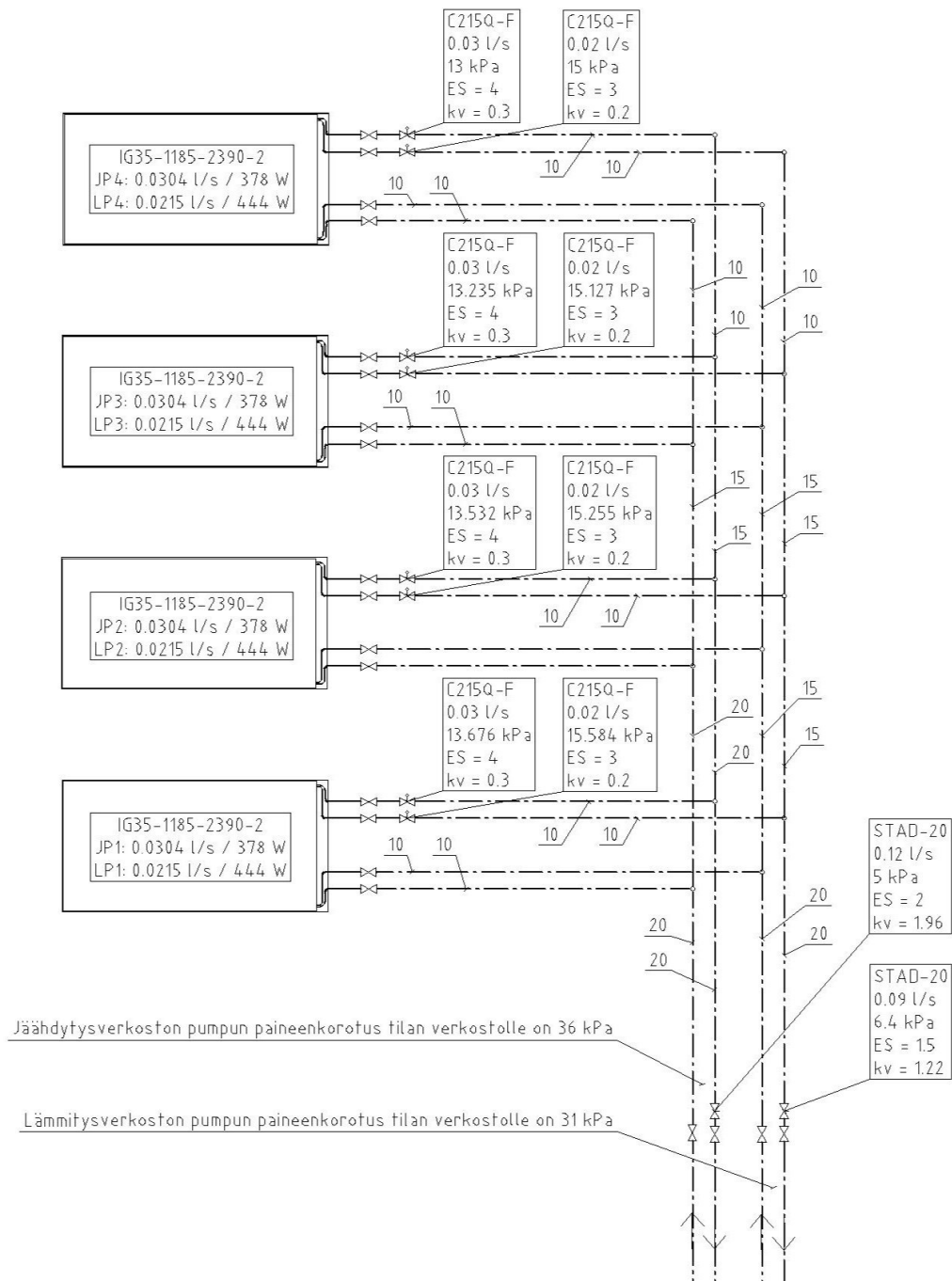
Pumpun paineenkorotusta on lisättävä.

Tällöin jäähdytysverkoston pumpun paineenkorotus tilan verkostolle on 52 kPa.

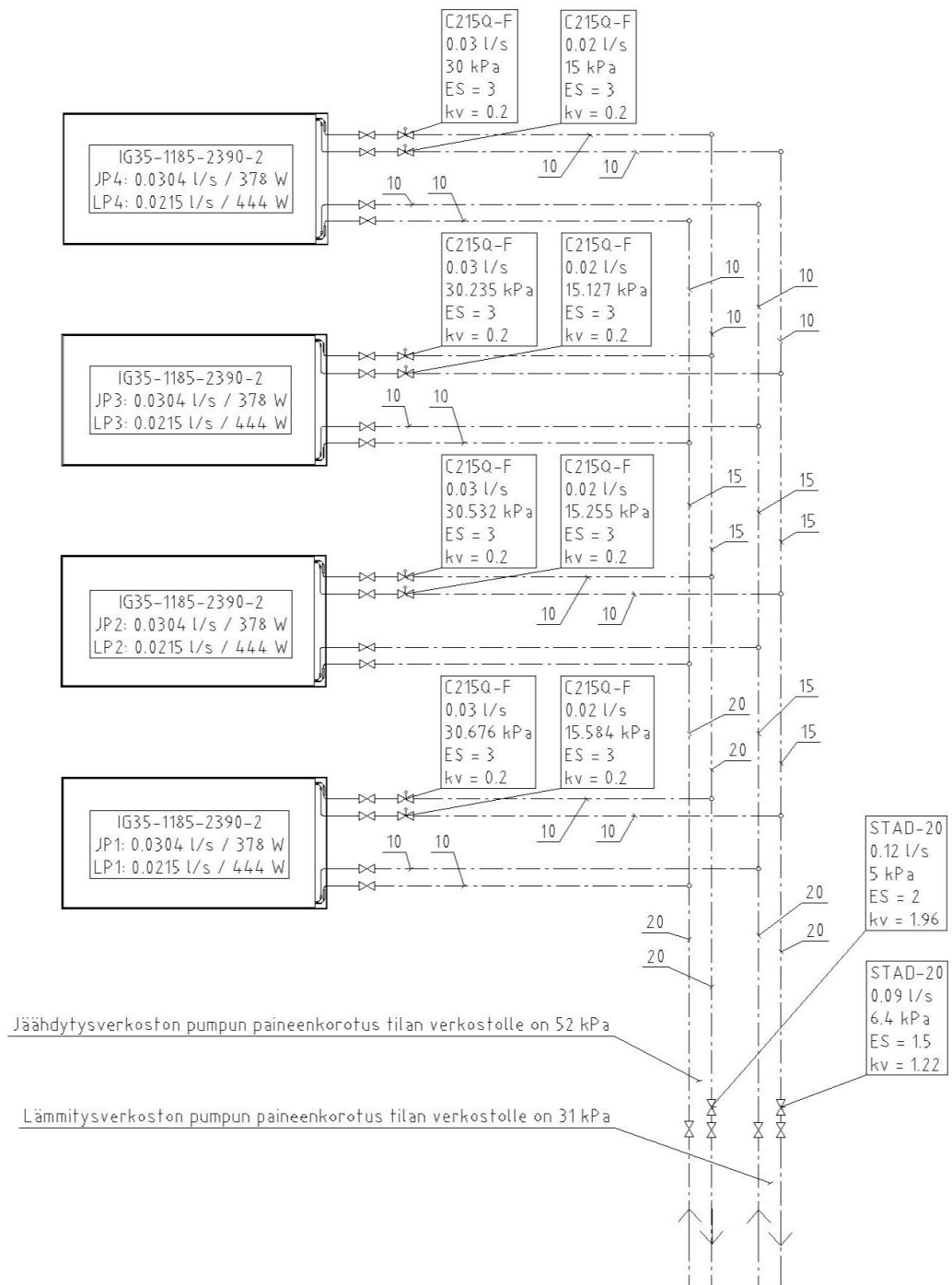
Verkoston painehäviöt (kPa)

$\Delta p_{\text{säteilijä}}$	$\Delta p_{\text{putkisto+muut}}$	Δp_{SV}	Δp_{LSV}	$\Delta p_{\text{yhteensä}}$
15,56	2	13	5	36
15,56	2	30	5	52

Jäähdytysverkoston linjasäätöventtiilin mitoitustiedot.



Paineesta riippuvainen säätöventtiiliverkosto jäähdytyksen ES asetuksella 4.



Paineesta riippuvainen säätöventtiiliverkosto jäähdytyksen ES asetuksella 3.

Mitoitusesimerkki paineesta riippumaton säätöventtiili

Mitoitusesimerkki kattosäteilijä

Lämmitys

Mitoituslämpötilat (°C)

			Kaava (8)
t_m	t_p	t_s	ΔT_m
35	30	21	11,5

Paneelin valinta

ItuGraf®

Paneelin koko

1190 x 2390 mm

		Määrä (kpl)	
Lähde (29)		Kaava (17)	4
K	n	Teho (W)	Teho (W)
24,576	1,185	444	1776

Mitoitusesimerkki

Paineesta riippumaton säätöventtiili (PIQCV)

Lämmitys

Mitoitustiedot

Mitoitusvirtaama (l/s)

				35/30 °C	Kaava (6)
Teho (kW)	ΔT (°C)	c_p (kJ/kg°C)	ρ (kg/l)	q_v (l/s)	
0,444	5	4,179	0,995	0,021	
1,776	Runkolinja			0,085	

Säätöventtiilin valinta

Säteilijät

Säätöventtiili	Lähde (21)
C215QP-D	Δp min. 16 kPa
Asetus (ES)	V'_{max} (l/s)
2	0,019
3	0,028
3+	0,031

Valitaan

Haaralinjaan (ei välttämätön)

Linjasäätöventtiili IMI TA STAD	
Oletusasetus	Lähde (34)
(ES)	Δp_{LSV} (kPa)
Täysin auki	0
Mitattaessa (ES)	Kuva (17)
1,5	6

Verkoston painehäviöt (kPa)

PIQCV vaatii paine-eroksi vähintään 16 kPa.

Mitoitetaan se varmuuskertoimella 1,2.

Lähde (33)	Arvio			
$\Delta p_{\text{säteilijä}}$	$\Delta p_{\text{putkisto+muut}}$	$\Delta p_{\text{PIQCV,säteilijä}}$	Δp_{LSV} (kPa)	Δp yhteensä
7,79	2	19,2	0	29
			6	35

Lämmitysverkoston pumpun paineenkorotus tilan verkostolle on 29 kPa.

Verkoston haaraa mitattaessa linjasäätöventtiililtä tarvitsee paineeksi 35 kPa.

Paineesta riippumattoman lämmitysverkoston mitoitus tiedot.

Mitoitus esimerkki kattosäteilijä
Jäähdytys

Mitoituslämpötilat (°C)

			Kaava (8)
t_m	t_p	t_s	ΔT_m
14	17	25	9,5

Paneelin valinta

ItuGraf®

Paneelin koko

1190 x 2390 mm

		Määrä (kpl)	
Lähde (29)		Kaava (17)	4
K	n	Teho (W)	Teho (W)
30,608	1,1177	379	1516

Mitoitus esimerkki

Paineesta riippumaton säätöventtiili (PIQCV)

Jäähdytys

Mitoitustiedot

Mitoitusvirtaama (l/s)

		14/17 °C			Kaava (6)
Teho (kW)	ΔT (°C)	c_p (kJ/kg°C)	ρ (kg/l)	q_v (l/s)	
0,379	3	4,186	0,999	0,030	
1,516	Runkolinja			0,121	

Säätöventtiilin valinta

Säteilijät

Säätöventtiili	Lähde (21)
C215QP-D	Δp min. 16 kPa
Asetus (ES)	V' max (l/s)
3	0,028
3+	0,031
4-	0,036

Valitaan

Haaralinjaan (ei välttämätön)

Linjasäätöventtiili IMI TA STAD	
Oletusasetus	Lähde (34)
(ES)	Δp_{LSV} (kPa)
Täysin auki	0
Mitattaessa (ES)	Kuva (19)
2	5

Verkoston painehäviöt (kPa)

PIQCV vaatii paine-eroksi vähintään 16 kPa.

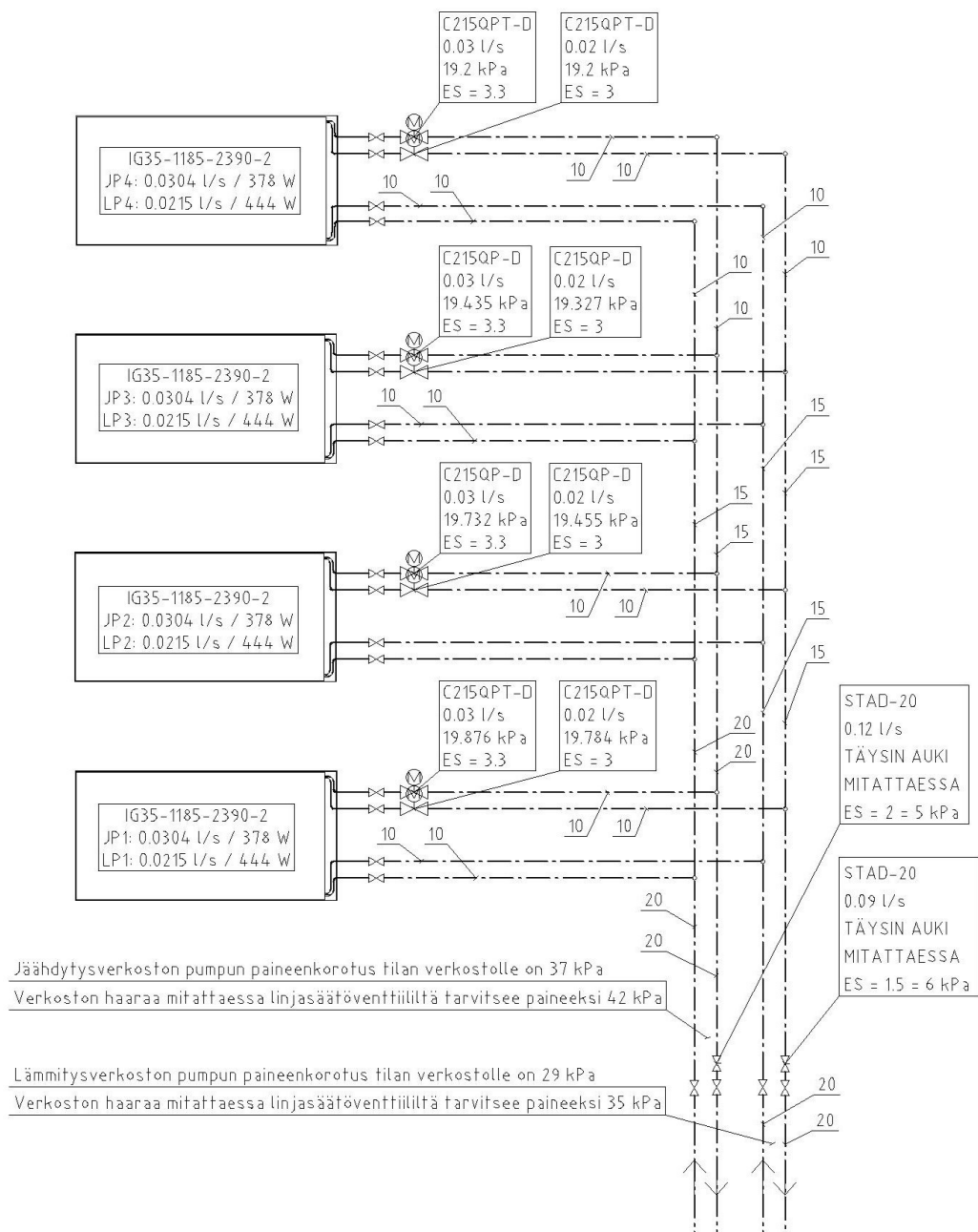
Mitoitetaan se varmuuskertoimella 1,2.

Lähde (33)	Arvio			
$\Delta p_{\text{säteilijä}}$	$\Delta p_{\text{putkisto+muut}}$	$\Delta p_{\text{PIQCV,säteilijä}}$	Δp_{LSV} (kPa)	Δp yhteensä
15,56	2	19,2	0	37
			5	42

Jäähdytysverkoston pumpun paineenkorotus tilan verkostolle on 37 kPa.

Verkoston haaraa mitattaessa linjasäätöventtiilitä tarvitsee paineeksi 42 kPa.

Paineesta riippumattoman jäähdytysverkoston mitoitus tiedot.



Paineesta riippumaton säätöventtiiliverkosto.

Haastattelujen kysymykset

Haastattelun kysymykset koskivat paineesta riippumattomien säätöventtiilien suunnittelua, toteutusta, hyötyjä ja haasteita.

1. Millainen on suunnittelun työjärjestys?
2. Mitoituksen keskeiset tekijät?
3. Miten paineesta riippumattomat säätöventtiilit vaikuttavat pumpun valintaan?
4. Keskeisimmät asiat säädössä, tasapainotuksessa ja käyttöönotossa?
5. Suunnittelun ja/tai toteutuksen haasteita? Olisiko niitä voinut ennaltaehkäistä?
6. Miten suunnittelua ja/tai toteutusta voisi parantaa?
7. Paineesta riippumattomien säätöventtiilien suurimmat hyödyt?
8. Minkälainen näkemys on siitä, kuinka paljon arvokkaampi ja kannattavampi paineesta riippumattomat säätöventtiilit ovat kuin paineesta riippuvalaiset? Mitkä tekijät osaltaan vaikuttavat tähän?
9. Millainen on paineesta riippumattomien säätöventtiilien elinkaari ja huolto?
10. Mihin järjestelmiin paineesta riippumattomat säätöventtiilit erityisesti sopivat?
11. Mitkä ovat olleet ratkaisevat tekijät, kun on päädytty paineesta riippumattomiin säätöventtiileihin?
12. Poikkeako lupakäsittely, selvitykset, katselmukset tai muut viranomaisasiat? Esimerkiksi mittauspöytäkirja. Miten? Versus perinteisten paineesta riippuvaisten säätöventtiilien toteutukseen.
13. Millaisen tulevaisuuden näette paineesta riippumattomille säätöventtiileille? Tulisiko niiden suunnittelua ja toteutusta erityisesti korostaa, jotta niistä tulisi vallitsevia?