

Jukka Hiilivirta

Kuusitieventtiin toiminta ja mitoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Talotekniikka

Insinöörityö

12.4.2018

Tekijä Otsikko	Jukka Hiilivirta Kuusitieventtiin toiminta ja mitoitus
Sivumäärä Aika	69 sivua + 2 liitettä 12.4.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	talotekniikka
Ammatillinen pääaine	LVI, suunnittelupainotteinen
Ohjaaja	yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Insinööriyön tavoitteena oli selvittää talotekniikan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytettävän kuusitieventtiin toiminta. Tämä toteutettiin käyttäen pääosin lähteenä valmistajien teknisiä esitteitä ja asiantuntijoiden kanssa käytyjä sähköpostikeskusteluja. Venttiin mitoitusta on havainnollistettu omakohtaisin laskelmin.</p> <p>Alussa kerrotaan yleisesti kuusitieventtiin toimintaperiaatteesta ja muutamasta vastaavalaisesta toteutuksesta, joilla saadaan aikaan samanlainen toimintaperiaate. Kuusitieventtiin toimintaperiaatteen selvittämisen jälkeen tarkastellaan auktoriteetin vaikutusta säätöpiirin säädettävyyteen ja käydään läpi paineesta riippuva toteutus ja paineesta riippumaton toteutus. Ennen kahdeksan eri valmistajan tarjonnan läpikäymistä selvitetään vielä kuusitieventtiin ja vinoistukkamallisen paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiin rakenteet erään valmistajan tarjoamilla mallikappaleilla.</p> <p>Lopussa käydään läpi kaksi mitoitusesimerkkiä: yksi paineesta riippuvasta toteutuksesta ja yksi paineesta riippumattomasta toteutuksesta.</p> <p>Kuusitieventtiili soveltuu kohteisiin, joissa yksi päätelaite hoitaa kohdehuoneen lämmityksen ja jäähdytyksen. Niissä sen käytöllä päästään vähemmällä liitostöillä ja tarvitaan vähemmän toimilaitteita verrattuna vaihtoehtoisin menetelmiin. Kuusitieventtiili voi toimia pelkästään vaihtokytkimenä lämmitys- ja jäähdytystoiminnoille. Se voi myös toimia virtaaman säätölaitteena.</p>	
Avainsanat	6-tieventtiili, kuusitieventtiili, säätöventtiili, paineesta riippumaton, vaihtoventtiili

Author(s) Title	Jukka Hiilivirta Six-way valve's function and sizing
Number of Pages Date	69 pages + 2 appendices 12 April 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering, Desing Orientation
Instructor(s)	Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The goal of this bachelor's thesis was to clarify sizing and function of a six-way valve used for heating and cooling systems in building services engineering. Most of the literature studied were documents found from manufacturers' websites. For defining the process of sizing a six-way valve, mathematical formulas in building services engineering was used along with information obtained from e-mail conversations with manufacturers' experts.</p> <p>The principle of a six-way valve is to combine heating and cooling functions to one terminal device such as radiant ceiling panels. The six-way valve switches between the two systems depending on temperature of target room and therefore transmits heating or cooling water to terminal device. The implementation can be pressure depended which means the water stream trough six-way valve has to be controlled due to pressure changes in used system. In pressure independent solution an additional pressure independent control valve is added between six-way valve and terminal device to keep water stream constant from pressure changes in used system.</p> <p>The results of this bachelor's thesis is a source of information that clarifies six-way valve, so reader can find all necessary information about it such as its function, supply, structure, solutions and sizing.</p>	
Keywords	6-way valve, control valve, pressure independent, change over valve

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Kuusitieventtiili	1
3	Ominaiskäyrät ja auktoriteetti	2
4	Rakenne	10
5	Toiminta	15
5.1	Vaihtokytkimenä toimiva kuusitieventtiili	16
5.2	Paineesta riippuva toteutus	16
5.3	Paineesta riippumaton toteutus	16
5.4	Paineesta riippumaton kaksitiesäätöventtiili	17
6	Valmistajat	22
6.1	Belimo	22
6.2	Danfoss	28
6.3	Frese	31
6.4	IMI Hydronic Engineering	35
6.4.1	TA-Modulator	35
6.4.2	TA-COMPACT-P	37
6.4.3	STAD	38
6.5	Johnson Controls	41
6.6	Nenutec	43
6.7	Sauter	44
6.8	Swegon	48
7	Mitoitusesimerkit	51
7.1	Paineesta riippuva toteutus	51
7.2	Paineesta riippumaton toteutus	59
8	Päätelmät	63

9	Yhteenveto	65
	Lähteet	67
	Liitteet	
	Liite 1. Paineesta riippuva toteutus	
	Liite 2. Paineesta riippumaton toteutus	

Käsitteet

Kuusitieventtiili

Venttiili, jossa on kuusi virtausyhdetä. Valmistajien esitteistä löydettyjä nimityksiä ovat mm. 6-tieventtiili, 6-way valve, six-way valve, 6-tievyöhykeventtiili, 6-way zone valve, 6-tie säätöventtiili, six-way control valve, 6-way characterised control valve, 6-way CCV, 6-tie säätöpalloventtiili, 6-way controlballvalve, six-way ball valve, 6-port motorised ball valve, Compact Change Over (CCO), 6-tievaihtoventtiili, 6-way switch valve

Paineesta riippuva säätöventtiili

Rajoittaa päätelaitteen virtaamaa toimilaitteen avulla. Verkoston painenvaihtelut vaikuttavat venttiilin virtaamaan.

Paineesta riippumaton säätöventtiili

Säilyttää päätelaitteen virtaaman verkoston paineenmuutoksista huolimatta. Valmistajien englanninkielisissä dokumenteissa käytetään termiä "Pressure Independent Control Valve (PICV)" tai "Pressure independent balancing and control valve (PIBCV)". Jos ko. toiminto on toteutettu sähköisellä toimilaitteella, on kyseessä "Electronic pressure-independent valve (EPIV)" tai "Electronic pressure-independent 6-way zone valve". Muita termejä ovat mm. painevakioitu venttiili ja automaattinen virtauksen rajoitin.

Portaaton säätö

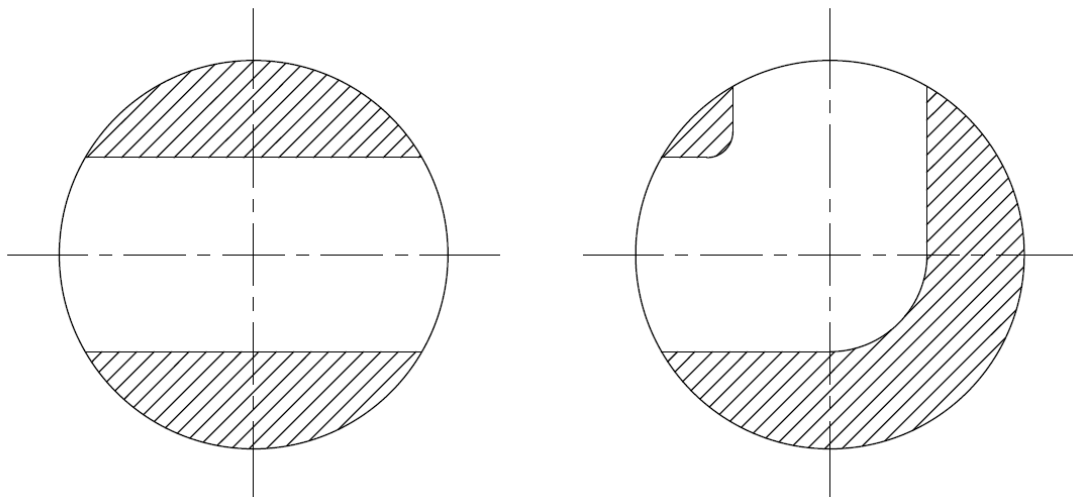
Säätöventtiili muuttaa vesivirtaa toimilaitteen avulla analogisesti ilman porrastuksia. Tunnetaan myös moduloivana säätönä tai jatkuvasäätöisenä.

1 Johdanto

Tässä insinööriyössä tarkastellaan talotekniikassa käytettävän paineesta riippuvan kuusitieventtiilin, paineesta riippumattoman kuusitieventtiilisarjan ja paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin virtausteknistä toimintaa ja rakennetta. Selvitetään valmistajien tarjonta ja käydään läpi mitoituskriteerit. Lähteenä käytetään ensisijaisesti valmistajien internetsivuja ja niistä löytyviä teknisiä dokumentteja. Muita lähteitä ovat rakennustieto.fi-sivuston ohjetiedosto LVI 12-10126 säätöventtiilien mitoituksesta, TA-käsikirja, Säättöpiirien säätäminen, Rakennusten kaukolämmitys K1/2013, Rakennusten kaukojäähdytys J1/2014

2 Kuusitieventtiili

Tässä insinööriyössä käytetään nimitystä kuusitieventtiili, mutta venttiilistä voidaan käyttää myös nimitystä kuusitiepalloventtiili, koska venttiilissä olevat kaksi erillistä, mutta yhtä aikaa toimivat sulkuelimet ovat käytännössä pallon muotoisia, kuten kaksitiepalloventtiileissä oleva yksi sulkuelin. Kuusitieventtiilin pallon muotoisten sulkuelinten virtausaukot ovat pyöreät suorassa kulmassa keskipisteeseen nähden, kun taas kaksitieventtiileissä virtausaukko lävistää sulkuelimen kohtisuoraan. Virtausaukkoja on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1. Vasemmalla on kaksitiesäätöventtiilin kuulan virtausaukko ja oikealla kuusitieventtiilin kuulan virtausaukko.

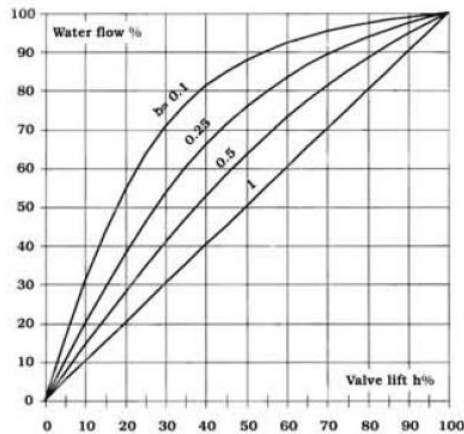
Kuusitieventtiin nimitys tulee siitä, että venttiilissä on yhteensä kuusi virtausaukkoa. Sitä käytetään suljetuissa järjestelmissä, kuten rakennuksien lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä. Venttiili toimii valmistajasta riippuen joko vaihtokytkimenä kahden suljetun järjestelmän välillä tai virtaaman säätimenä esimerkiksi yhdelle tai useammalle toimistohuoneen lämmitykseen ja jäähdytykseen soveltuvalla päätelaitteelle. Kummassakin tapauksessa runkoputkia on neljä: lämmityksen meno- ja paluuputki sekä jäähdytyksen meno- ja paluuputki. Päätelaitteella puolestaan on kaksi putkea meno ja paluu, jotka yhdistetään kuusitieventtiin. Kohdehuoneen olosuhteista ja sitä myöten kuusitieventtiin asennosta riippuen päätelaitteella kiertää joko lämmitys- tai jäähdytysvesi. Tarkoituksena on yhdistää kaksi erillistä suljettua piiriä, kuten lämmitys ja jäähdytys yhdelle päätelaitteelle. Kuusitieventtiili ei sovellu päätelaitteisiin, joissa on jäähdytys- ja lämmitysvesille omat piirinsä [1].

Alapuolella on insinööriyössä käytetyistä lähteistä koottu lista, jossa on mainittu tyypillisimmät päätelaitteet, jotka soveltuvat sekä lämmitykseen että jäähdytykseen:

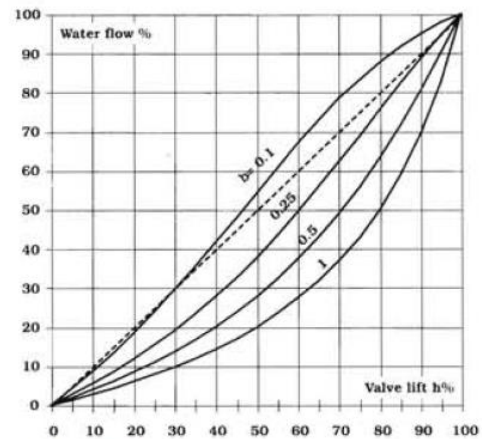
- Yksipiiriset puhallinkonvektorit
- Yksittäinen piiri lattialämmitykselle ja -jäähdytykselle
- Kattosäteilijät lämmitykselle ja jäähdytykselle
- Huonekohtaiset ilmastointikoneet.

3 Ominaiskäyrät ja auktoriteetti

Venttiin perusominaiskäyrän tarkoituksena on kuvata säätöventtiin karan asennon ja venttiin läpi virtaavan veden tilavuusvirran välistä suhdetta venttiin painehäviön ollessa vakio. Perusominaiskäyrä voi olla lineaarinen tai tasaprosenttinen. [2] Kuvassa 2 perusominaiskäyrät vastaavat tilannetta, jossa venttiin auktoriteetti on $b = 1$.



Lineaarisen ominaiskäyrän vääristyminen auktoriteetin b eri arvoilla.



EQM venttiilin ominaiskäyrän vääristyminen auktoriteetin b eri arvoilla.

Kuva 2. Ominaiskäyrän vääristyminen auktoriteetin b suhteen [2, s. 39].

Kuvasta 2 näkee, miten lineaarinen ja tasaprosenttinen ominaiskäyrä vääristyvät auktoriteetin madaltuessa. Matalalla auktoriteetilla varustettu lineaarinen säätöventtiili toimii periaatteessa on/off-toiminnolla, kun taas tasaprosenttinen säätöventtiili matalalla auktoriteetilla muistuttaa hieman korkean auktoriteetin lineaarista säätöventtiiliä. Auktoriteetti kuvaa venttiilin painehäviön suhdetta koko säädettävän piirin painehäviöön. Kun auktoriteetti $b = 1$, ominaiskäyrä kuvaa pelkkää venttiiliä.

Säätäessään jäähdytys- tai lämmitystehon vaatimaa virtaamaa paineesta riippuva kuusitieventtiili toimii kaksitiesäätöpalloventtiilin tavoin. Verkoston vesi menee venttiilin läpi päätelaitteelle, ja virtausaukkoa muutetaan kiertämällä venttiilin karaa. Tähän mennessä on ollut tarjolla kuusitieventtiileitä, joiden ominaiskäyrä on lineaarinen. Mikäli paineesta riippuvan säätöventtiilin ominaiskäyrä on lineaarinen, tarvitaan korkea auktoriteetti, vähintään 0,5, jotta säädöstä tulisi riittävän vakaa. [2, s. 39, 3, s. 25.]

Päätelaitteen mitoitusvirtaama tehon ja lämpötilaeron avulla lasketaan yhtälöllä 1

$$q_{mit} = \frac{\dot{\phi}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T} \quad (1)$$

, jossa

$\dot{\phi}$ teho, W

ρ veden tiheys, $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

c_p veden ominaislämpökapasiteetti, $\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$

ΔT lämpötilaero, K

Valitun säätöventtiilin painehäviö mitoitusvirtaamalla voidaan laskea yhtälöllä 2

$$\Delta p_{SV} = \left(\frac{q_{mit} * 3600}{k_{vs}} \right)^2 \quad (2)$$

, jossa

Δp_{SV} säätöventtiilin painehäviö, bar

q_{mit} mitoitusvirtaama, $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

k_{vs} auki olevan säätöventtiilin k_{vs} -arvo, $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

Auktoriteetti saadaan yhtälöstä 3 jakamalla säätöventtiilin painehäviö koko säädettävän verkoston painehäviöllä.

$$\beta = \frac{\Delta p_{SV}}{\Delta p_{SV} + \Delta p_{SP}} \quad (3)$$

Δp_{SV} säätöventtiilin painehäviö, kPa

Δp_{SP} muun säädettävän piirin painehäviö, kPa

Lineaarisen ominaiskäyrän vesivirta venttiilin karan asennon suhteen voidaan laskea yhtälöllä 4.

$$k_v = k_{vs} \frac{H}{H_{100}} \quad (4)$$

, jossa

k_v säätöventtiilin vesivirta, $\frac{m^3}{h}$

$\frac{H}{H_{100}}$ säätöventtiilin karan suhteellinen asento

Suhteellinen vesivirta virtausaukon suhteen saadaan yhtälöllä 5. Suhteellisen vesivirran ollessa 1 toteutuu päätelaitteen mitoitusvirtaama.

$$\frac{q_v}{q_{v100}} = \frac{1}{\sqrt{\beta \left(\frac{k_{vs}^2}{k_v^2} - 1 \right) + 1}} \quad (5)$$

$\frac{q_v}{q_{v100}}$ säätöventtiilin suhteellinen vesivirta

Sijoittamalla yhtälön 5 termin $\frac{k_{vs}^2}{k_v^2}$ tilalle symboli S säätöventtiilin säätösuhde voidaan määrittellä säätöventtiilin pienin säätävä suhteellinen vesivirta tietyllä auktoriteetilla (yhtälö 6).

$$\frac{q_{v,min}}{q_{v100}} = \frac{1}{\sqrt{\beta(S^2 - 1) + 1}} \quad (6)$$

$\frac{q_{v,min}}{q_{v100}}$ säätöventtiilin pienin säätävä suhteellinen vesivirta

Lasketaan yhtälöiden 7 ja 8 avulla eri säätöventtiilien vesivirran mukainen teho, kun säätöventtiilin painehäviöksi on määrätty 25 tai 50 kPa ja kun lämpötilaero päätelaitteen meno- ja paluuveden välillä on 3, 5, 8, 15 tai 30 K.

$$\Phi = q_{mit} * \rho * c_p * \Delta T \quad (7)$$

$$q_{mit} = \sqrt{\frac{\Delta p_{sv}}{100} * \frac{k_{vs}}{3600}} \quad (8)$$

Yhdistetään edellä mainitut yhtälöt 7 ja 8. Käytetään säätöventtiilin painehäviönä 25 kPa ja lämpötilaerona 3 K.

$$\frac{\sqrt{\frac{25 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} * 0,25 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}}{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 3 \text{ K} = 0,4375 \text{ kW} \sim 0,44 \text{ kW}$$

Taulukko 1. Teho [kW] k_{vs} -arvon [m^3/h], venttiilin painehäviön [kPa] ja lämpötilaeron [K] funktiona.

Venttiilin painehäviö [kPa]	25				
Lämpötilaero [K]	3	5	8	15	30
k_{vs} [m^3/h]	Teho [kW]				
0,25	0,44	0,73	1,17	2,19	4,38
0,40	0,70	1,17	1,87	3,50	7,00
0,63	1,10	1,84	2,94	5,51	11,03
1,00	1,75	2,92	4,67	8,75	17,50
1,30	2,28	3,79	6,07	11,38	22,75
1,60	2,80	4,67	7,47	14,00	28,00
1,80	3,15	5,25	8,40	15,75	31,50
2,50	4,38	7,29	11,67	21,88	43,75
4,00	7,00	11,67	18,67	35,00	70,00

Venttiilin painehäviö [kPa]	50				
Lämpötilaero [K]	3	5	8	15	30
k_{vs} [m^3/h]	Teho [kW]				
0,25	0,62	1,03	1,65	3,09	6,19
0,40	0,99	1,65	2,64	4,95	9,90
0,63	1,56	2,60	4,16	7,80	15,59
1,00	2,47	4,12	6,60	12,37	24,75
1,30	3,22	5,36	8,58	16,09	32,17
1,60	3,96	6,60	10,56	19,80	39,60
1,80	4,45	7,42	11,88	22,27	44,55
2,50	6,19	10,31	16,50	30,94	61,87
4,00	9,90	16,50	26,40	49,50	98,99

Otetaan esimerkiksi kattosäteilijä jäähdytystilanteessa. Mitoitusteho on 800 W ja lämpötilaero 2 K, jolloin saadaan mitoitusvirtaama 0,096 l/s. Muun jäähdytysverkon eli säätävän piirin painehäviö, Δp_P on 30 kPa. Säätoventtiilin säätösuhde, S on 1:40. Käytämällä luvun 3 yhtälöitä 1–6 lasketaan päätelaitteen mitoitusvirtaama.

$$q_{mit} = \frac{800 \text{ W}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 4180 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} * 2\text{K}} = 9,569 * 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \sim 0,096 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Sijoittamalla mitoitusvirtaama ja käytettävän venttiilin k_{vs} -arvo yhtälöön 2 voidaan laskea säätöventtiilin painehäviö. Valitaan venttiilin k_{vs} -arvoksi $0,63 \text{ m}^3/\text{h}$.

$$\Delta p_{SV} = \left(\frac{0,096 * 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right)^2 = 29,882 \text{ kPa} \sim 29,9 \text{ kPa}$$

Auktoriteetti saadaan jakamalla säätöventtiilin painehäviö muun piirin ja säätöventtiilin painehäviöiden summalla.

$$\beta = \frac{29,9 \text{ kPa}}{29,9 \text{ kPa} + 30 \text{ kPa}} = 0,499 \sim 0,5$$

Auktoriteetiksi saadaan riittävä $0,5$

Säätöventtiilin virtaama eri virtausaukoilla saadaan käyttämällä yhtälöä 4. Lasketaan k_v -arvo virtausaukon ollessa 10% auki.

$$k_v = 0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0,1 = 0,063 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Lasketaan yhtälöllä 5 säätöventtiilin suhteellinen vesivirta virtausaukolla 10% ja auktoriteetilla $0,5$.

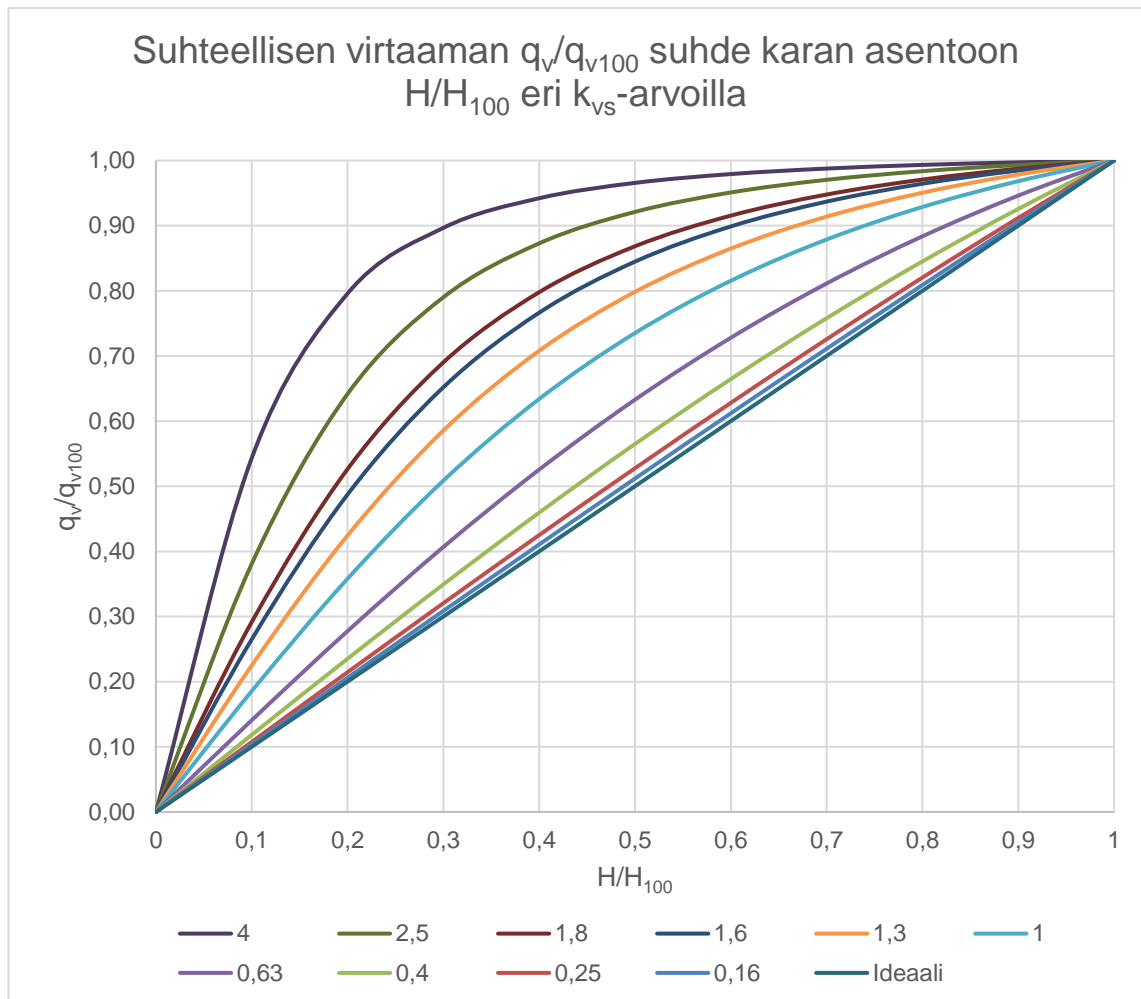
$$\frac{q_v}{q_{v100}} = \frac{1}{\sqrt{0,5 \left(\left(\frac{0,63 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{0,063 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right)^2 - 1 \right) + 1}} = 0,1409 \sim 0,14$$

Suhteelliseksi vesivirraksi saadaan noin 14% mitoitusvirtaamasta.

Pienin säätyvä vesivirta säätösuhteella $1:40$ ja auktoriteetilla $0,5$ on

$$\frac{q_{v,min}}{q_{v100}} = \frac{1}{\sqrt{0,5(40^2 - 1) + 1}} = 0,0353 \sim 0,04$$

Pienimpänä säätävänä vesivirtana voidaan pitää tässä tapauksessa noin 4 %:a mitoitusvirtaamasta.



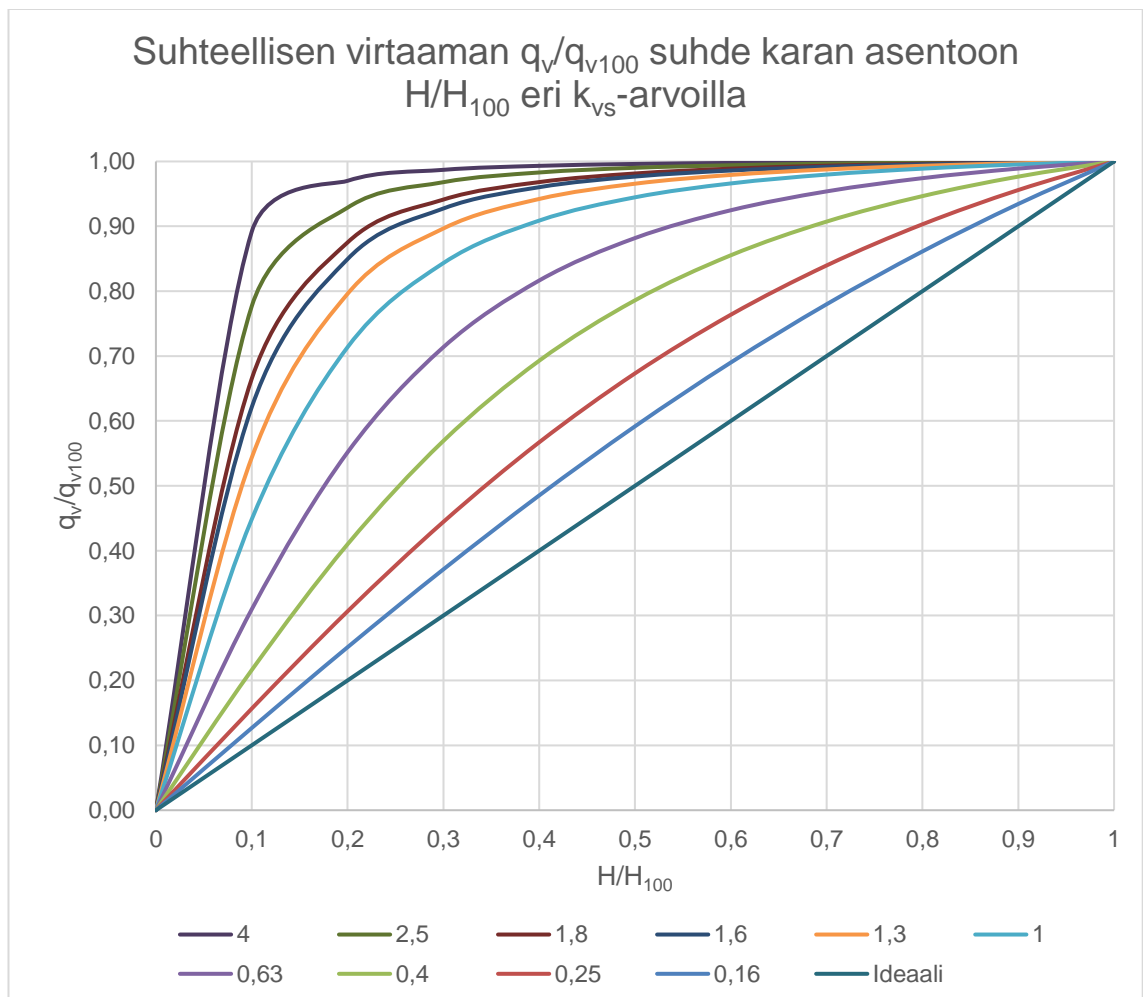
Kuva 3. Jäähdytysverkoston säätöventtiilin lineaarinen ominaiskäyrä eri k_{vs} -arvoilla.

Kuvasta 3 nähdään, miten suhteellinen virtaama kasvaa virtausaukon kasvaessa. k_{vs} -arvolla 4 m³/h, on 20 %:n virtausaukolla jo 80 % virtaamasta toteutunut. Taulukosta 3 selviää eri k_{vs} -arvoja vastaavat auktoriteetit β . Säätöventtiili saavuttaa riittävän auktoriteetin 0,5 k_{vs} -arvolla 0,63 m³/h.

Taulukko 2. Jäähdytysjärjestelmän säätöventtiilin painehäviö Δp_{sv} , ja auktoriteetti β eri k_{vs} -arvoilla sekä koko verkoston painehäviö, joka saadaan lisäämällä säätöventtiilin painehäviö Δp_{sv} säädetävän piirin painehäviöön Δp_{sp} .

Verkosto	494,9	220,5	104,0	59,9	41,9	37,0	34,6	33,7	31,9	30,7	kPa
Δp_{sv}	464,9	190,5	74,0	29,9	11,9	7,0	4,6	3,7	1,9	0,7	kPa
β	0,94	0,86	0,71	0,50	0,28	0,19	0,13	0,11	0,06	0,02	
k_{vs} -arvo	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,3	1,6	1,8	2,5	4,0	m ³ /h
$q_{v, min} / q_{v100}$	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,10	0,16	%/100
$q_{v, min}$	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,005	0,007	0,007	0,010	0,015	l/s

Vastaavanlainen laskenta lämmitysjärjestelmän mitoitusvaholle 650 W, lämpötilaerolla 5 K, jolloin saadaan mitoitusvirtaamaksi 0,031 l/s. Muun säädetävän lämmityspiirin painehäviö on edelleen 30 kPa.



Kuva 4. Lämmitysverkoston säätöventtiilin lineaarinen ominaiskäyrä eri k_{vs} -arvoilla.

Kuvasta 4 nähdään, miten suhteellinen virtaama kasvaa virtausaukon kasvaessa. K_{VS} -arvolla $4 \text{ m}^3/\text{h}$ on 20 %:n virtausaukolla jo 95 % virtaamasta toteutunut. Taulukosta 4 selviävät eri k_{VS} -arvoja vastaavat auktoriteetit β . Säästöventtiili saavuttaa riittävän auktoriteetin $0,62$ k_{VS} -arvolla $0,16 \text{ m}^3/\text{h}$.

Taulukko 3. Säästöventtiilin auktoriteetti, painehäviö ja pienin säätävä virtaus venttiiliin eri k_{VS} -arvoilla.

Verkosto	78,7	50,2	37,8	33,2	31,3	30,7	30,5	30,4	30,2	30,1	kPa
Δp_{SV}	48,7	20,2	7,8	3,2	1,3	0,7	0,5	0,4	0,2	0,1	kPa
β	0,62	0,40	0,21	0,10	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	
k_{VS} -arvo	0,16	0,25	0,4	0,63	1,0	1,3	1,6	1,8	2,5	4,0	m^3/h
$q_{v, \min} / q_{v100}$	0,03	0,04	0,05	0,08	0,12	0,16	0,19	0,22	0,29	0,44	%/100
$q_{v, \min}$	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,010	0,015	l/s

Taulukossa 3 on esitetty lämmitysjärjestelmän säästöventtiilin painehäviö Δp_{SV} ja auktoriteetti β eri k_{VS} -arvoilla sekä koko verkoston painehäviö, joka saadaan lisäämällä säästöventtiilin painehäviö Δp_{SV} säädettävän piirin painehäviöön $\Delta p_{SP} = 30 \text{ kPa}$. Lämmitysverkoston säädön kannalta tulisi valita säästöventtiili k_{VS} -arvolla $0,16 \text{ m}^3/\text{h}$, jolloin toteutuu auktoriteetti $0,62$.

4 Rakenne

Kuvissa 5–7 on kuvattu kuusitieventtiilin rakennetta ja virtausaukkojen asentoja. Virtausaukkojen roolit on jaettu seuraavasti: 1, 2 ja 5 ovat järjestelmän menopuolelle, virtausaukot 3, 4 ja 6 ovat järjestelmän paluuedelle. 1 ja 4 ovat ensimmäiselle sekvenssille, esimerkiksi jäähdytys. Virtausaukot 5 ja 6 ovat toiselle sekvenssille, esimerkiksi lämmitys. Virtausaukot 2 ja 3 ovat päätelaitteelle. Valmistajat käyttävät sekvenssi termiä teknisissä esitteissään, mutta selkeyden vuoksi tästä eteenpäin ensimmäinen sekvenssi on nimetty jäähdytysasennoksi ja toinen sekvenssi on nimetty lämmitysasennoksi.



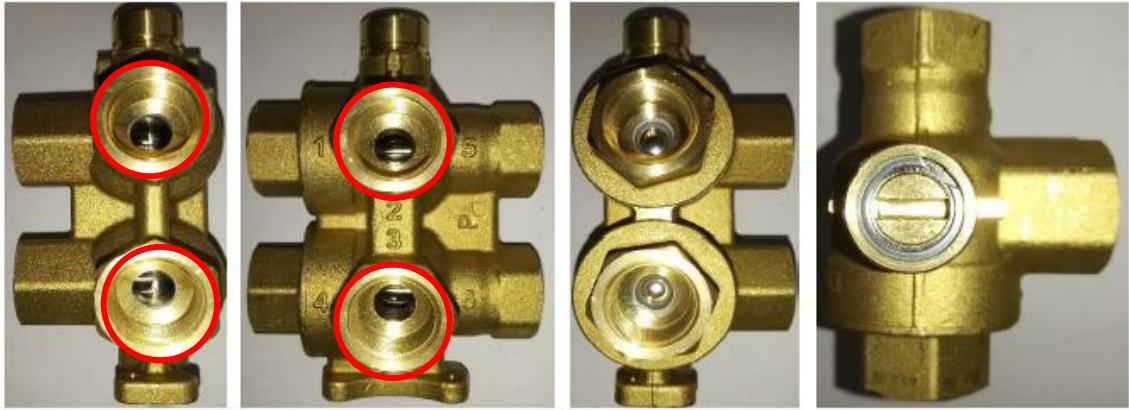
Kuva 5. Jäähdytysasento on käytössä. Avoimet virtausaukot on korostettu punaisella ympyrällä.

Karan kulman ollessa 0° kuusitieventtiin jäähdytysasento on käytössä. Tällöin jäähdytysjärjestelmän menovesi tulee kuusitieventtiin virtausaukosta 1 ja jatkaa päätelaitteelle tullen ulos virtausaukosta 2. Päätelaitteelta palaava vesi menee virtausaukosta 3 venttiin sisään ja tulee ulos virtausaukosta 4 jatkaen paluuputkistoon.



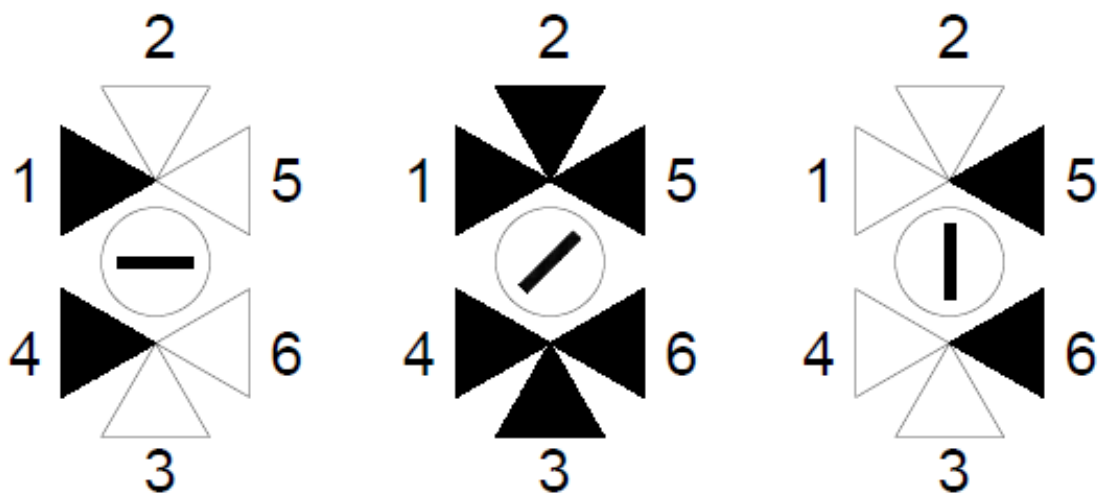
Kuva 6. Kuusitieventtiin kaikki virtausaukot ovat suljettuina.

Kuvassa 6 karan kulma on 45° . Kuusitieventtiili on täysin kiinni, eikä virtaamaa tapahdu kuusitieventtiin läpi.



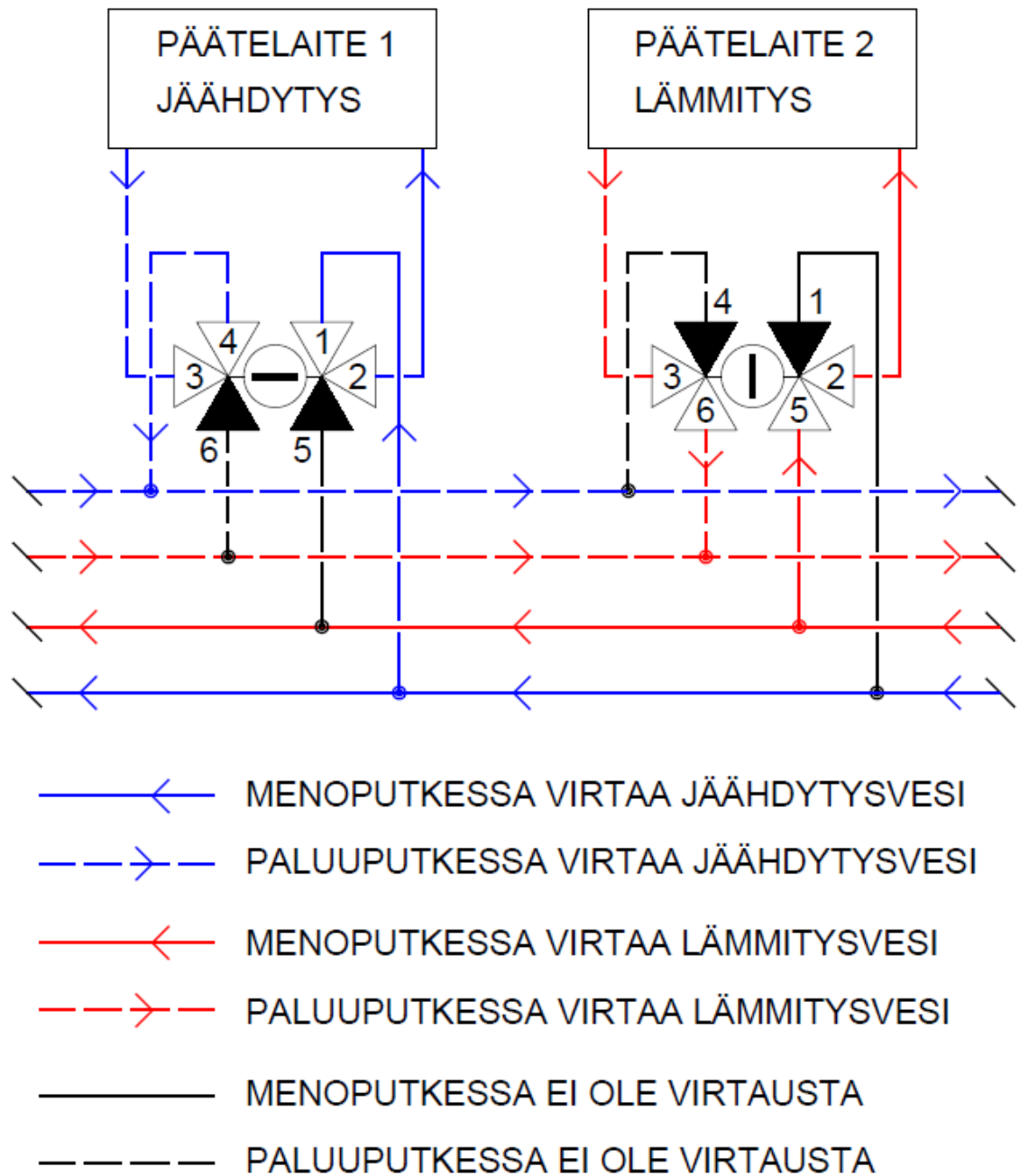
Kuva 7. Lämmitysasento on käytössä. Avoimet virtausaukot on korostettu punaisella ympyrällä.

Karan kulman ollessa 90° kuusitieventtiilin lämmitysasento on käytössä. Tällöin lämmitysjärjestelmän menovesi tulee kuusitieventtiiliin virtausaukosta 5 sisään ja jatkaa päätelaitteelle tullen ulos virtausaukosta 2. Päätelaitteelta palaava vesi menee virtausaukosta 3 venttiiliin sisään ja tulee ulos virtausaukosta 6 jatkaen paluuputkistoon.



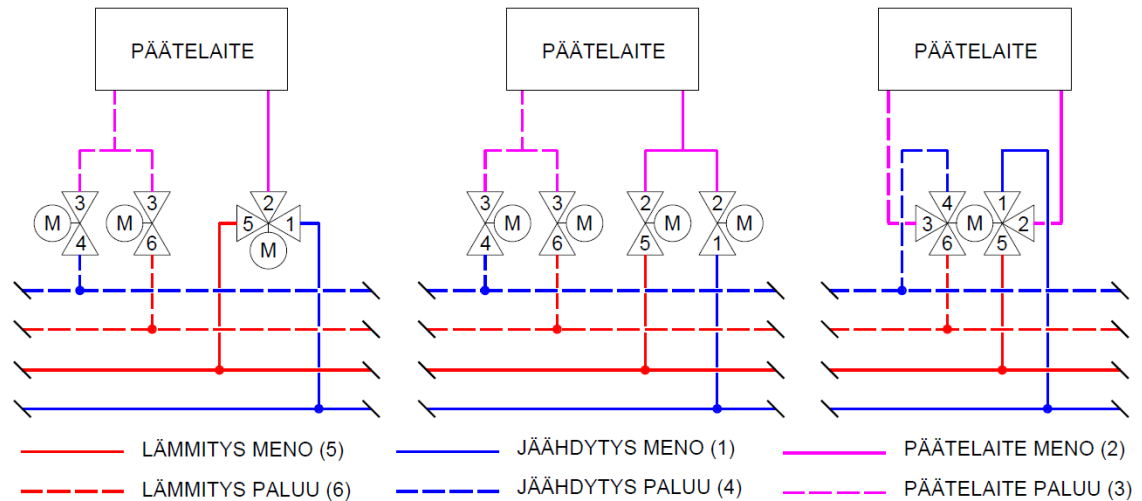
Kuva 8. Kuusitieventtiilin piirrosmerkki.

Kuvassa 8 on esitetty kuusitieventtiili piirrosmerkkinä. Karan asentoa on kuvattu ympyrän sisällä olevalla mustalla suorakaiteella ja virtausaukkoja kolmioilla, joista tummenneet ovat suljettuja. Vasemmanpuoleisessa piirrosmerkissä kara on kulmassa 0° , jolloin virtausaukot 1 ja 4 ovat suljettuina ja käytössä on jäähdytysasento. Oikeanpuoleisessa piirrosmerkissä kara on kulmassa 90° , jolloin virtausaukot 5 ja 6 ovat suljettuina ja käytössä on lämmitysasento.



Kuva 9. Kuusitieventtiili verkoston osana.

Kuvassa 9 on esitetty kuusitieventtiilin toiminta verkostossa. Pääte-laite 1 on jäähdytystilassa samaan aikaan, kun toisessa kohtaa samaa verkostoa pääte-laite 2 on lämmitystilassa.



Kuva 10. Päätelaitteen yhdistäminen kahteen eri verkostoon [11].

Kuvassa 10 on esitetty kuusitievalventtiin (oikeanpuoleinen kytkentäperiaate) lisäksi kaksi eri tapaa yhdistää lämmitys- ja jäähdytysmahdollisuudet yhdelle päätelaitteelle.

Kuvan 10 perusteella vaikuttaa siltä, että kuusitievalventtiin käyttö kuvassa esitettyihin kahteen muuhun ratkaisuun verrattuna saattaa olla nopeampi, yksinkertaisempi ja edullisempi toteuttaa, koska toimilaitteita on enintään kaksi tai kolme vähemmän, liitoksia venttiinisiin yksi tai kaksi vähemmän ja toimilaitteita kaksi tai kolme vähemmän.

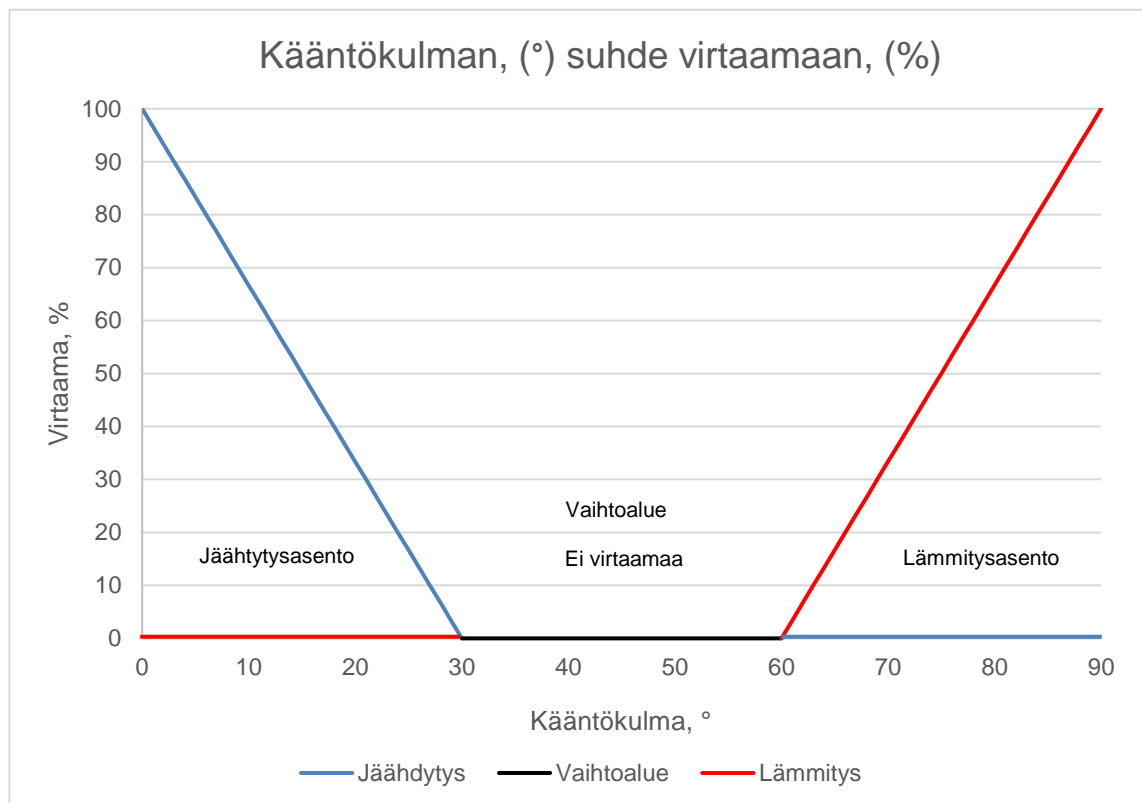
Vasemmalla toteutus on tehty asentamalla kaksi kaksitievalventtiiliä päätelaitteen paluupuolelle ohjaamaan virtausta ja menopuolelle kolmitievalventtiili vaihtamaan jäähdytys- ja lämmitysverkostojen välillä. Jäähdytysverkoston ollessa käytössä kaksitievalventtiili virtausaukoilla 3 ja 6 on suljettuna.

Keskellä olevassa ratkaisussa on käytetty neljää kaksitievalventtiiliä, joista esimerkiksi paluupuolen venttiilit hoitaisivat portaattoman säädön ja menopuolen venttiilit toimisivat on/off-periaatteella. Kaksitievalventtiin virtausaukkojen 2 ja 5 ollessa auki kiertää lämmitysjärjestelmän vesi päätelaitteella ja virtauksen säädön hoitaa venttiili virtausaukoilla 3 ja 6. Jäähdytyspuolen venttiilit 1–2 ja 3–4 ovat suljettuina. Viimeisenä oikealla on kuusitievalventtiin kytkentäperiaate, jonka tarkoitus on olla edullisempi ja nopeampi toteutus kahteen muuhun toteutukseen verrattuna.

5 Toiminta

Kuusitieventtiin toiminta perustuu kolmeen eri asentoon. Ensimmäinen asento on jäähdytykselle ja toinen asento on lämmitykselle. Näiden kahden asennon välissä kuusitieventtiin kaikki virtausaukot ovat suljettuja.

Kuusitieventtiin kara pyörii 90°:n kääntökulmassa sähköisen toimilaitteen avulla. Kääntökulmassa 0–30° käytössä on jäähdytysasento, jolloin lämmitysvesi ei kierrä päätelaitteessa. Kääntökulmassa 30–60° on vaihtoalue, jolloin koko venttiili on suljettu, ja kääntökulmassa 60–90° lämmitysasenolla kuusitieventtiili päästää lämmitysjärjestelmän kiertoveden päätelaitteelle. Tällöin jäähdytysjärjestelmän vesi ei pääse kuusitieventtiin läpi päätelaitteelle.



Kuva 11. Kuusitieventtiin toimintaperiaate.

Kuvassa 11 esitetään venttiin karan kääntökulman suhdetta virtaamaan. Virtaama 100 % vastaa päätelaitteen mitoitusvirtaamaa. Kuusitieventtiin ollessa jäähdytysasennolla (sininen suora) lämmitysasento (punainen suora) on suljettu. Puolivälissä on vaihtoalue, jolloin koko kuusitieventtiili on kiinni.

5.1 Vaihtokytkimenä toimiva kuusitieventtiili

Vaihtokytkimenä toimiva kuusitieventtiili toimii kolmessa eri asennossa: jäähdytys/kiinni/lämmitys. Kuusitieventtiili toimii yksinään, mikäli kohteen vaatimat jäähdytys- ja lämmitystekot saavat pysyä vakioina. Jäähdytysasennossa lämmityspiiri on suljettuna, ja lämmitysasennossa jäähdytyspiiri on suljettuna. Kuusitieventtiili ei siis säädi vesivirtaa portaattomasti, mikä tekee pelkästä vaihtokytkintoiminnosta epäedullisen vaihtoehdon. Yhdistämällä vaihtokytkimenä toimivan kuusitieventtiilin ja päätelaitteen väliin paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin, saadaan paineesta riippumaton toteutus. Asiaa selvitetään lisää luvussa 5.3 Paineesta riippumaton toteutus.

5.2 Paineesta riippuva toteutus

Paineesta riippuvan toteutuksen tasapainotus tehdään linjasäätöventtiilien, jotka sijoitetaan kuusitieventtiilin ja järjestelmien runkoputkien väliin sekä kuusitieventtiilin virtausyhteiden k_{vs} -arvojen avulla.

Pumppu pitää vakio-paineen verkostossa, ja sen paineen korotus valitaan mitoitustilanteen epäedullisimman reitin mukaan, jossa kaikki venttiilit ovat auki ja päästävät mitoitusvirtaaman mukaisen vesivirran päätelaitteelle. Kuormitustilanteiden muuttuessa venttiilin karan asentoa muutetaan toimilaitteen avulla kohdehuoneen lämpötilan mukaan, esimerkiksi jäähdytysasento kääntökulmassa 0–30°. Toisin sanoen käytössä olevan asennon kääntökulma vastaa istukkamallisen säätöventtiilin karan iskupituutta.

Paineesta riippuvassa toteutuksessa on varmistettava, että käytettävän venttiilin säätösuhde on 1:30 tai tarkempi [4]. Auktoriteetin on oltava $\geq 0,5$ kummallakin asennolla, sillä lineaarinen ominaiskäyrä matalalla auktoriteetilla nousee jyrkästi, jolloin venttiilin läpi kulkeva vesivirta voi olla jo 90 % maksimista venttiilin ollessa auki vasta 50 % (kuva 2).

5.3 Paineesta riippumaton toteutus

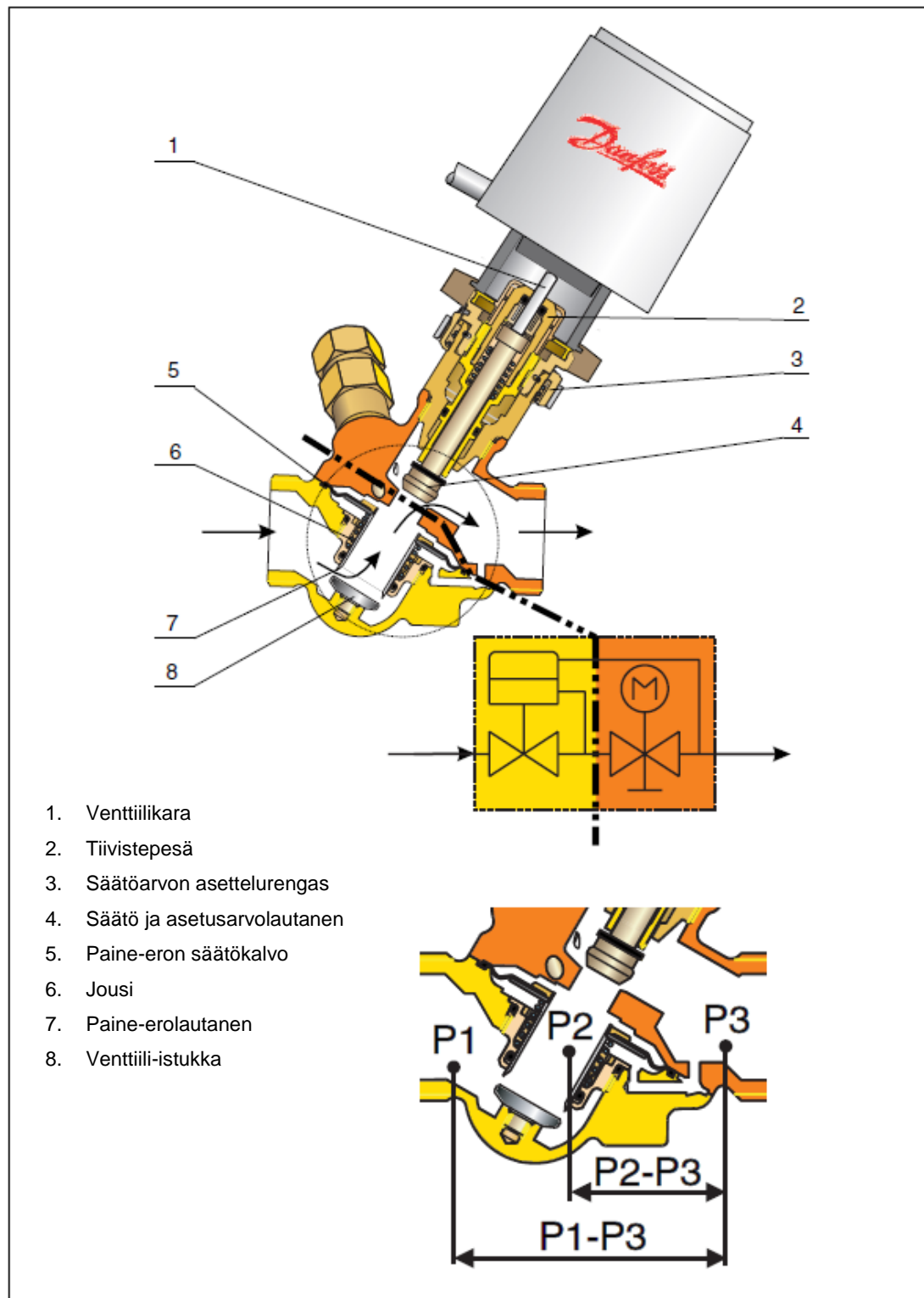
Paineesta riippumaton toteutus poikkeaa paineesta riippuvasta kuusitieventtiilistä siten, että toteutukseen on lisätty paineesta riippumaton kaksitiesäätöventtiili, monesti vinois-

tukkaventtiili, joka pitää halutun virtaaman päätelaitteessa, vaikka verkostossa olisi painenvaihtelua. Kuusitieventtiili itse toimii pelkästään kahden tai kolmen asennon vaihtokytkimenä. Toteutuksessa on huomioitava lämmitys- ja jäähdytystehon erisuuruiset mitoitusvirtaamat. Venttiiliyhdistelmän kuusitieventtiili ja paineesta riippumaton kaksitiesäätöventtiili mitoitetaan suuremman mitoitusvirtaaman mukaan. Automaation avulla vaihtokytkimenä toimivan kuusitieventtiilin toimilaite ja paineesta riippumaton kaksitiesäätöventtiilin toimilaite toimivat yhdessä niin, että käytössä olevan järjestelmän mitoitusvirtaama toteutuu.

5.4 Paineesta riippumaton kaksitiesäätöventtiili

Paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiili valitaan mitoitusvirtaaman mukaan, eikä paine-eroa venttiilin yli tarvitse laskea k_{vs} -arvojen avulla. Venttiili rajoittaa vesivirran automaattisesti jousivoiman avulla, kun venttiilin yli oleva paine-ero on riittävän suuri, esimerkiksi 16 kPa, muuten se toimii kuten tavallinen linjansäätöventtiili

Suurin sallittu vesivirta on tavanomaisesti päätelaitteen huipputehon mukainen mitoitusvirtaama, joka asetetaan säätöarvon asettelurenkaan avulla oikeaksi. Virtaaman säädöstä huolehtii venttiilin toimilaite muuttamalla säätö- ja asetusarvolautasen sijaintia esimerkiksi kohdehuoneen lämpötilan mukaan. Valmistajasta ja venttiilin koosta riippuen, pysyy esisäätöarvon mukainen vesivirta vakiona verkoston paineen kasvaessa 400–800 kPa:iin asti. Paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin auktoriteetti on välillä 0,7–1 matalimmillakin virtaamilla, eivätkä siihen vaikuta verkoston painenvaihtelut [5]. Paineesta riippumattomia kaksitiesäätöventtiileitä löytyy pallo- ja vinoistukkaventtiileinä.



Kuva 12. Danfoss AB-QM-säätöventtiili [5, s.6].

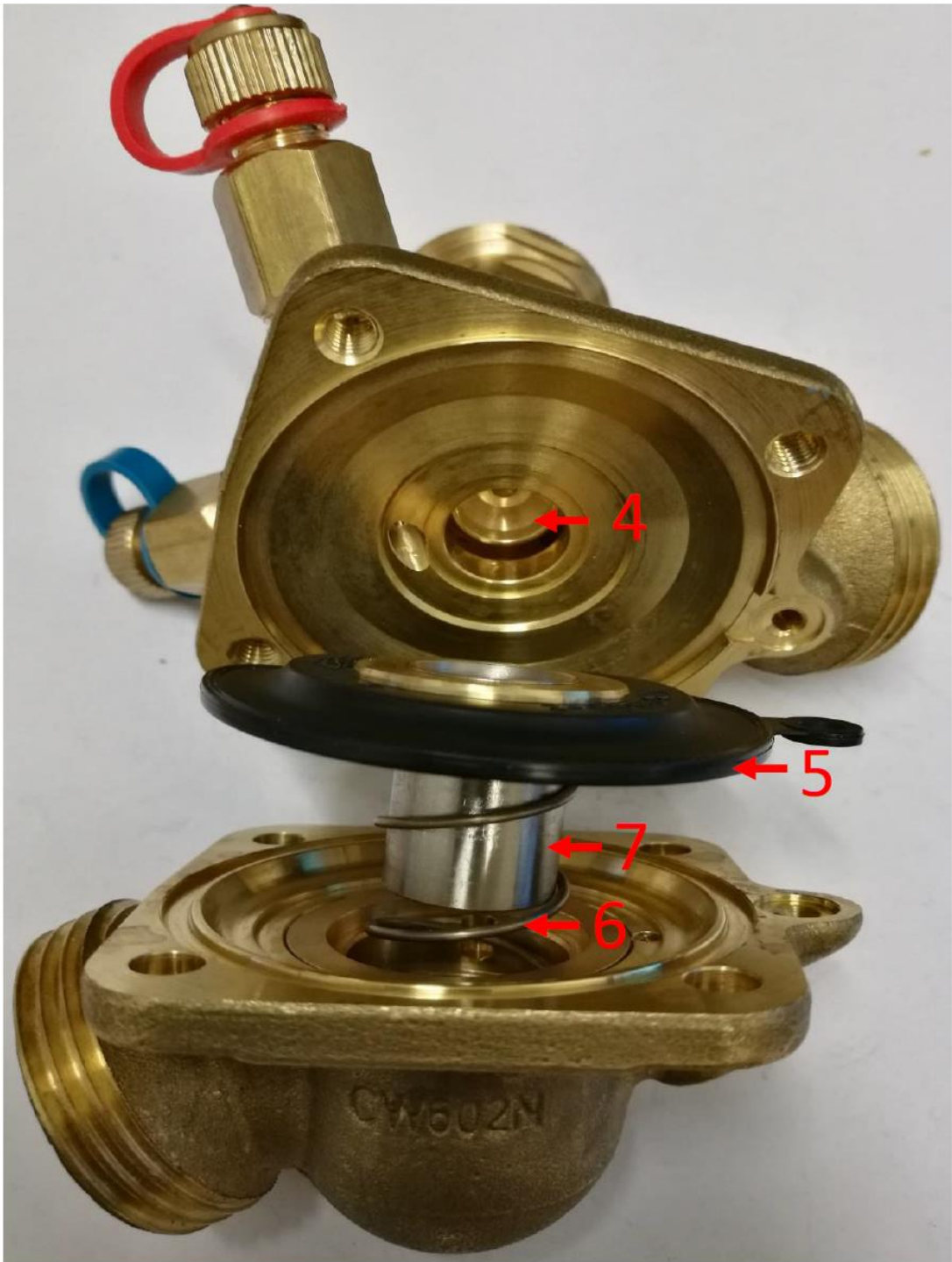
Kuvassa 12 on keltaisella värillä esitetty jousivoimaan ja paine-eron säätökalvon avulla toimiva paineentasausosa. Jos paine P1 kasvaa, kasvaa myös paine P2, säätökalvon

yläpuolella painaen jouta kasaan ja pienentäen paine-erolautasen ja venttiili-istukan välistä virtausaukkoa. Tällöin paine P2 pienenee paineeseen P1 nähden. Jos paine P1 pienenee, säätökalvon alapuolelle vaikuttava paine P3 avaa virtausaukkoa ja paine P2 kasvaa paineeseen P1 nähden. Oranssilla värillä on esitetty säätöventtiiliosa, joka näin voi toimia vakio-oloissa riippumatta paineen P1 vaihtelusta.



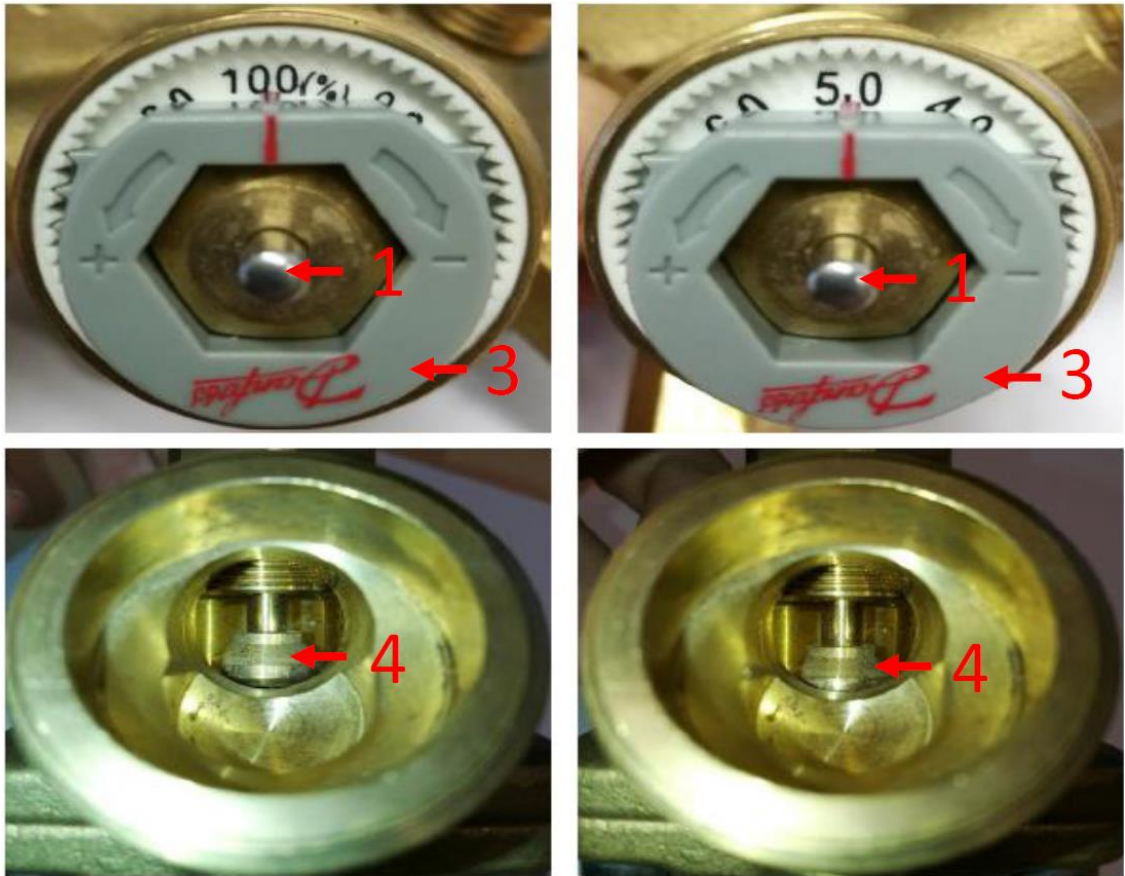
Kuva 13. Danfoss AB-QM-säätöventtiili mittayhteillä. Nimellismitta on DN 20.

Kuvassa 13 on Danfossin AB-QM istukkamallinen säätöventtiili. Kuvassa on punaisella nuolella ja numeroinnilla esitetty venttiilin komponentit, jotka on esitetty kuvassa 12. Myös kuvissa 13–15 on esitetty komponentit kuvan 12 numeroinnin mukaisesti.



Kuva 14. Paine-eron säätökalvo, jousi ja paine-erolautanen.

Kuvassa 14 venttiili on purettu, ja kuvassa 12 keltaisella värillä esitetty jousivoiman ja paine-eron säätökalvon avulla toimiva paineentasausosa sekä oranssilla värillä on esitetty säätöventtiiliosa ovat erillään.



Kuva 15. Venttiilikara (1), esisäätöarvon asettelurengas (3) sekä säätö ja asetusarvolautanen (4).

Kuvassa 15 ylärivillä vasemmalla esisäätöarvo on 10, eli käytössä on 100 % venttiilin maksimivirtaamasta, jolloin alemmalla rivillä säätö- ja asetusarvolautanen on yläasennossa. Oikeanpuoleisissa kuvissa esisäätöarvo on 5, eli venttiilin virtaama on asetettu 50 %:iin maksimivirtaamasta, jolloin säätö- ja asetusarvolautanen on työntynyt alemmaksi pienentäen virtausaukkoa paineiden P2 ja P3 välillä.



Kuva 16. Paine-eron säätökalvo (5), paine-erolautanen (7) ja venttiili-istukka (8).

Kuvassa 16 vasemmalla näkyy paine-eron säätökalvo ja venttiili-istukka. Oikealla paine P2 on kasvanut ja paine-eron säätökalvo on työntynyt alas ja painanut paine-erolautasen venttiili-istukkaa vasten estäen virtauksen.

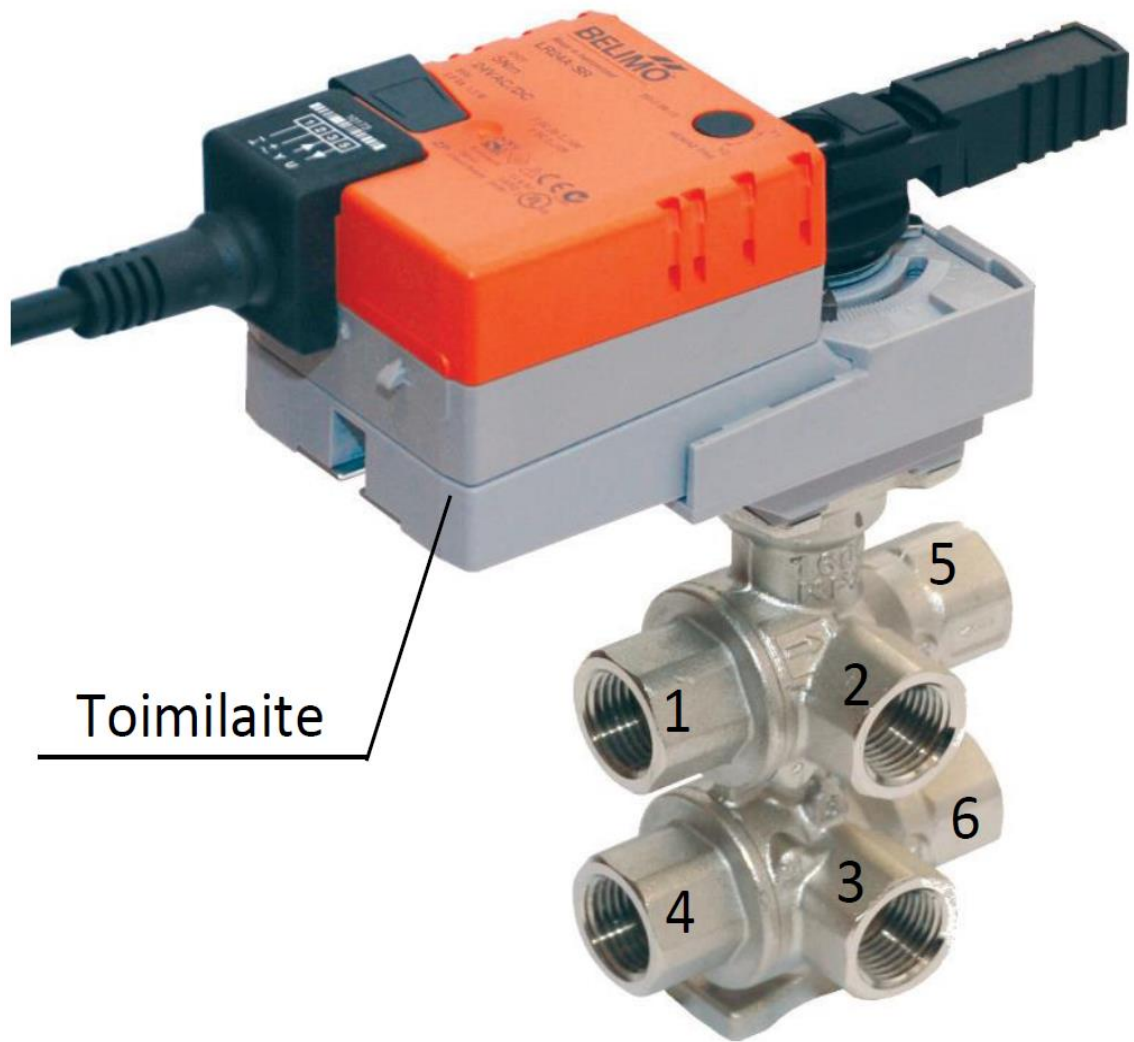
6 Valmistajat

6.1 Belimo

Belimon Zone valve 6-way toimii yhtäaikaisesti vaihtokytkimenä sekä paineesta riippuvana säätöpalloventtiilinä, kyseessä on siis paineesta riippuva toteutus. Venttiiliä on sisäkierteellä DN 15 ja DN 20. Jäähdytys- ja lämmitysasetojen k_{vs} -arvot valitaan venttiilityyteittäin välillä 0,25–1,8 m³/h, kun nimelliskoko on DN 15. DN 20 -venttiilin jäähdytys- ja lämmitysasetoille voidaan valita k_{vs} -arvot väliltä 0,25–4 m³/h. Arvot näkyvät taulukossa 4 [7]. Laajan valikoiman on tarkoitus helpottaa verkoston tasapainottamista. Paineesta riippuvan säätöventtiilin säätösuhde on 1:40 [8].

Taulukko 4. Belimon paineesta riippuvan kuusitieventtiilin k_{vs} -arvot [m³/h] jäähdytysasetonolle (J) ja lämmitysasetonolle (L) [7].

DN 15	J	0,25						0,40						0,63					
	L	0,25	0,40	0,63	1,00	1,30	1,80	0,25	0,40	0,63	1,00	1,30	1,80	0,25	0,40	0,63	1,00	1,30	1,80
DN 15	J	1,00						1,30						1,80					
	L	0,25	0,40	0,63	1,00	1,30	1,80	0,25	0,40	0,63	1,00	1,30	1,80	0,25	0,40	0,63	1,00	1,30	1,80
DN 20	J	0,63						1,00						1,60					
	L	1,60	2,50	4,00				1,60	2,50	4,00				0,63	1,00	1,60	2,50	4,00	
DN 20	J	2,50						4,00											
	L	0,63	1,00	1,60	2,50	4,00		0,63	1,00	1,60	2,50	4,00							



Kuva 17. Belimon paineesta riippuva kuusitieventtiili R30...-...-B2 ja toimilaite LR24A-SR [11].

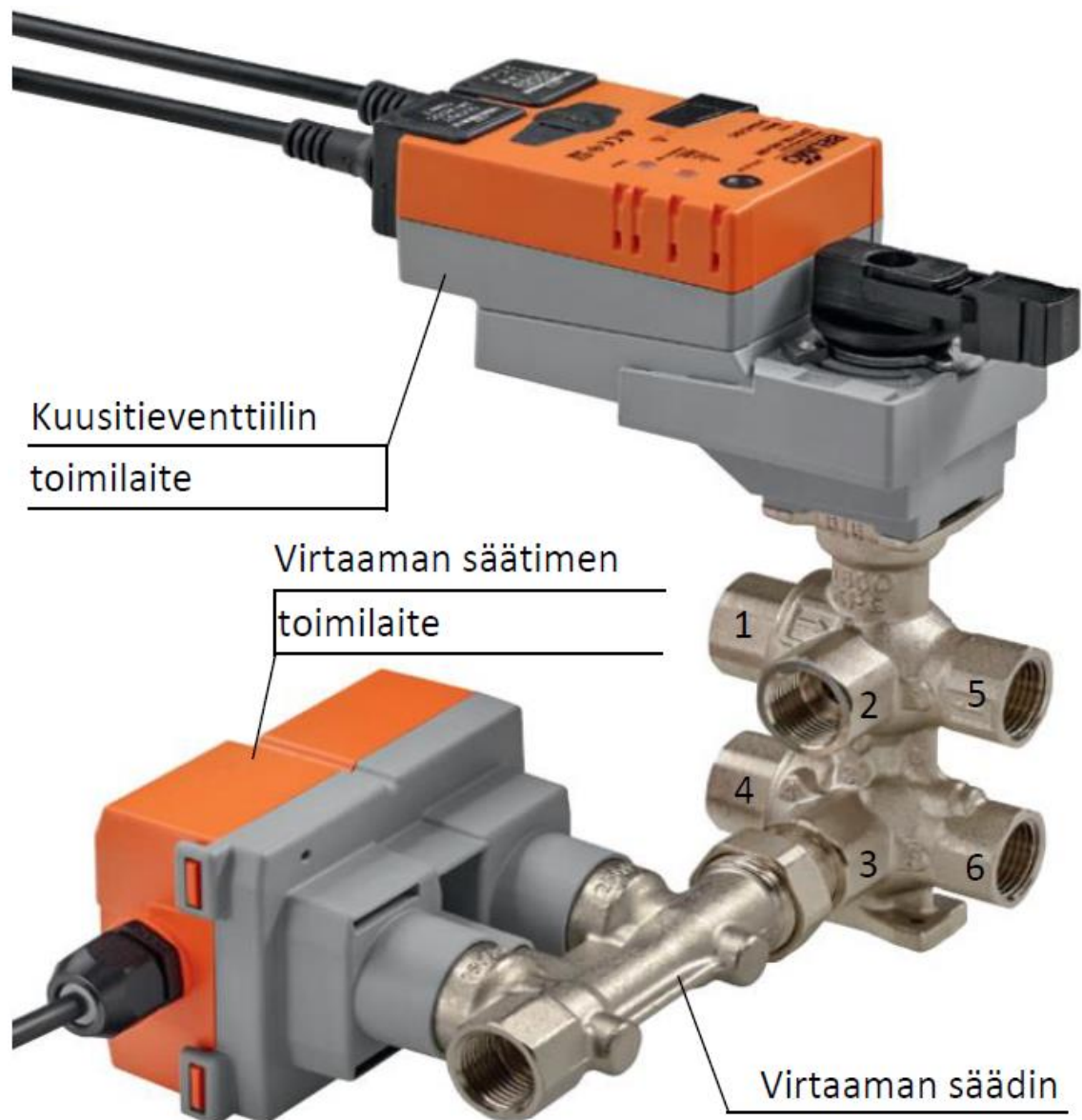
Kuvassa 17 on Belimon paineesta riippuva kuusitieventtiili R30...-...-B2 ja kuusitieventtiilin portaattoman virtauksen säädön hoitava toimilaite LR24A-SR. Virtausyhteet on numeroitu, ja ne täsmäävät valmistajan teknisissä esitteissä käytettyihin numerointeihin sekä tässä insinööriyössä aikaisemmin käytettyjen kuusitieventtiilin virtausaukkojen numerointeihin. Englanninkielisissä esitteissä on käytetty nimeä 6-way characterised control valve. DN 15 -venttiilin korkeus ilman toimilaitetta on 119 mm, leveys 79 mm ja pituus 54 mm. DN 20 -venttiilillä vastaavat mitat ovat 148 mm, 100 mm ja 70 mm. [7] Soveltuvia toimilaitteita ovat LR24A-SP ja LR24A-MP. Kookkaampi malli LR24A-MP on mitoiltaan 85 mm korkea, 182 mm leveä ja pituudelta 71 mm. [9; 10.]

Electronic pressure-independent 6-way zone valve on kokonaan oma venttiiliryhmänsä. Kuusitieventtiili vaihtaa päätelaitteen kiertoveden jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien välillä toimilaitteen avulla, mutta verkostossa tapahtuvan paineen vaihtelun aiheuttaman

virtauksien muutokset vastaan ottaa päätelaitteen ja kuusitieventtiin välissä sijaitseva virtaaman säädin, joka muuttaa virtauksen portaattomasti ultraäänellä toimivan virtausanturin avulla. DN 15 -koon venttiiliryhmän korkeus toimilaitteineen on 201 mm, leveys 187 mm ja pituus 285 mm. Nimelliskoolla DN 20 vastaavat mitat ovat 238 mm, 198 mm ja 312 mm. Nimellismittoja löytyy DN 15:n k_{vs} -arvolla $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$, jonka suurin mahdollinen vesivirta on 1260 l/h . DN 20:n k_{vs} -arvo on $2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ja suurin vesivirta 2340 l/h . K_{vs} -arvot pätevät yhtäaikaaisesti kuusitieventtiin kummallekin asennolle. Ilmoitetut k_{vs} -arvot on tarkoitettu venttiin painehäviön laskemiseen. Säädettävä vesivirta on 5–100 % suurimmasta vesivirrasta. Säädön tarkkuus on $\pm 10 \%$, kun haluttu vesivirta on välillä 25–100 % suurimmasta vesivirrasta ja $\pm 25 \%$, kun vesivirta on 10–25 % suurimmasta vesivirrasta. [12] Esimerkiksi haluttu mitoitusvirtaama päätelaitteelle on $0,430 \text{ m}^3/\text{h}$ ja käytettävä venttiili kokoa DN 15. Mitoitusvirtaama on noin 36 % DN 15 venttiin huippuvirtaamasta, jolloin venttiin läpi kulkevan vesivirta säädön tarkkuus huomioituna on välillä $0,473\text{--}0,387 \text{ m}^3/\text{h}$. Tälle pitää puolestaan määritellä minimipaine-ero, eli käytettävän säätöventtiin painehäviö DN15-venttiin k_{vs} -arvon avulla, katso yhtälö 9.

$$\left(\frac{0,387 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{1,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right)^2 * 100 \text{ kPa} = 12,84 \text{ kPa} \sim 13 \text{ kPa} \quad (9)$$

Tätä korkeammat paine-erot kuusitieventtiiliryhmän EP ..R-R6+BAC ultraäänitoiminen virtaamansäädin kompensoi automaattisesti [12, s. 8].



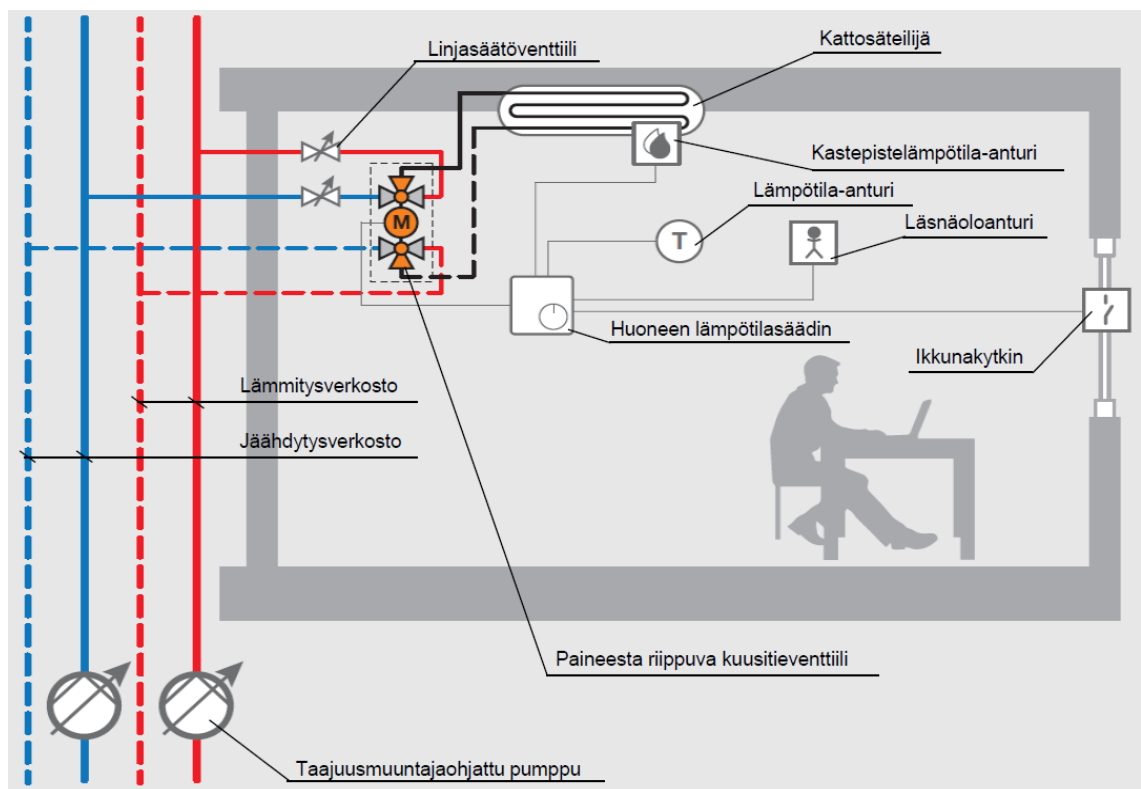
Kuva 18. Belimon paineesta riippumaton kuusitieventtiiliryhmä EP ..R-R6+BAC [12].

Kuvassa 18 esitetyn paineesta riippumattoman kuusitieventtiiliryhmän ultraäänellä toimiva virtaaman säädin on asennettu päätelaitteen paluupuolelle kuusitieventtiilin virtausyhteeseen 3. Tässä toteutuksessa kuusitieventtiili toimii ainoastaan vaihtokytkimenä jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien välillä.

Suomenkielisessä esitteessä tuote on nimeltään *Säätöpalloventtiili anturikäyttöisellä virtauksensäädöllä, 6-tie tai Sähköinen 6-tie vyöhykeventtiili*. Englanninkielisissä esitteissä käytetään nimitystä *Characterised control valve with sensor-operated flow control (EPIV)* tai *Electronic pressure-independent 6-way zone valve*.

Kummankin venttiin ominaiskäyrä on lineaarinen. Suurin paine-ero paineesta riippuvalle venttiilille on 100 kPa ja paineesta riippumattomalle venttiilille 110 kPa. Kummasakin toteutuksessa, kun venttiin yli oleva paine-ero on mitoitusvirtaamalla enintään 50 kPa, toteutuu valmistajan mukaan matala äänitaso painehäviöstä johtuvan melun osalta. [9, s. 2; 12, s. 1.]

Belimon verkkosivuilla [13] on annettu esimerkkejä kuusitieventtiilien käytöstä. Paineesta riippumatonta toteutusta ehdotetaan käytettäväksi kattosäteilijöissä ja lattialämmityksessä/-viilennyksessä. Paineesta riippuvaa on edellä mainittujen lisäksi ehdotettu käytettäväksi puhallinpatterissa, jossa on yksi lämmönsiirtopiiri. [13] Verkkoaineiston sivulla 52 olevassa esimerkissä on paineesta riippuvalla toteutuksella varustettu kattosäteilijä.

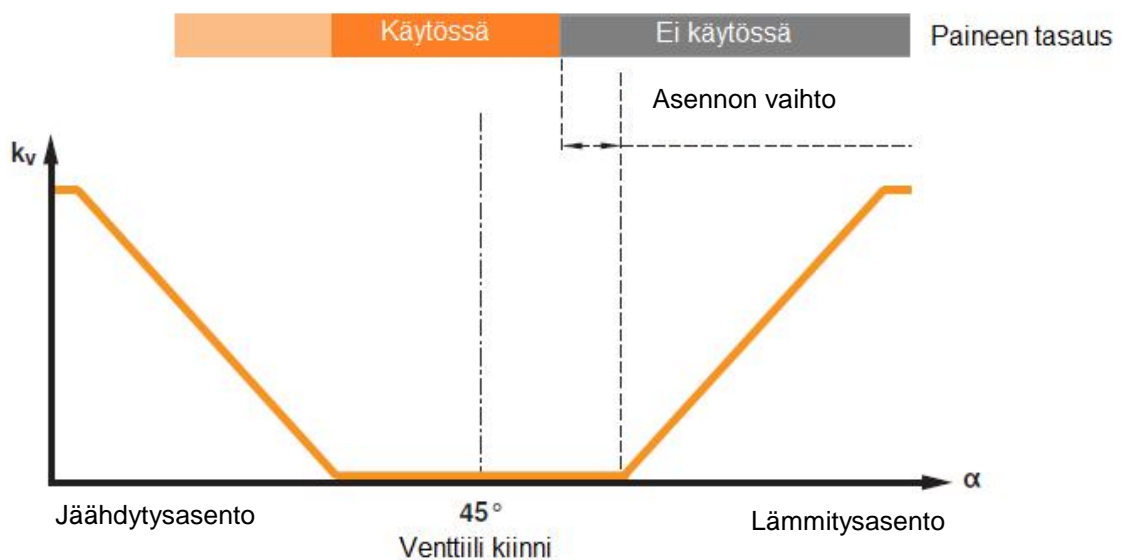
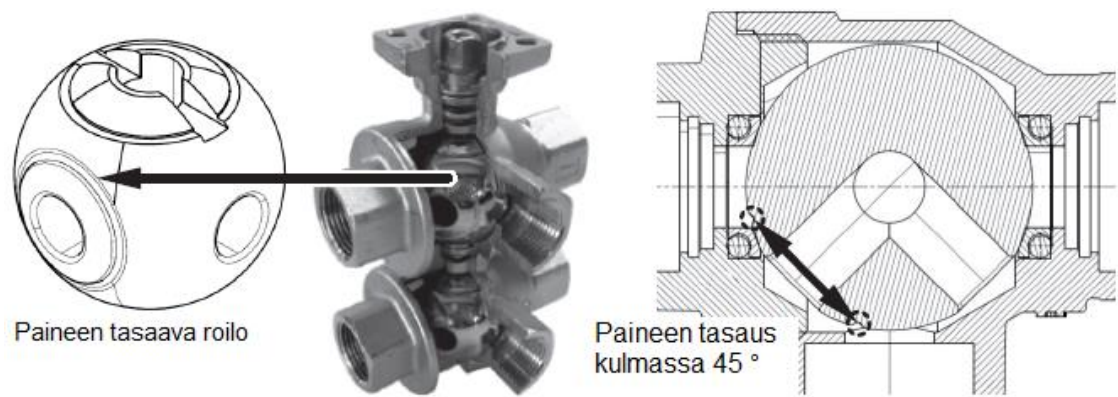


Kuva 19. Paineesta riippuva kuusitieventtiili ja kattosäteilijä [13, s. 52].

Kuvan 19 toteutuksessa kattosäteilijälle on valittu oikean kokoinen kuusitieventtiili, verkosto on tasapainotettu staattisilla linjasäätöventtiileillä ja taajuusmuuttajaohjattu pumppu pitää paineen riittävänä epäedullisimmassa reitissä. Jäähdytys- tai lämmitystehon vaatimaa virtaamaa ohjataan huonelämpötilan ja tarvittaessa läsnäoloanturin mu-

kaan. Kuusitieventtiili sulkeutuu, jos huoneen suhteellinen kosteus kasvaa ja kattosäteiliijän pinta saavuttaa kastepistelämpötilan tai jos huoneen ikkuna avataan. [13]. Vastavanlainen toteutus on myös paineesta riippumattomalle kuusitieventtiilille, jossa ainoa ero on, että linjasäätöventtiileitä ei tarvita. [13, s. 70].

Kuusitieventtiin ollessa sulkeutunut kääntökulmassa $30\text{--}60^\circ$ ei päätelaitteessa virtaa vettä. Tällöin esimerkiksi kattosäteiliijän tai muun päätelaitteen sisältämä jäähdytysvesi alkaa lämmitä kohdehuoneen lämpötilaan, ja sen tiheys ja vesitilavuus muuttuu, jolloin tapahtuu paineen vaihtelua päätelaitteen suljetussa lämmönsiirtopiirissä. Paineen vaihtelu on otettu huomioon lisäämällä roilo kuusitieventtiin palloon. Roilo yhdistää putkiyhteydet 1 ja 2, kuusitieventtiin ollessa jäähdytysasennolla kääntökulmassa noin $30\text{--}53^\circ$. Toimintoa ei tapahdu lämmitysasennolla. [11]

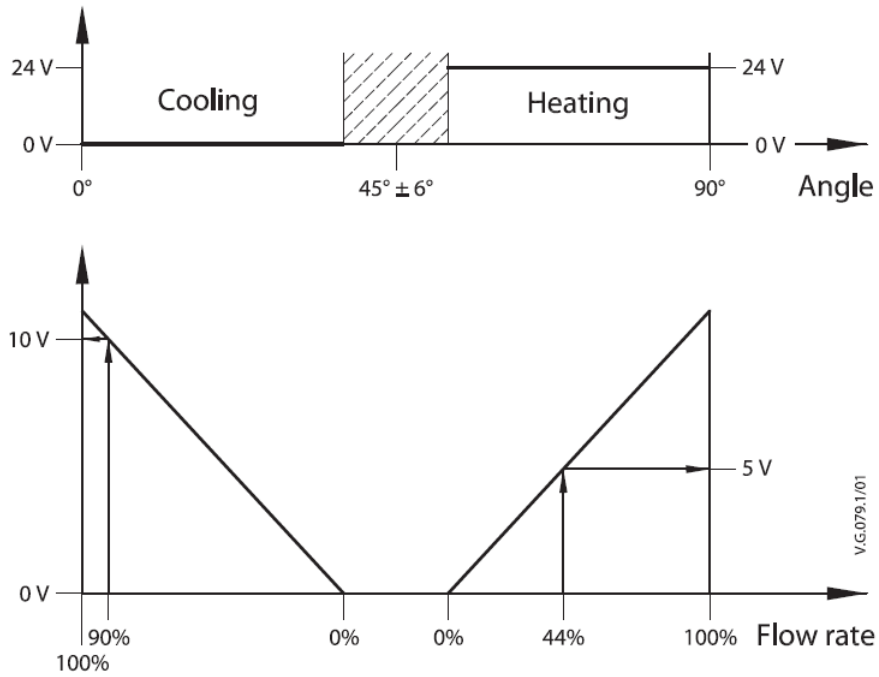


Kuva 20. Paineen tasauksen toiminta [11, s. 5].

Jäähdytysasennolta siirtyessä vaihtoalueelle, jolloin kuusitieventtiili on kiinni, päätelaitteen veden lämpötila voi olla esimerkiksi 17 °C ja kohdehuoneen lämpötila 25 °C. Tämä johtaa päätelaitteen suljetussa lämmönsiirtopiirissä olevan veden lämpötilan nousemiseen ja tilavuuden kasvamiseen sekä päätelaitteen rikkoutumiseen.

6.2 Danfoss

Kuusitieventtiili toimii kahden pisteen vaihtokytkimenä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien välillä. Vesivirran portaattomasta säädöstä sekä verkoston tasapainotuksesta vastaa AB-QM, paineesta riippumaton, istukkamallinen säätöventtiili. Nimellimitat ja k_{vs} -arvot kuusitieventtiilille ovat DN 15, 2,4 m³/h ja DN 20, 4,0 m³/h. AB-QM-säätöventtiili sopii käytettäväksi nimellimitoilla DN10–DN25 virtaamalla 150 l/h–1700 l/h. Järjestelmien erisuuruiset vesivirrat hoidetaan AB-QM-säätöventtiilin toimilaitteen AME 110NL:n 0–10 V säätöviestiä rajoittamalla. [14] Voidaan tarkastella lähteen 14 sivun 6 esimerkkiä. Kuusitieventtiilin toimilaitteen saadessa 0 V:n säätöviestin, on karan kääntökulma 0° ja jäähdytysvesi kiertää päätelaitteessa. Kuusitieventtiilin toimilaitteen saadessa 24 V:n säätöviestin kääntyy venttiilin kara 90°:n kulmaan ja päätelaitteessa kiertää lämmitysvesi. Jäähdytystehon mukainen vesivirta on noin 400 l/h ja lämmityksen noin 200 l/h. Valitaan DN 15 AB-QM, jonka suurin vesivirta on 450 l/h ja asetetaan esisäätöarvoksi 90 %. AB-QM-toimilaitte AME 110NL toimii portaattomasti 0–10 V:n ohjauksella, kun kuusitieventtiili päästää jäähdytysveden päätelaitteelle. Lämmitystilanteessa AME 110NL säätöviesti on rajoitettu 5 V:iin, joka vastaa noin 44 %:a AB-QM DN 15 suurimmasta vesivirrasta. [14, s. 6]



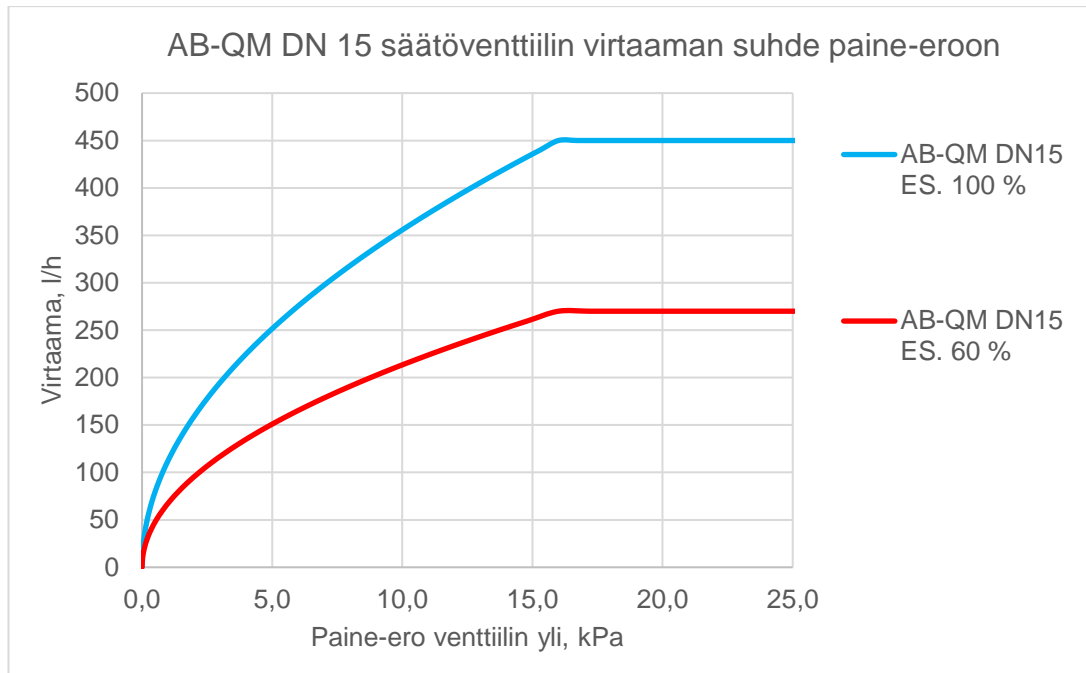
Kuva 21. Kuusitieventtiilin ja AB-QM-säätöventtiilin toimintaperiaatteet [14].

Kuvan 21 ylempi diagrammi kuvastaa kuusitieventtiilin karan kääntökulman 3-pisteohjausta 24 V:n säätöviestin avulla ja alempi AB-QM-säätöventtiilin veden virtauksen ohjausta 0–10 V:n säätöviestin avulla. Veden virtaama on esitetty prosentteina, jossa 100 % vastaa jäähdytystilanteen mitoitusvirtaamaa.



Kuva 22. Danfoss ChangeOver⁶ ja AB-QM [15].

Kuvassa 22 on esitetty Danfoss ChangeOver⁶, johon kuuluu kuusitieventtiili ja toimilaitte. Kuusitieventtiilin virtausyhteeseen 2 on kiinnitetty AME 110NL-toimilaitteella varustettu AB-QM-säätöventtiili ilman mittayhteitä. AB-QM-säätöventtiilin nimitys englanninkielisissä esitteissä on *Pressure independent balancing and control valve AB-QM*. Valmistajan suomenkielisissä esitteissä käytetään nimitystä *automaattinen virtauksenrajoitin*.



Kuva 23. AB-QM DN15 kahdella eri esisäätöarvolla. Vakiovirtaama toteutuu paine-erolla 16–600 kPa.

Kuvan 23 tarkoitus on ilmaista paine-eron suhdetta virtaamaan AB-QM-venttiilin yli. Venttiili vaatii tietyn paine-eron toimiakseen vakiovirtaama-alueella. Esimerkiksi DN15-venttiileille se on 16 kPa riippumatta esisäätöarvosta ja päätelaitteen mitoitusvirtaamasta. Valmistajan mukaan kyseinen paine tulee lisätä verkoston kiertopumpun paineenkorotukseen [16].

6.3 Frese

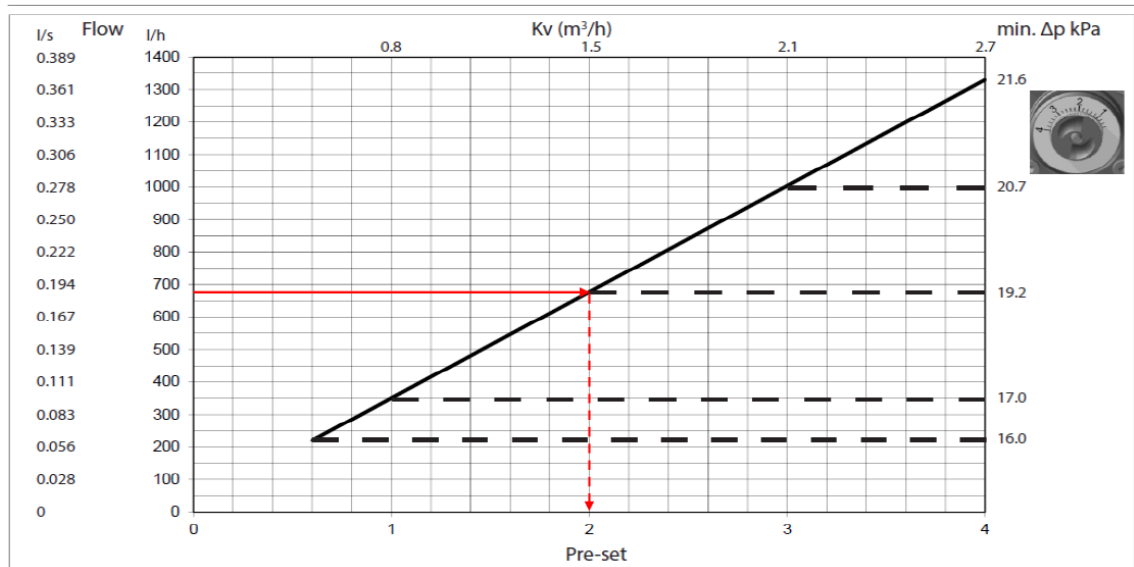
Frese OPTIMIZER 6-way on venttiilisarja, joka koostuu vaihtokytkimenä toimivasta kuusitieventtiilistä ja OPTIMA Compact PICV paineriippumattomasta, vinoistukkamallisesta, kaksitiesäätöventtiilistä. Kuusitieventtiilin putkiyhteiden nimellimitat ja k_{vs} -arvot ovat DN 15/1,9 m³/h ja DN 20, DN 25/4,25 m³/h. Ohjaus tapahtuu 3-pistetoimilaitteella Rotating Actuator for 6-way Valve, jonka käyttöjännite on 24 V AC/DC, ja paineesta riippumattomalla kaksitiesäätöventtiilillä, jota ohjaa portaattomasti terminen toimilaite Thermic Actuator for PICV, 24 VAC:n käyttöjännitteellä ja 0–10 VDC:n säätöviestillä. [17]

Kaksitiesventtiiliin asetetaan jäähdytyksen huipputehon mukainen vesivirta esisäätöarvon mukaan, jolloin saadaan myös tietää kyseisen venttiilin vaatima vähimmäispaine, joka

verkoston pumpun on kyettävä tuottamaan muiden putkistovarusteiden aiheuttaman painehäviön lisäksi. Lämmitystehon mukainen vesivirta ilmoitetaan prosentteina huippujäähdytystehon vesivirrasta Frese OPTIMIZER Control Unit -ohjausyksikölle. [17; 20.]

Otetaan esimerkki säätöventtiilin valinnasta, esisäätoarvon määrittämisestä, pumpun paineenkorotuksesta ja virtaamien rajoituksesta toimilaitteella. Mitoitusvirtaama jäähdytykselle on 675 l/h ja lämmitykselle 270 l/h. Valittu säätöventtiili on Frese OPTIMA Compact PICV DN15:n virtaama-alueella 220–1330 l/h. Esisäätoarvolla 2 ja virtaamalla 675 l/h venttiilille tulee varmistaa 19,2 kPa:n paine vakiovirtaaman saavuttamiseksi. [17, s. 6]

Frese OPTIMA Compact PICV High 5.0 DN15 (220-1330 l/h)



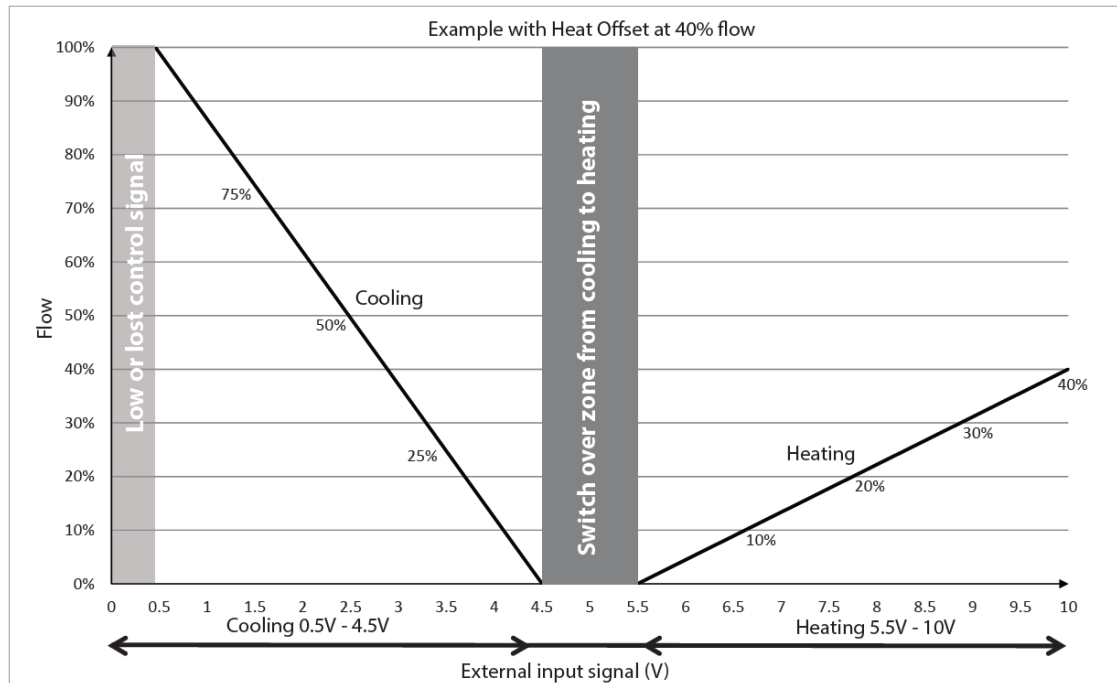
Kuva 24. Säätöventtiili OPTIMA Compact PICV esisäätoarvon valinta [17].

OPTIMA Compact PICV-säätöventtiilin esisäätoarvo valitaan halutun virtaaman mukaan, minkä jälkeen tarkastetaan pumpulle lisättävä minimipaineen korotus muun verkoston painehäviön lisäksi mukaan lukien kuusitieventtiili (kuvassa 24 oikeassa ylänurkassa min. Δp kPa), jotta venttiili toimi vakiovirtaama-alueella. [17]

Kuusitieventtiilin painehäviö lasketaan k_{vs} -arvon avulla yhtälöllä 8. DN 15-kuusitieventtiilin k_{vs} -arvo on 1,9 m³/h ja painehäviön määrittävä mitoitusvirtaama on jäähdytykselle tarkoitettu 675 l/h.

$$\left(\frac{675 \cdot 10^{-3} \frac{\text{l}}{\text{h}}}{1,9 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}} \right)^2 * 100 \text{ kPa} = 12,621 \text{ kPa} \sim 13 \text{ kPa} \quad (8)$$

Yhtälön 8 ja kuvan 24 perusteella pumpun tulee tuottaa verkoston painehäviön lisäksi yhteensä 32,2 kPa:n paineen korotus. 19,2 kPa on varattu venttiilille ja 13 kPa on kuusitieventtiin painehäviö jäähdytystilanteen mitoitusvirtaamalla.



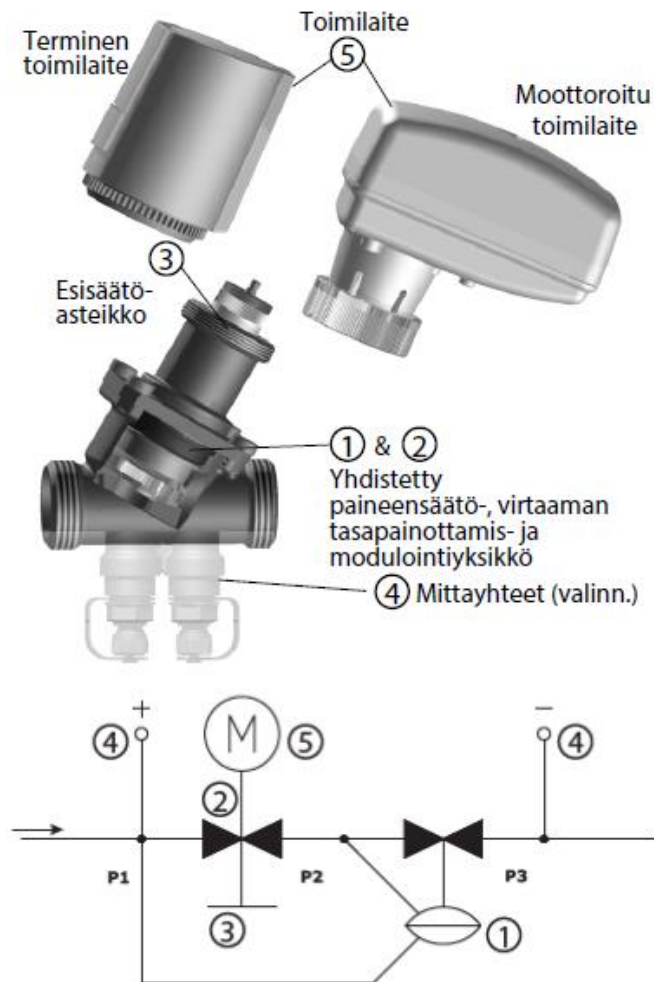
Kuva 25. Mitoitusvirtaaman rajoitus [17].

Lämmityksen mitoitusvirtaaman rajausta on kuvattu kuvassa 25. Mitoitusvirtaama on rajoitettu 40 %:iin jäähdytyksen mitoitusvirtaamasta. Rajoitus tehdään huonekohtaisen ohjauksyksikön kautta.



Kuva 26. Optima Compact PICV-säätöventtiili, kuusitieventtiili, toimilaitteet ja ohjauksyksikkö [18; 19].

Kuvassa 26 vasemmalla on mittayhteillä ja termisellä toimilaitteella varustettu OPTIMA Compact PICV-säätöventtiili. Oikealla kyseinen venttiili on yhdistetty kuusitieventtiin päätelaitteelle tarkoitettuun menoveden virtausyhteeseen. Kuusitieventtiili on varustettu sen omalla 3-pistetoimilaitteella. Kuusitieventtiin oikealla puolella on huonekohtainen ohjausyksikkö.



Kuva 27. OPTIMA Compact PICV-säätöventtiili rakenne [20].

Kuvassa 27 venttiin painehäviö on välillä P1 ja P3, painehäviö portaattomasta säädöstä vastaavan osan yli on välillä P1 ja P2. Osan yksi avulla toteutettu painehäviö välillä P2–P3 varmistaa, ettei päätelaitteelle tuleva vesivirtaama ylitä esisäätöarvon mukaista mitoitusvirtaamaa. [20]

6.4 IMI Hydronic Engineering

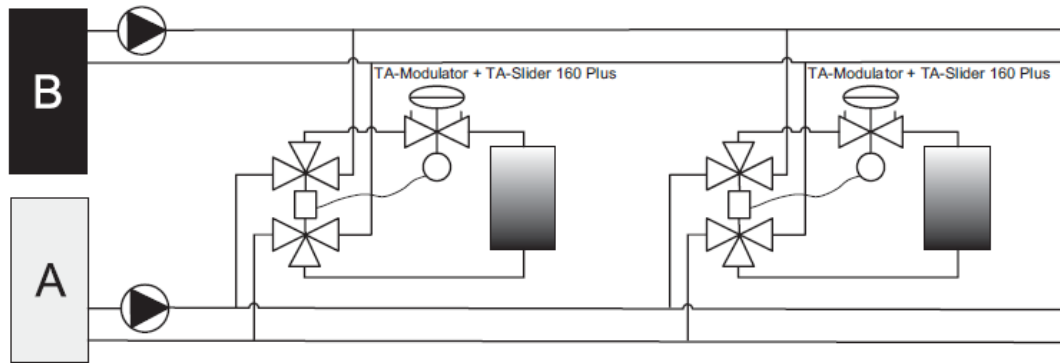
TA-6-way valve toimii vaihtokytkimenä, kun käytetään 3-pistetoimilaitetta TA-M106, tai virtaaman säätimenä, kun käytössä on jatkuvasäätöinen toimilaite TA-MC106Y (kuva 28). Venttiiliä on saatavilla nimelliskoolla DN 15 ja k_{vs} -arvolla 1,25 m³/h [19]. Valmistaja ehdottaa kuusitieventtiilin teknisessä esitteessä seuraavia kuusi- ja kaksitieventtiilien yhdistelmiä [21, s. 3]:



Kuva 28. TA 6-way valve toimilaitteella TA-M106/TA-MC106Y varustettuna [21].

6.4.1 TA-Modulator

Kuusitieventtiili toimii 3-pisteohjauksella, ja virtaamaa säätelee kuusitieventtiilin ja pääte-laitteen välissä, paineesta riippumaton TA-Modulator-venttiili, jota ohjaa jatkuvasäätöinen TA-Slider 160 Plus-toimilaite 0–10 VDC:n säätöviestillä. DN 15–20-venttiileiden iskupituus on 4 mm ja DN 25–32-venttiileiden 6,5 mm. Edellä mainittujen venttiilien virtaama-alue on 93–3600 l/h. Vakiovirtaama DN 15–20-venttiilille toteutuu paine-erolla 15–600 kPa ja DN 25–32-venttiileille paine-erolla 23–600 kPa. TA-Modulator-venttiilin ominaiskäyrä on tasaprosenttinen.



Kuva 29. Kytkentäperiaate TA-Modulator säätöventtiilillä ja TA-Slider 160 Plus-toimilaitteella [21].

Kuvassa 29 on TA-Modulator asennettu päätelaitteen ja kuusitieventtiin päätelaitteen menovedelle tarkoitettuun virtausyhteeseen. TA-Slider 160 Plus on yhteydessä kuusitieventtiin toimilaitteeseen TA-M106. Kuusitieventtiin ollessa jäähdytysasennossa ohjaa TA-Slider 160 Plus jäähdytysveden virtaamaa portaattomasti ohjausviestillä 0(2)–3,3(4,7) V, lämmitysasennossa virtaamaa säädetään ohjausviestillä 6,7(7,3)–10 V. Toimitus on valmistajan mukaan tarkin toteutus virtaaman säädön kannalta. [22]

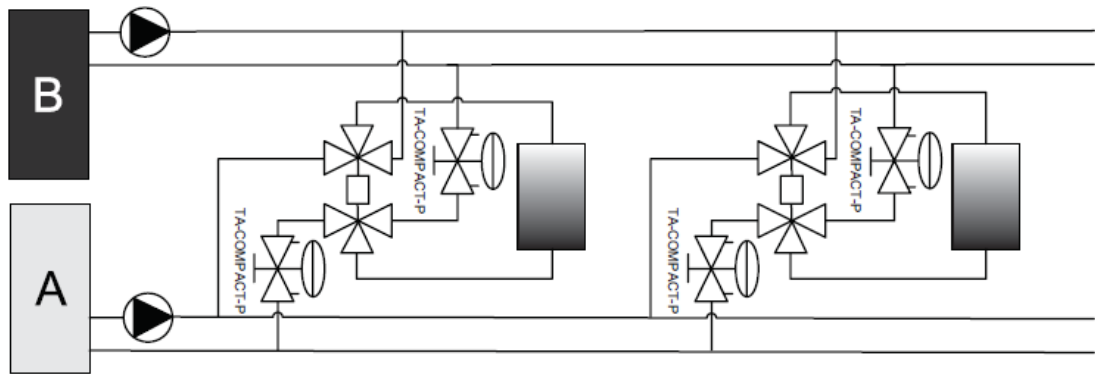


Kuva 30. TA Modulator [23].

Kuvassa 30 on esitetty TA Modulator, paineesta riippumaton 2-tiesäätöventtiili, jota käytetään kuvan 29 kytkentäperiaatteessa yhdessä kuusitieventtiin kanssa. Kuvan 30 venttiili on nimelliskokojen DN15–32 malli.

6.4.2 TA-COMPACT-P

Kuusitieventtiili toimii portaattomana virtaaman säätimenä toimilaitteen TA-MC106Y ja 0–10 V säätöviestin avulla. Kuusitieventtiili toimii on/off-säädöllä johtuen lineaarisesta ominaiskäyrästä ja käytettävän järjestelmän säätöön jäävästä asennon 22°:n käänkökulmasta. Päätelaitteen mitoitusvirtaamat lämmitys- ja jäähdytysasennoille varmistetaan oikeaksi laittamalla kuusitieventtiiliin ja järjestelmien runkolinjojen väliin TA-COMPACT-P paineesta riippumattomat kaksitieventtiilit varmistamaan, että päätelaitteelle tuleva vesivirta ei verkoston paineen kasvaessa ylitä mitoitusvirtaama. [22].



Kuva 31. Kytentäperiaate TA-COMPACT-P [21].

TA-COMPACT-P-venttiilit on sijoitettu kuvassa 31 kuusitieventtiiliin paluuyhteiden ja jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien paluuputkien väliin rajoittamaan virtaamat päätelaitteen mitoitusvirtaaman mukaiseksi, eikä niitä ole varustettu toimilaitteella, joka olisi yhteydessä kuusitieventtiiliin toimilaitteeseen Kohdehuoneen kuorman vaihdellessa kuusitieventtiili ja sen toimilaitte TA-MC106Y rajoittavat päätelaitteen vesivirtaa on/off-tyyppisellä säädöllä. [22]

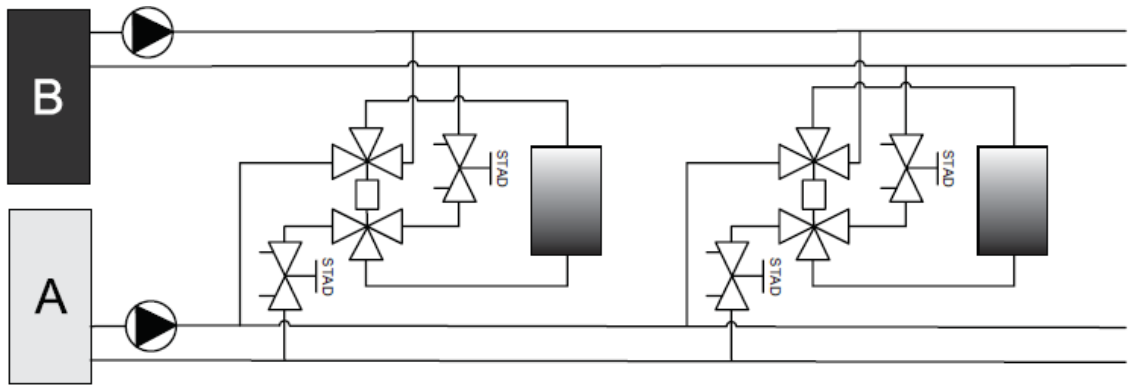


Kuva 32. TA-COMPACT-P [24].

Kuvan 32 TA-COMPACT-P-venttiiliä on saatavilla nimellimitoilla DN 10–32 virtaama-alueella 21,5–3700 l/h. Paine-ero vakiovirtaaman saavuttamiseksi tulee olla DN 10–20-venttiileille 15–400 kPa ja DN 25–32-venttiileille 23–400 kPa. Edellä mainittujen venttiilien iskupituus on 4 mm. TA-COMPACT-P-venttiilin ominaiskäyrä on lineaarinen. Tällä toteutuksella varmistetaan päätelaitteen maksimivirtaama oikeaksi, mutta ei saada tarkkaa lämpötilan säätöä päätelaitteen osalta. [22]

6.4.3 STAD

Päätelaitteelle säädetään jäähdytys- ja lämmitystehon vaatimat virtaamat STAD-linjan säätöventtiileillä ja virtaaman portaaton säätö tapahtuu kuusitieventtiilin ja TA-MC106Y toimilaitteen avulla. Kuten edellä on mainittu, kuusitieventtiili toimii käytännössä on/off-säätimenä. [22]



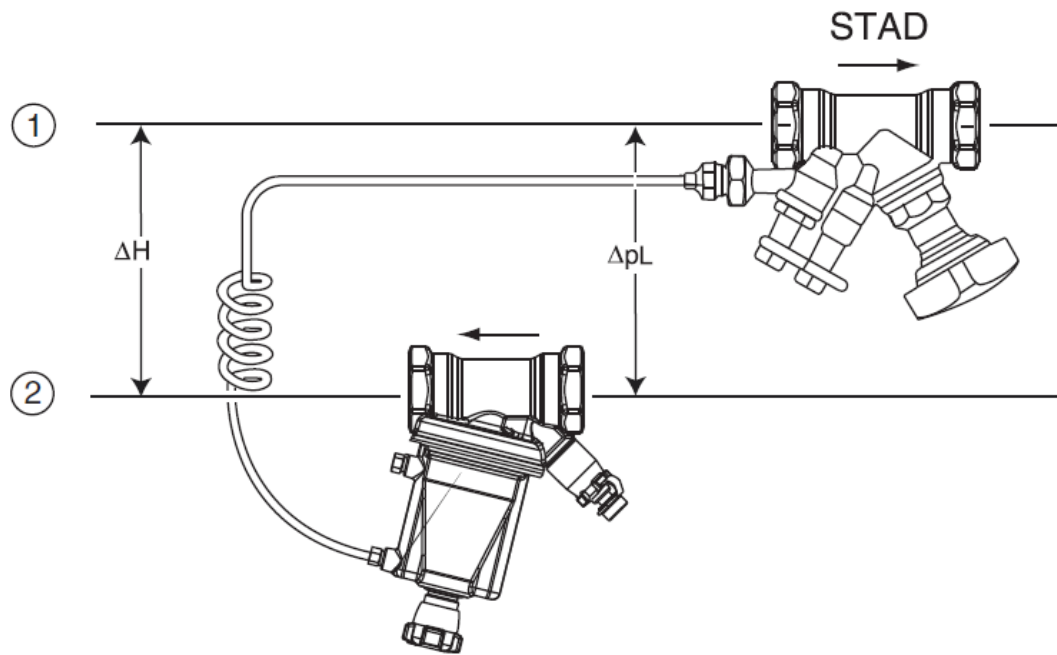
Kuva 33. Kytöntäperiaate STAD-linjasäätöventtiilillä [21].

Kuvan 33 kytkentäperiaatteessa STAD-linjasäätöventtiilit on sijoitettu kuusitieventtiin ja järjestelmien paluuputkien väliin. Verkoston paineen kasvaessa kuusitieventtiili rajoittaa päätelaitteen vesivirtaa on/off-säädöllä. STAP-paine-erosäädintä ei ole tässä kuvassa esitetty. [22]



Kuva 34. STAD-linjasäätöventtiili ja STAP-paine-erosäädin [25; 26].

Kuvassa 34 vasemmalla on STAD-linjasäätöventtiili, jota käytetään jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien virtaustekniseen tasapainotukseen [25]. Oikealla kuvassa 34 on STAP-paine-erosäädin, jota käytetään STAD-linjasäätöventtiin kanssa, mikäli halutaan paineesta riippumaton toteutus, jolloin saadaan aseteltua mitoitusvirtaama vakioksi riippumatta verkoston paineen vaihteluista. Tarkkaan virtaaman säätöön muuttuvissa kuormitusoloissa ei kuitenkaan päästä kuusitieventtiin on/off-tyyppisen säädön johdosta. [21]



Kuva 35. Kytkentäperiaate STAD-linjasäätöventtiili ja STAP-paine-erosäädin [26].

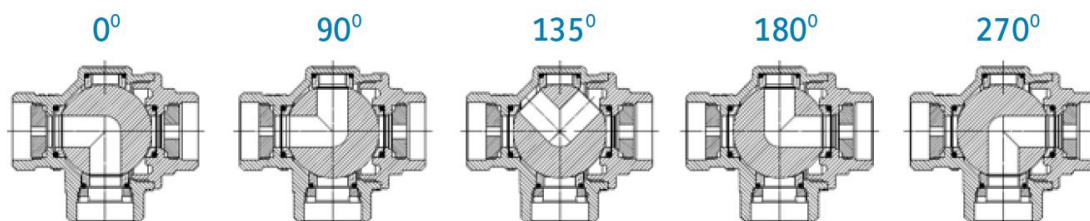
Kuvan 35 esittää STAD-linjasäätöventtiilin ja STAP-paine-erosäätimen kytkentäperiaatetta verkostossa. Käytettäessä STAP-paine-erosäädintä tulee STAD-linjasäätöventtiili sijoittaa järjestelmän menoputkeen. Kuusitieventtiilin kanssa käytettynä STAD-linjasäätöventtiilit tulisivat siis menoputkiin järjestelmien runkolinjojen ja kuusitieventtiilin väliin. Kuvassa 35 menoputki on merkitty ympyröidyllä ykkösellä ja paluuputki ympyröidyllä kakkosella. [26]

6.5 Johnson Controls



Kuva 36. Toimilaitte VA9905 270° ja kuusitieventtiili VG1600 [23].

Lineaarisen ominaiskäyrän sekä säätösuhteen 1:100 omaava VG1600 270° Six-Way Valve on tarkoitettu toimimaan vaihtokytkimenä sekä portaattomana virtaaman säätimenä. Venttiiliä on saatavilla nimellismitoilla DN 15 ja DN 20. Venttiilin k_{vs} -arvot määritellään erillisillä kuristuslaipoilla, joita on neljää eri kokoa 0,63 m³/h, 1,00 m³/h, 1,6 m³/h ja 2,5 m³/h. Ilman kuristuslaipan asennusta venttiilin k_{vs} -arvo on 3,3 m³/h. Kuristuslaipat ohjeistetaan asetettavaksi kuusitieventtiilin paluupuolen putkiyhteisiin 4 ja 6. [27]

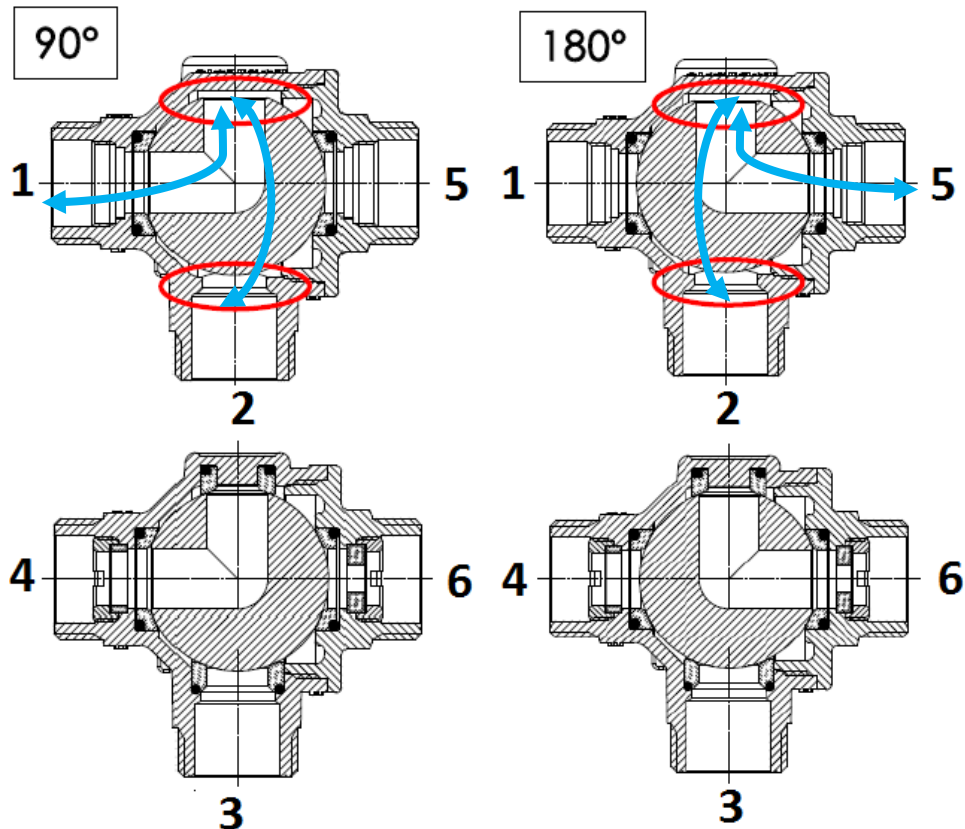


Kuva 37. VG1600 270° Six-Way Valve -kuusitieventtiilin karan käänkökulma [23].

Varustettuna elektronisella VA9905-toimilaitteella karan käänkökulmaksi tulee 270°. Kummallekin asennolle sekä niiden välissä olevalle vaihtoalueelle on käytössä 90°:n

kääntökulma. Jäähdytysasento on kääntökulmassa $0-90^\circ$, vaihtoalue $90-180^\circ$ ja lämmitysasento kulmalla $180-270^\circ$. [28] Yhdelle asennolle jää kääntökulmaa virtaaman säätöön 60° [29].

Venttiilin kiinni ollessa päätelaitteeseen jäänyt vesi aiheuttaa paineen muutoksen päätelaitteen kiertopiirissä veden lämpötilan hakeutuessa kohdehuoneen lämpötilaan. Tämä on ratkaistu muotoilemalla kuusitieventtiilin rakennetta kuvan 38 osoittamalla tavalla.



Kuva 38. Kuva laadittu Johnson Controlsin verkkoaineiston perusteella. Veden kulkuyhteys on ympyröity punaisella ja reitti sinisillä nuolilla. [27]

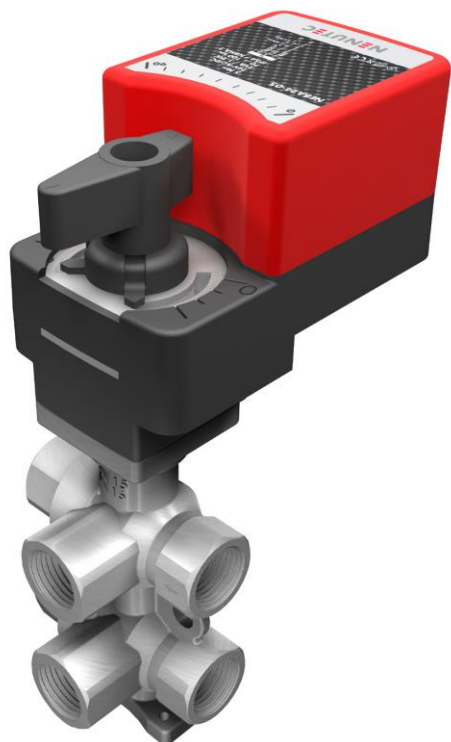
Jäähdytystarpeen loputtua ja venttiilin siirtyessä kohti lämmitysasettoa, noin 90° :n kulmassa päätelaitteen vesi pääsee laajenemaan venttiilin ylemmän puoliskon virtausaukon 2 kautta säätöelimenä toimivan kuulan yli virtausaukolle 1. Alemman puoliskon virtausaukot 4 ja 3 puolestaan ovat täysin suljetut, eikä päätelaitteen vesi ole yhteydessä jäähdytysjärjestelmän paluuputkistoon. Vastaavanlainen tilanne on lämmitysasennolla, 180° :n kulmassa. Tällöin paineen muutosta tasaavat virtausaukot ovat 2 ja 5. Suljetut virtausaukot ovat puolestaan 3 ja 6. Paineentasaus toimii kummallakin asennolla. [27]

6.6 Nenutec

Nenutec:n kuusitieventtiili toimii vaihtokytkimenä tai säättää virtaamaa. Toimintatapa määräytyy valmistajan toimilaitteen mukaan, joiden ohjaus voi olla on/off-tyyppinen tai 3-piste. Nämä toimivat AC/DC 24 V:n tai AC 230 V:n käyttöjännitteellä, kun taas jatkuväsäätöinen toimilaitte käyttää 0(2)–10 VDC:n säätöviestiä ja AC/DC 24 V:n käyttöjännitettä.

Venttiilin putkiyhteet ovat sisäkierteisiä. K_{vs} -arvot määritellään erillisillä kuristuslaipoilla, joita on seitsemän eri kokoa. DN 15 -venttiilille NCVB66015 voidaan kuristuslaipoilla valita k_{vs} -arvo välillä 0,16–1,10 m³/h. Ilman kuristuslaippaa DN 15 -venttiili on k_{vs} -arvolta 1,34 m³/h. DN 20 -venttiilille NCVB66020 saadaan k_{vs} -arvot väliltä 0,47–2,21 m³/h ja ilman kuristuslaippaa k_{vs} -arvoksi tulee 2,58 m³/h.

Säätöviestin suhde kääntökulmaan on 0 V / 0°–10 V / 90°. DN 15 -venttiilin pituus, leveys ja korkeus ovat 35 mm, 76 mm ja 120 mm ilman toimilaitetta. Vastaavat mitat DN 20 -venttiilille ovat 43 mm, 100 mm ja 148 mm. Pituudet 35 mm ja 43 mm ovat venttiilin rungon keskeltä päätelaitteen putkiyhteen päähän. [30]



Kuva 39. Nenutecin kuusitieventtiili ja toimilaitte [30].

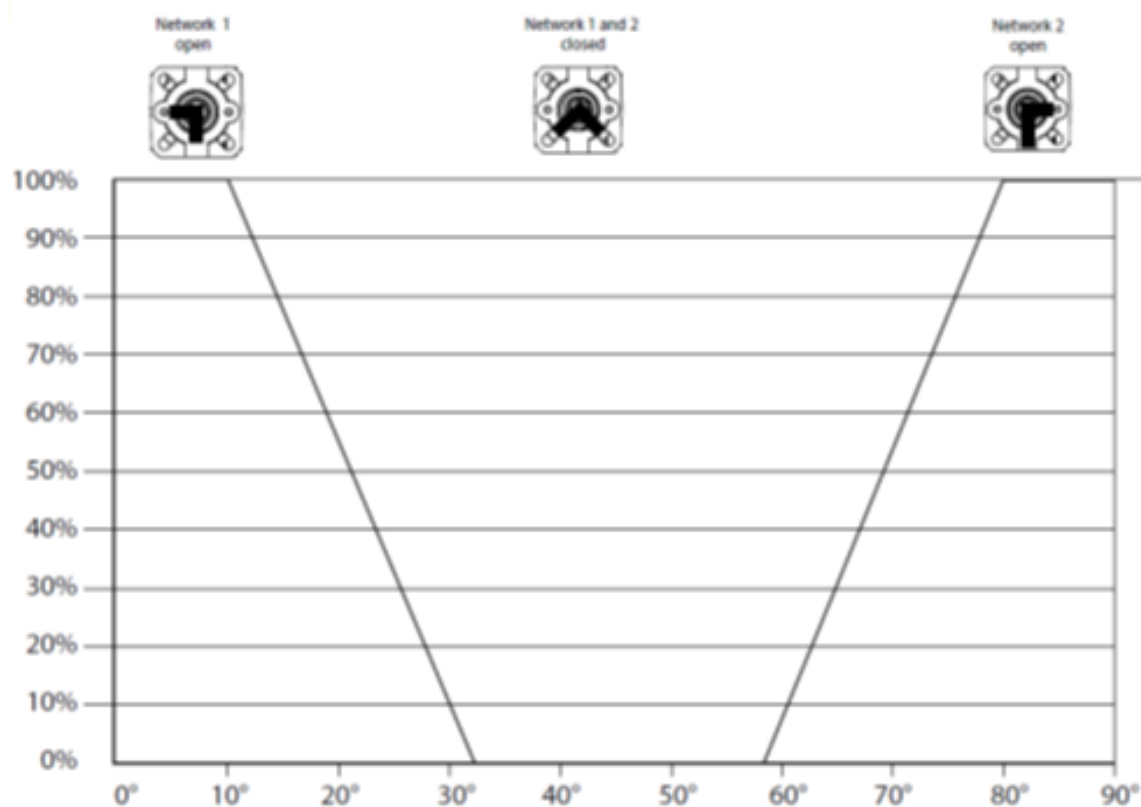
6.7 Sauter

B2KL-kuusitieventtiiliä voidaan käyttää portaattoman virtaaman säätöön, jolloin tasapainotus tulee tehdä staattisten linjasäätöventtiilien avulla. Toinen vaihtoehto on käyttää sitä pelkästään vaihtokytkimenä, jolloin toteutukseen lisätään paineesta riippumaton kaksitiesäätöventtiili SAUTER Valveco Compact päätelaitteen ja kuusitieventtiilin väliin. Kuusitieventtiiliä on valmistajalla nimellismitoilla DN 15 ja DN 20, joiden k_{vs} -arvot asetetaan halutuiksi erillisillä kuristuslaippoilla. DN 15 -venttiileille B2KL015F400 ja ...F401 kuristuslaippojen k_{vs} -arvot ovat 0,25 m³/h, 0,4 m³/h, 0,63 m³/h ja 1,0 m³/h. Ilman kuristuslaippaa kummankin venttiilin k_{vs} -arvoksi tulee 1,25 m³/h. DN 20 -venttiilin B2KL020F411 kuristuslaippavalikoima koostuu k_{vs} -arvoista 0,7 m³/h, 1,0 m³/h, 1,6 m³/h ja 2,1 m³/h sekä ilman kuristuslaippaa 2,8 m³/h. DN 20 -venttiilille B2KL020F400 kuristuslaippavalikoima koostuu k_{vs} -arvoista 0,25 m³/h, 0,4 m³/h, 0,65 m³/h, 1,0 m³/h, 1,3 m³/h, 1,6 m³/h, 2,5 m³/h, 3,45 m³/h. Ilman kuristuslaipan asennusta venttiilin k_{vs} -arvoksi tulee 4,25 m³/h. Kaikkiaan venttiilivalikoiman k_{vs} -arvot vaihtelevat välillä 0,25–4,25 m³/h. Venttiilissä on sisäänrakennettu paineentasaus, joka ottaa päätelaitteen kiertoveden lämpölaajenemisesta aiheutuvan paineenvaihtelun vastaan kuusitieventtiilin ollessa suljettu. Toimilaitteita Sauterin kuusitieventtiilille on seitsemää eri tyyppiä [31]

Kaksitiesäätöventtiiliä on nimellismitoilla kaikkiaan DN10–50. Soveltuvilla nimellismitoilla DN 10 ja DN 20 virtaamat ovat välillä 30–1330 l/h. Alhaisin paine-ero venttiilin yli, jolla vakiovirtaama saavutetaan, on 8 kPa, 14 kPa tai 15 kPa, iskupituus puolestaan on 2,5 mm, 4 mm, 5 mm tai 5,5 mm riippuen venttiilin tyypistä. Suurin mahdollinen paine-ero on 800 kPa. Kaksitiesäätöventtiilille löytyy toimilaitteita kymmentä eri tyyppiä. [32]

Eroavaisuudet kuusitie- ja kaksitieventtiileiden eri toimilaitteilla ovat pääosin säätöviestin, käyntiajan ja toimijännitteen välillä. Kaksitiesäätöventtiilin virtaama asetetaan suuremman mitoitusvirtaaman mukaiseksi esisäätöarvon avulla ja rajoitetaan toimilaitteen säätöviestin avulla, mikäli jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien väliset virtaamat ovat erisuuret.

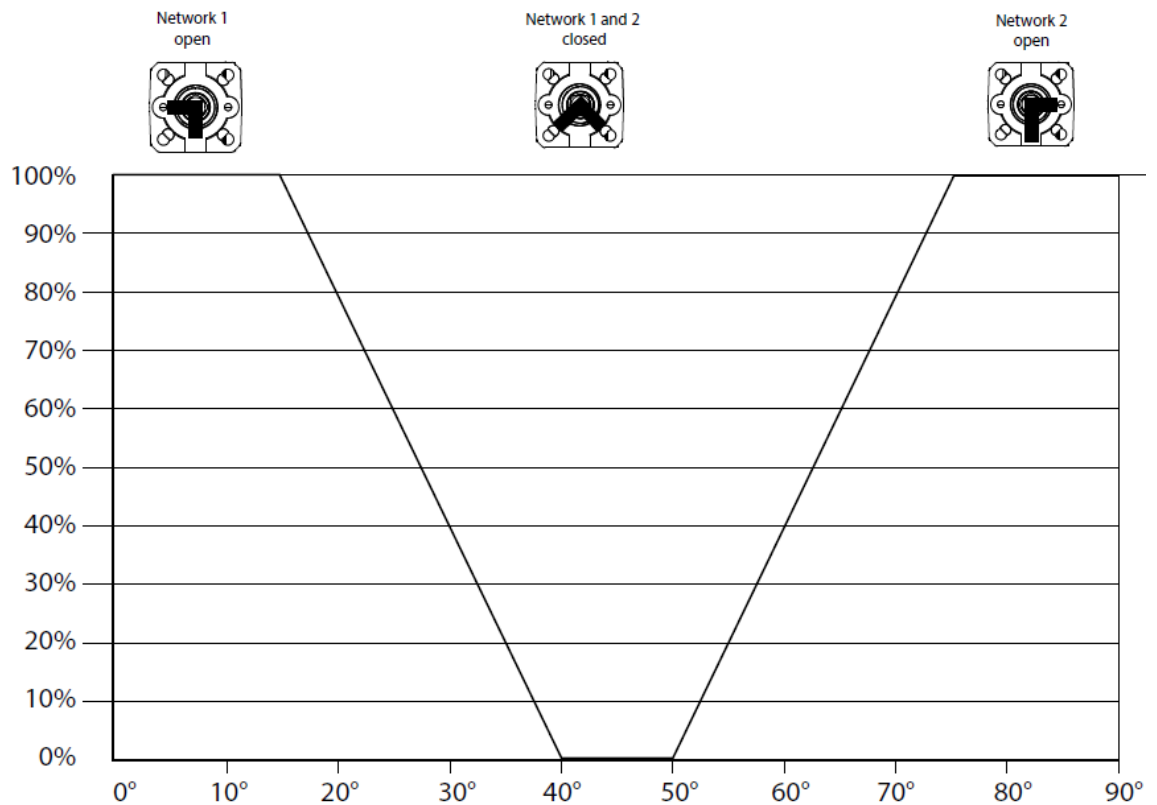
Circuit of B2KL015F400, B2KL015F401, B2KL020F411



Kuva 40. Kuusitieventtiilien B2KI015F400, ...15F401 ja ...20F411 avautumisen suhde käänökulmaan [31].

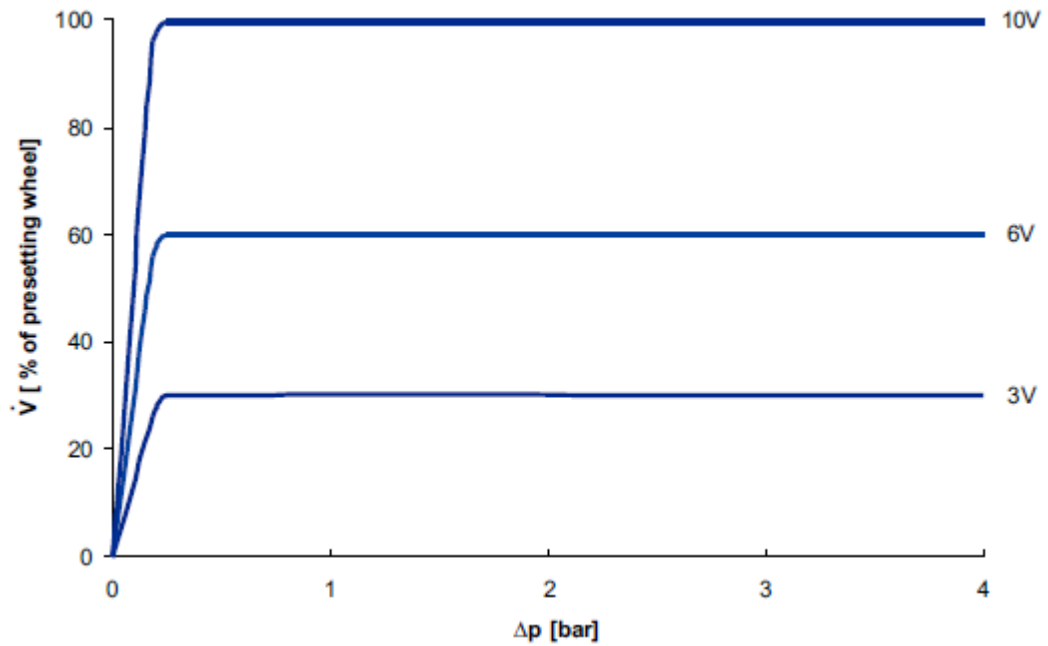
Kuvasta 40 selviää, että kuusitieventtiilien B2KI015F400, ...15F401 ja ...20F411 iskupituus, eli säädön hoitava käänökulma, kummallekin asennolle on noin 20° ja vaihtoalue alle 30°. Valitun k_{vs} -arvon mukainen mitoitusvirtaama toteutuu viimeisellä 10°:lla.

Circuit of B2KL020F400



Kuva 41. Kuusitieventtiin B2KI020F400 avautumisen suhde käänkökulmaan [31].

Kuva 41 kertoo kuusitieventtiin B2KI020F400 karan virtausaukon avautumisen prosentteina suhteessa karan käänkökulmaan. Kummallekin asennolle on säätöön tarkoitettua käänkökulmaa noin 25° ja vaihtoaluetta 10°. Viimeisellä noin 15°:lla venttiili on täysin auki.



Kuva 42. Kaksitiesäätöventtiilin VDL015F210 DN 15 virtaaman suhde paine-eroon [32].

Paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin VDL015F210 virtaaman suhde paine-eroon hahmottuu kuvasta 42. Esisäätöarvolla 100 % virtaaman rajoitus tapahtuu, kun säätöviesti on alle 10 V, kun taas esisäätöarvolla 60 % vaaditaan alle 6 V:n säätöviesti, ennen kuin virtaama rajoittuu. Toisin sanoen virtaama 6 V:n säätöviestillä vastaa 60 %:n esisäätöarvon virtaamaa. Kuvasta hahmottuu myös vähimmäispaine-ero, jonka jälkeen virtaama venttiilin läpi ei kasva, vaikka verkoston paine kasvaisi. Venttiilille VDL015F210 DN 15 tämä vähimmäispaine-ero on 14 kPa. [32]

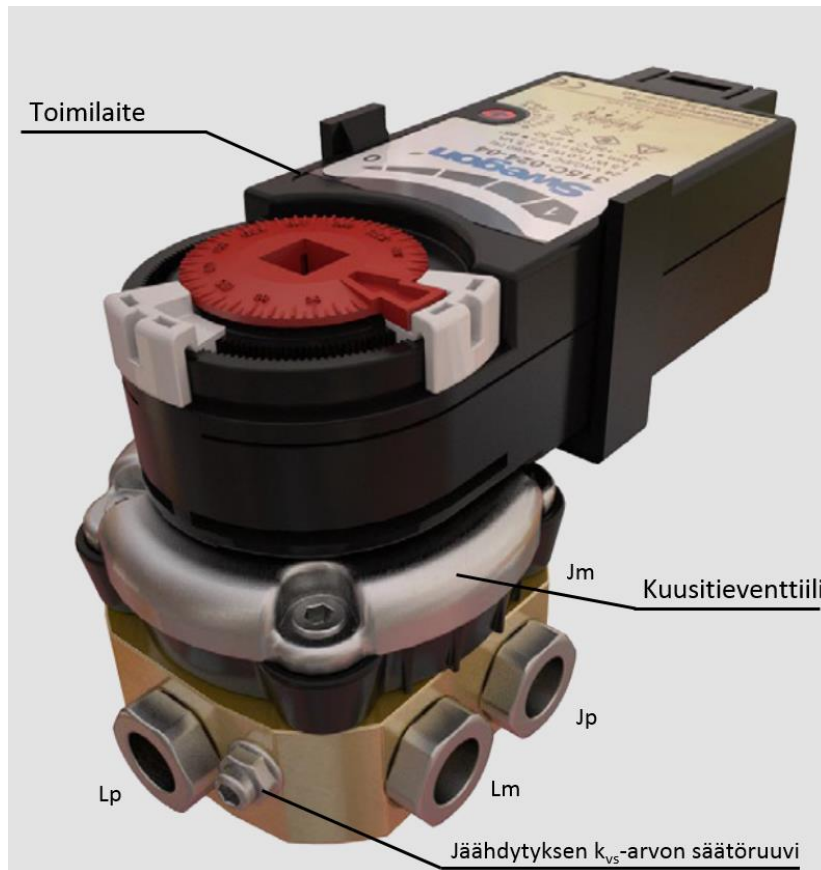


Kuva 43. Sauter kuusitieventtiili B2KL... ja kaksitiesäätöventtiili VDL0... toimilaitteella [33].

6.8 Swegon

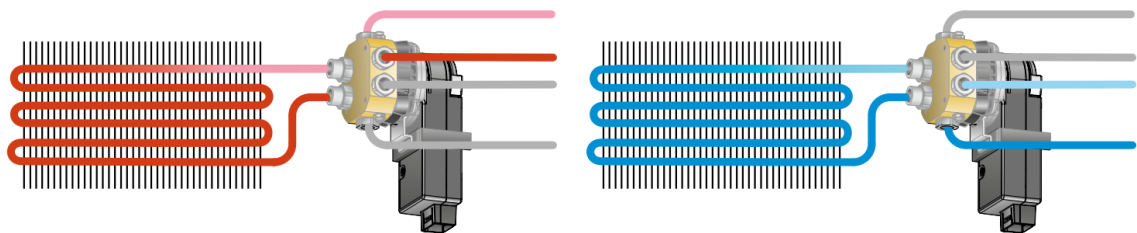
CCO kit eli Compact Change Over-6-way switch valve with motor on ilmastointipalkkien ja -moduulien lämmitys- ja jäähdytysvesien virtaamille tarkoitettu säätö- ja vaihtoventtiili. Venttiiliä ohjaa sen oma toimilaite 2–10 VDC:n säätöviestillä, jossa 2–4,1 V on tarkoitettu jäähdytykselle, 4,1–7,2 V:n alueella venttiili on suljettu ja 7,2–10 V on tarkoitettu lämmitykselle. Ohjausviestillä 2 V venttiili päästää jäähdytystilanteen mitoitusvirtaaman pääte-laitteelle ja ohjausviestillä 10 V lämmitystilanteen mitoitusvirtaaman. Toimilaite tarvitsee 24 VAC:n tai VDC:n toimijännitteen. Venttiin putkiyhteet ovat DN 10. K_{vs} -arvot asetetaan erikseen venttiilissä olevien säätöruuvien avulla kummallekin asennolle välillä 0,028–0,9 m³/h. [34]

Valmistaja suosittelee CCO:n käyttöä PARAGON-huonekohtaisen ilmastointimoduulin kanssa [35].



Kuva 44. Swegon CCO [34].

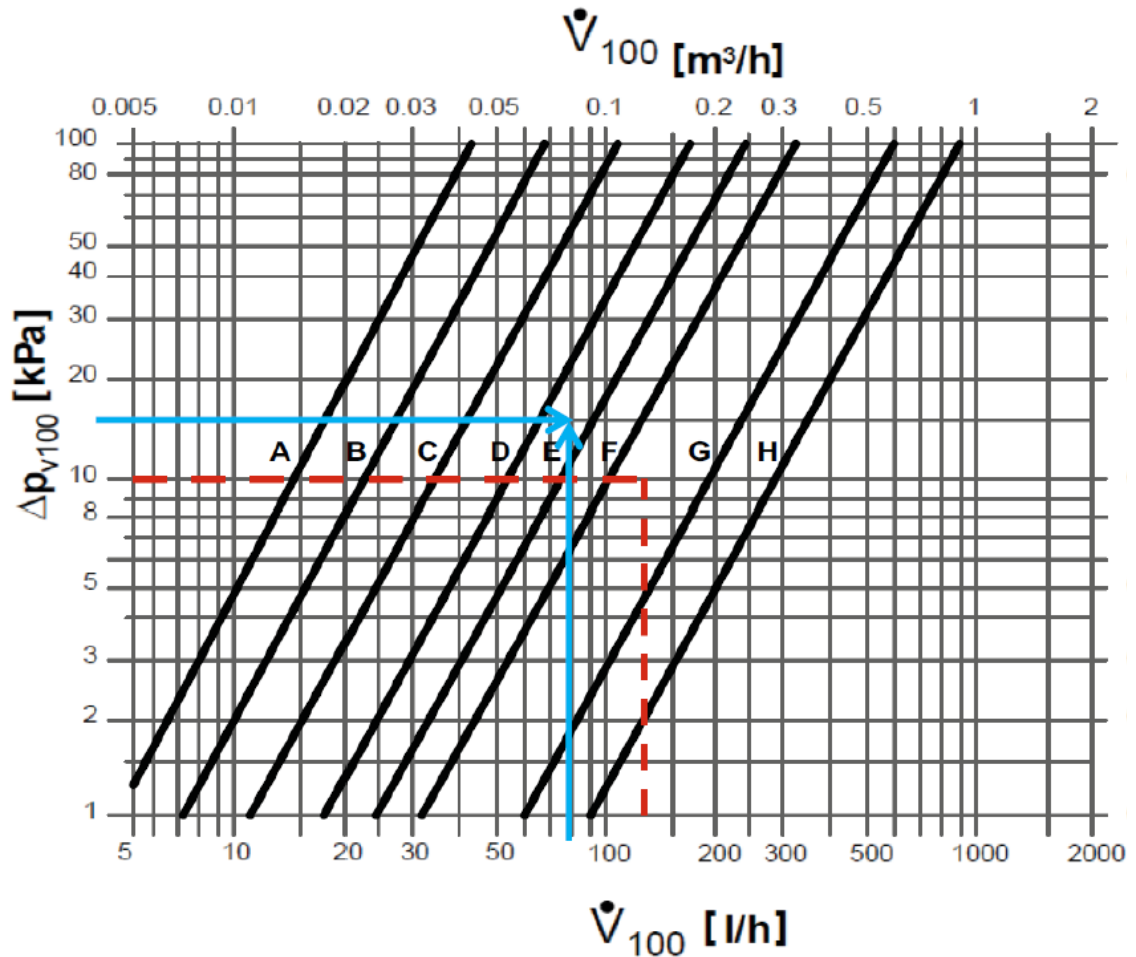
Kuvassa 44 näkyy lämmityksen paluuputken yhde (Lp), jäähdytysasennon k_{vs} -arvon säätöruuvi, lämmityksen menoyhde (Lm) ja jäähdytyksen paluuputken yhde (Jp). Jäähdytyksen menoyhde (Jm) ja lämmityksen k_{vs} -arvon säätöruuvi ovat toimilaitteen alla. Päätelaitteen putkiyhteet ovat kuusitieventtiilin pohjassa. [34]



Kuva 45. Swegon CCO:n kytkentäperiaate [35].

Vasemmalla kuvassa 45 on CCO lämmitysasennossa ja oikealla jäähdytysasennossa. Kuvasta näkyvät myös kuusitieventtiilin pohjassa olevat päätelaitteelle menevät putkiyhteet. [35]

Esimerkiksi jäähdytystehon vaatima mitoitusvirtaama on 80 l/h. Esimerkin tapauksessa 15 kPa:n paine-ero takaa riittävän auktoriteetin. Katsotaan kuvasta 46 mitoitusvirtaaman 80 l/h ja 15 kPa paine-eron kohdalta vaadittava k_{vs} -arvo.



Kuva 46. k_{vs} -arvon valinta mitoitusvirtaaman ja paine-eron mukaan [34].

Sinisellä piirrettyjen suorien nuolenkärjet osuvat k_{vs} -arvon 0,171 m³/h (musta ehyt suora tunnisteella D) ja k_{vs} -arvon 0,24 m³/h (musta ehyt suora tunnisteella E) väliin. Katsotaan taulukosta 5, kuinka monta kierrosta säätöruuvia tulee kiertää myötäpäivään, jotta saavutetaan tarvittava k_{vs} -arvo. Avaus tulee suorittaa säätöruuvien ollessa täysin kiinni. Esimerkin tapauksessa riittää noin 1,3 kierrosta.

Taulukko 5. Säätöruuvien kierrosten lukumäärä oikean k_{vs} -arvon saavuttamiseksi [28].

Kv value

Number of turns that the adjustment screw is open								
	A	B	C	D	E	F	G	H
Turns	0.5 turn	0.75 turn	1 turn	1.25 turn	1.5 turn	2 turns	3 turns	4 turns
k_{vs} m ³ /h	0.042	0.072	0.116	0.171	0.24	0.327	0.6	0.9

7 Mitoitusesimerkit

7.1 Paineesta riippuva toteutus

Taajuusmuuttajaohjatun pumpun mitoitusilanteen vaatiman paineenkorotuksen tulee olla yhtä suuri kuin virtausteknisesti vaikeimman reitin painehäviö. Linjasäätöventtiileillä varmistetaan kohdehuoneen mitoitusvirtaama oikeaksi, lisäksi ne toimivat mittayhteinä virtaaman tarkistuksen kannalta. Tasapainotus suoritetaan linjasäätöventtiilien ja kuusitieventtiilien k_{vs} -arvojen avulla.

Esimerkissä käydään läpi, miten liitteen 1 mukainen paineesta riippuva verkoston mukaiseen lopputulokseen on päästy. Aloitetaan verkoston jäähdytysjärjestelmästä käymällä läpi säädettävien piirien painehäviöt Δp_{SP} . Jäähdytysjärjestelmän lämmönsiirrin varusteineen aiheuttaa vakio painehäviön $\Delta p_{LS} = 25$ kPa. Paineesta riippumattomalle kuusitiesäätöventtiilille menevien meno- ja paluuputkien painehäviö Δp_P vaihtelevat päätelaitteittain, ja kaikki päätelaitteet kytkentäputkineen aiheuttavat painehäviön $\Delta p_{PL} = 5$ kPa virtaamalla 0,045 l/s. Linjasäätöventtiilien painehäviöksi Δp_{LSV} varataan 5 kPa. Nousulinjan alaosassa olevan linjasäätöventtiilin painehäviö 5 kPa on sisällytetty painehäviöön Δp_P .

Tarkastellaan päätelaitteen J 1 painehäviö mitoitusvirtaamalla $q_{mit1} = 0,062$ l/s

$$\Delta p_{PL} = \left(\frac{0,062 \frac{l}{s}}{0,045 \frac{l}{s}} \right)^2 * 5,0 \text{ kPa} = 9,553 \text{ kPa} \sim 9,6 \text{ kPa}$$

Lasketaan päätelaitteiden J2, J3 ja J4 painehäviöt Δp_{PL} päätelaitteen mitoitusvirtaamalla q_{mit1} yhtälöllä 1.

Lasketaan päätelaitteen J1 säätöpiirin painehäviöön Δp_{SP} vaikuttavat tekijät Δp_{LS} , Δp_P , Δp_{PL} ja Δp_{LSV} yhteen. Päätelaitteen J1 putkiosuuden painehäviö $\Delta p_P = 13,0$ kPa mukaan lukien nousulinjan alaosassa olevan linjasäätöventtiilin painehäviö 5 kPa.

$$\Delta p_{SP} = (25,0 + 13,0 + 9,6 + 5,0) \text{ kPa} = 52,553 \text{ kPa} \sim 52,6 \text{ kPa}$$

Summataan muiden päätelaitteiden säädettävän piirin painehäviöiden Δp_{SP} tekijät yhteen. Lopputulokset on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Liitteen 1 esimerkkiverkoston jäähdytysjärjestelmän päätelaitteet ja säädettävien piirien painehäviöt.

Päätelaite	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mit1}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{LS}	25,0	25,0	25,0	25,0	kPa
Δp_P	13,0	14,0	15,0	16,0	kPa
Δp_{PL}	9,6	8,1	2,8	2,0	kPa
Δp_{LSV}	5,0	5,0	5,0	5,0	kPa
Δp_{SP}	52,6	52,1	47,8	48,0	kPa

Päätelaitteiden mitoitusvirtaama q_{mit1} on laskettu tehon \emptyset mukaan lämpötilaerolla 5 K. Päätelaitekohtaisten putkireittien painehäviöt Δp_P ovat esimerkin vuoksi keksittyjä, eikä putkidimensioita ole esitetty yksinkertaistamisen vuoksi. Linjasäätöventtiilien painehäviö Δp_{LSV} on esiasetettu 5 kPa:iin. Pumppu pitää verkostossa vakio paineen yllä.

Määritellään päätelaitteen J1 kuusitieventtiin jäähdytysasennon painehäviö Δp_{SV} k_{vs} -arvolla 0,25 m³/h

$$\Delta p_{SV} = \left(\frac{0,062 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} 3600 \frac{s}{h}}{0,25 \frac{m^3}{h}} \right)^2 = 80,227 \text{ kPa} \sim 80,2 \text{ kPa}$$

Auktoriteettia β määritettäessä on huomioitava, että säädettävän piirin painehäviö Δp_{SP} koostuu putkireitin painehäviön Δp_P , linjasäätöventtiin painehäviön Δp_{LSV} ja kuusitieventtiin jäähdytysasennon painehäviön Δp_{SV} summasta.

$$\beta = \frac{80,2 \text{ kPa}}{(52,6 + 80,2) \text{ kPa}} = 0,604 \sim 0,60$$

Auktoriteetiksi saadaan 0,60 käyttämällä k_{vs} -arvoa 0,25 m³/h. Isommalla k_{vs} -arvolla auktoriteetti jäisi liian pieneksi, kun taas pienempi k_{vs} -arvo aiheuttaisi suuremman kuusitieventtiin painehäviön Δp_{SV} .

Tarkastetaan päätelaitteen J1 reitin kokonaispainehäviö Δp_{tot} laskemalla yhteen säädettävän piirin painehäviön Δp_{SP} ja kuusitieventtiin jäähdytysasennon painehäviö Δp_{SV}

$$\Delta p_{tot} = (52,6 + 80,2)\text{kPa} = 132,780 \text{ kPa} \sim 132,8 \text{ kPa}$$

Toistetaan vastaava laskelmat päätelaitteiden J2, J3 ja J4 kuusitieventtiileille. Tulokset on esitetty taulukossa 7

Taulukko 7. Päätelaitteiden J1–J4 kuusitieventtiileiden jäähdytysasennon k_{vs} -arvo, painehäviö Δp_{SV} , auktoriteetti β ja reitin kokonaispainehäviö Δp_{tot}

Päätelaite	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mit1}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{SP}	52,6	52,1	47,8	48,0	kPa
k_{vs}	0,25	0,25	0,16	0,16	m^3/h
Δp_{SV}	80,2	68,4	56,8	41,7	kPa
β	0,60	0,57	0,54	0,46	
Δp_{tot}	132,8	120,5	104,6	89,8	kPa

Taulukosta 7 nähdään, että jokaisen päätelaitteiden reittien kokonaispainehäviöt Δp_{tot} ovat erisuuret. Tasapainotetaan verkosto päätelaitteen J1 reitin mukaisen painehäviön $\Delta p_{tot} = 132,8 \text{ kPa}$ mukaan. Tasapainotetaan verkosto nostamalla linjasäätöventtiileiden painehäviötä Δp_{LSV} .

Lasketaan päätelaitteen J2 linjasäätöventtiin painehäviön Δp_{LSV} tarve vähentämällä J1 reitin kokonaispainehäviöstä $\Delta p_{tot} = 132,8 \text{ kPa}$ päätelaitteen J2 kuusitieventtiin painehäviö Δp_{SV} , päätelaitteen painehäviö Δp_{PL} , putkireitin painehäviöt Δp_P , lämmönsiirtimen painehäviö Δp_{LS} .

$$\Delta p_{LSV} = (132,8 - 68,4 - 8,1 - 14,0 - 25,0)\text{kPa} = 17,281 \text{ kPa} \sim 17,3 \text{ kPa}$$

Tulokseksi saadaan 17,3 kPa, joka vastaa 12,5 kPa:n painehäviön lisäystä päätelaitteen J2 linjasäätöventtiilille ja kasvattaa täten päätelaitteen J2 säädettävän piirin painehäviön $\Delta p_{SP} = 64,4 \text{ kPa}$.

Tarkastetaan päätelaitteen J2 kuusitieventtiilin auktoriteetti β uudella linjasäätöventtiilin painehäviöllä käyttäen yhtälöä 4.

$$\beta = \frac{68,4 \text{ kPa}}{(68,4 + 64,4) \text{ kPa}} = 0,515 \sim 0,52$$

Linjasäätöventtiilin ja sitä myöten säädettävän piirin painehäviön Δp_{SP} kasvattaminen laskee auktoriteettia β , mutta päätelaitteen J2 tapauksessa auktoriteetti β pysyy riittävänä.

Toistetaan edellä mainittu tasapainotus järjestelmän päätelaitteille J2, J3 ja J4. Tulokset on esitetty taulukossa 8

Taulukko 8. Päätelaitteiden J1–J4 reitit tasapainotettuna.

Päätelaite	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mit1}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{SP}	52,6	64,4	76,0	91,1	kPa
Δp_{LSV}	5,0	17,3	33,2	48,0	kPa
k_{vs}	0,25	0,25	0,16	0,16	m ³ /h
Δp_{SV}	80,2	68,4	56,8	41,7	kPa
β	0,60	0,51	0,43	0,31	
Δp_{tot}	132,8	132,8	132,8	132,8	kPa

Taulukosta 8 nähdään päätelaitteiden J3 ja J4 kuusitieventtiileiden auktoriteetti $\beta < 0,5$, johtuen kasvaneesta linjasäätöventtiilin painehäviöstä Δp_{LSV} . Matala auktoriteetti johtaa säätöventtiilin on/off-tyyliseen ohjaukseen. Mikäli päätelaitteiden J3 ja J4 linjasäätöventtiileiden painehäviötä Δp_{LSV} pienennettäisiin, kasvaisi auktoriteetti, mutta kokonaispainehäviö Δp_{tot} pienenesi ja vakiopainepumpun tuottama kokonaispaineenkorotus johtaisi päätelaitteiden mitoitusvirtaaman ylitykseen. Ylityksensä voidaan kumota rajoittamalla paineesta riippuvan kuusitiesäätöventtiilin karan käänkökulmaa. Jos iskupituus lyhenee merkittävästi, virtaaman säädöstä tulee on/off-tyylinen.

Haetaan päätelaitteiden J3 ja J4 kuusitieventtiileille auktoriteetti $\beta=0,5$ pienentämällä linjasäätöventtiilien painehäviötä Δp_{LSV} ja sitä myöten reitin kokonaispainehäviötä Δp_{tot} .

Taulukko 9. Päätelaitteiden J3 ja J4 auktoriteetit $\beta=0,5$.

Päätelaitte	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mit1}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{SP}	52,6	64,4	56,8	41,7	kPa
Δp_{LSV}	5,00	17,28	14,02	-1,31	kPa
k_{vs}	0,25	0,25	0,16	0,16	m ³ /h
Δp_{SV}	80,2	68,4	56,8	41,7	kPa
β	0,60	0,58	0,50	0,50	
Δp_{tot}	132,8	132,8	113,6	83,4	kPa

Taulukosta 9 selviää, että päätelaitteen J4 kuusitieventtiili ei voi saavuttaa auktoriteettia $\beta = 0,5$, koska linjasäätöventtiilin painehäviö Δp_{LSV} on negatiivinen. Päätelaitteen J4 kuusitieventtiilin auktoriteetti β voidaan kuitenkin maksimoida palauttamalla linjasäätöventtiilin painehäviö $\Delta p_{LSV} = 5$ kPa.

Taulukko 10. Päätelaitteen J4 auktoriteetin β maksimoiminen.

Päätelaitte	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mit1}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{SP}	52,6	64,4	56,8	48,0	kPa
Δp_{LSV}	5,0	17,3	14,0	5,0	kPa
k_{vs}	0,25	0,25	0,16	0,2	m ³ /h
Δp_{SV}	80,2	68,4	56,8	41,7	kPa
β	0,60	0,58	0,50	0,46	
Δp_{tot}	132,8	132,8	113,6	89,8	kPa

Taulukosta 10 nähdään, että päätelaitteen J4 auktoriteetti β on jäänyt alhaiseksi ja että päätelaitteiden J3 ja J4 reittien kokonaispainehäviöt Δp_{tot} eivät täsmää päätelaitteiden J1 ja J2 kokonaispainehäviöiden Δp_{tot} kanssa, jotka määräävät verkostoon asennettavan pumpun paineenkorotuksen. Lasketaan uusi ylimitoitettu mitoitusvirtaama q_{mit2} alkupe-
räisen mitoitusvirtaaman q_{mit1} perusteella päätelaitteelle J3, kun verkoston pumpun paineenkorotukseksi asetetaan 132,8 kPa.

On huomioitava, että uusi mitoitusvirtaama q_{mit2} vaikuttaa tarkasteltavan päätelaitteen J3 kuusitieventtiin painehäviöön Δp_{SV} , linjasäätöventtiin painehäviöön Δp_{LSV} , päätelaitteen painehäviöön Δp_{PL} ja putkireitin painehäviöön Δp_P virtaamien neliöiden suhteessa. Putkireitin painehäviötä Δp_P arvioidessa on huomioitava muiden päätelaitteiden mitoitusvirtaamat q_{mit1} . Lämmönsiirtimen painehäviö Δp_{LS} pidetään vakiona. Uusi mitoitusvirtaama q_{mit2} haetaan siten, että edellä mainittujen verkosto-osien uusien painehäviöiden summa on päätelaitteen J1 reitin kokonaispainehäviö $\Delta p_{tot} = 132,8$ kPa.

$$\left(\frac{q_{mit2}}{0,033 \frac{l}{s}}\right)^2 * 56,8 \text{ kPa} + \left(\frac{q_{mit2}}{0,033 \frac{l}{s}}\right)^2 * 14,0 \text{ kPa} + \left(\frac{q_{mit2}}{0,033 \frac{l}{s}}\right)^2 * 2,8 \text{ kPa} +$$

$$\left(\frac{(0,062+0,057+q_{mit2}+0,029) \frac{l}{s}}{(0,062+0,057+0,033+0,029) \frac{l}{s}}\right)^2 * 15 \text{ kPa} + 25 \text{ kPa} = 132,78 \text{ kPa} \sim 132,8 \text{ kPa}$$

Taulukko 11. Päätelaitteiden J3 ja J4 reitit tasapainotettuna mitoitusvirtaamalla q_{mit2} .

Päätelaite	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	783	819	W
q_{mit2}	0,062	0,057	0,037	0,039	l/s
Δp_{SP}	52,6	64,4	61,7	55,1	kPa
Δp_{LSV}	5,0	17,3	17,6	9,3	
k_{vs}	0,25	0,25	0,16	0,16	m ³ /h
Δp_{SV}	80,2	68,4	71,1	77,7	kPa
β	0,60	0,51	0,54	0,58	
Δp_{tot}	132,8	132,8	132,8	132,8	kPa
$q_{mit\%}$	0,0	0,0	11,9	36,4	%

Taulukkoon 11 on päätelaitteiden J3 ja J4 reitit tasapainotettu reitin J1 kokonaispainehäviön Δp_{tot} mukaan. Alimmalla rivillä taulukossa 11 $q_{mit\%}$ kertoo, kuinka monta prosenttia kyseisen päätelaitteen mitoitusvirtaama on ylimitoitettu. Teho \emptyset on laskettu mitoitusvirtaamalla q_{mit2} . Esimerkiksi päätelaitteen J3 $q_{mit\%}$ on laskettu yhtälöllä 8. Tämä voidaan korjata rajoittamalla kuusitiesäätöventtiin karan kierokulmaa eli iskupituutta sen toimilaitteen avulla.

$$q_{mit\%} = \left(\frac{0,037 \frac{l}{s}}{0,033 \frac{l}{s}} - 1\right) * 100 \% = 11,889 \% \sim 11,9 \% \quad (8)$$

Mitoitetaan verkoston lämmitysjärjestelmää palvelevien kuusitieventtiileiden lämmitysasennon k_{vs} -arvot. Lämmitysjärjestelmän päätelaitteiden tehojen mukaiset mitoitusvirtaamat ovat laskettu lämpötilaerolla 15 K. Lähtöarvot ovat esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Liitteen 1 esimerkkiverkoston lämmitysjärjestelmän päätelaitteet ja säädettävät piirit.

Päätelaite	L1	L2	L3	L4	Suure
\varnothing	4300	4000	2300	2000	W
q_{mit1}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
Δp_{LS}	10,0	10,0	10,0	10,0	kPa
Δp_P	6,5	7,0	7,5	8,0	kPa
Δp_{PL}	11,6	10,0	3,3	2,5	kPa
Δp_{LSV}	5,0	5,0	5,0	5,0	kPa
Δp_{SP}	33,1	32,0	25,8	25,5	kPa

Käyttämällä taulukon 12 lähtöarvoja määritellään jokaisen päätelaitteen kuusitieventtiin lämmitysasennon k_{vs} -arvo, kuusitieventtiin lämmitysasennon painehäviö Δp_{SV} ja auktoriteetti β vastaavalla tavalla kuin tehtiin sivuilla 49–52. Tulokset on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 13. Päätelaitteiden L1–L4 kuusitieventtiileiden lämmitysasennon k_{vs} -arvo, painehäviö Δp_{SV} , auktoriteetti β ja reitin kokonaispainehäviö Δp_{tot} .

Päätelaite	L1	L2	L3	L4	Suure
\varnothing	4300	4000	2300	2000	W
q_{mit1}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
Δp_{SP}	33,1	32,0	25,8	25,5	kPa
k_{vs}	0,40	0,40	0,25	0,25	m ³ /h
Δp_{SV}	38,1	33,0	27,9	21,1	kPa
β	0,53	0,51	0,52	0,45	
Δp_{tot}	71,2	65,0	53,7	46,6	kPa

Taulukon 13 mukaan verkoston tulisi tasapainottaa päätelaitteen L1 reitin kokonaispainehäviön Δp_{tot} mukaan nostamalla säätöpiirin painehäviöön Δp_{SP} kuuluvan linjasäätöventtiin painehäviötä Δp_{LSV} .

Taulukko 14. Päätelaitteiden L1–L4 reitit tasapainotettuna.

Päätelaitte	L1	L2	L3	L4	Suure
\emptyset	4300	4000	2300	2000	W
q_{mit1}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
Δp_{SP}	33,1	38,2	43,3	50,1	kPa
Δp_{LSV}	5,0	11,2	22,5	29,6	kPa
k_{vs}	0,40	0,40	0,25	0,25	m ³ /h
Δp_{SV}	38,1	33,0	27,9	21,1	kPa
β	0,53	0,43	0,31	0,22	
Δp_{tot}	71,2	71,2	71,2	71,2	kPa

Taulukosta 14 nähdään, että linjasäätöventtiilien painehäviön Δp_{LSV} nostaminen madallaa auktoriteettia β . Nostetaan auktoriteettien arvoja pienentämällä taulukon 14 linjasäätöventtiilien painehäviöitä Δp_{LSV} ja tarkastetaan uudet auktoriteetit ja taulukosta 15.

Taulukko 15. Päätelaitteiden L2–L4 auktoriteetteja nostettu.

Päätelaitte	L1	L2	L3	L4	Suure
\emptyset	4300	4000	2300	2000	W
q_{mit1}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
Δp_{SP}	33,1	37,0	31,8	36,5	kPa
Δp_{LSV}	5,0	10,0	11,0	16,0	kPa
k_{vs}	0,40	0,40	0,25	0,25	m ³ /h
Δp_{SV}	38,1	33,0	27,9	21,1	kPa
β	0,53	0,44	0,42	0,31	
Δp_{tot}	71,2	70,0	59,7	57,6	kPa

Taulukosta 15 mukaan päätelaitteiden L2–L4 kokonaispainehäviöt Δp_{tot} nousevat, kun vakio painepumpulle asetetaan 71,2 kPa:n paineenkorotus, joka vastaa päätelaitteen L1 reitin kokonaispainehäviötä Δp_{tot} . Lasketaan uudet mitoitusvirtaamat q_{mit2} päätelaitteille L2–L4 sivun 54 mukaisella tavalla.

Taulukko 16. Alimmalla rivillä on esitetty prosenttimääräiset ylimitoitukset.

Päätelaite	L1	L2	L3	L4	Suure
\emptyset	4300	4182	2586	2309	W
q_{mit2}	0,069	0,067	0,041	0,037	l/s
Δp_{SP}	33,1	35,2	35,9	43,1	kPa
Δp_{LSV}	5,0	10,9	13,9	21,3	kPa
k_{vs}	0,40	0,40	0,25	0,25	m ³ /h
Δp_{SV}	38,1	36,0	35,3	28,1	kPa
β	0,53	0,51	0,50	0,40	
Δp_{tot}	71,2	71,2	71,2	71,2	kPa
$q_{mit\%}$	0,00	4,55	12,42	15,47	%

Taulukosta 16 nähdään verkoston lämmitysjärjestelmän lopputulokset. Lämmitysverkosto mitoitettiin lämpötilaerolla 15 K. Päätelaite L 4 on ylimitoitettu 15,47 %:lla. Teho \emptyset on laskettu mitoitusvirtaamalla q_{mit2} .

7.2 Paineesta riippumaton toteutus

Otetaan paineesta riippuvan verkoston jäähdytys- ja lämmitysjärjestelmien lähtötiedot ja mitoitetaan paineesta riippumaton toteutus. Pumpun paineenkorotus on vaikeimman reitin kokonaispainehäviö. Paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin (liitteessä 2 2-tieventtiili (PICV)) minimipaine Δp_{PICV} , jolla vakiovirtaama toteutuu, on 16 kPa. Päätelaitteen vesivirtaa säädetään kohdehuoneen lämpötilan mukaan paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin toimilaitteen avulla. Kuusitieventtiili toimii vaihtokytkimenä jäähdytys- ja lämmitysasennon välillä, jolloin sen auktoriteettia ei tarvitse huomioida. Kuusitieventtiilin painehäviö Δp_{SV} on kuitenkin laskettava jäähdytystilanteen mitoitusvirtaaman q_{mitJ} ja kuusitieventtiilin k_{vs} -arvon avulla.

Taulukko 17. Paineesta riippumattoman verkoston jäähdytysjärjestelmän lähtötiedot.

Päätelaite	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mitJ}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{LS}	25,0	25,0	25,0	25,0	kPa
Δp_P	13,0	14,0	15,0	16,0	kPa
Δp_{PL}	9,6	8,1	2,8	2,0	kPa
Δp_{SP}	47,6	47,1	42,8	43,0	kPa

Taulukossa 17 esitettyjen tulosten lisäksi on määriteltävä vaihtokytkimenä toimivan kuusitieventtiilin painehäviö. Valitaan kuusitieventtiilin k_{vs} -arvoksi 2,5 m³/h ja lasketaan sen painehäviö Δp_{SV} mitoitusvirtaaman q_{mitJ} avulla jokaiselle päätelaitteelle. Lisätään vielä pumpun nostokorkeuteen lisättävän paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin minimipainehäviö $\Delta p_{PICV} = 16$ kPa jokaiselle päätelaitteelle.

Taulukko 18. Paineesta riippumattoman jäähdytysjärjestelmän päätelaitteiden kokonaispainehäviöt Δp_{tot} .

Päätelaite	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mitJ}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{SP}	47,6	47,1	42,8	43,0	kPa
Δp_{PICV}	16,0	16,0	16,0	16,0	kPa
k_{vs}	2,50	2,50	2,50	2,50	m ³ /h
Δp_{SV}	0,8	0,7	0,2	0,2	kPa
Δp_{tot}	64,4	63,8	59,0	59,2	kPa

Taulukossa 18 esitettyjen tulosten perusteella epäedullisimmaksi reitiksi osoittautuu päätelaitteen J1 reitin kokonaispainehäviö $\Delta p_{tot} = 64,4$ kPa. Asetetaan jäähdytysjärjestelmän pumpun nostokorkeudeksi 64,4 kPa ja rajataan virtaamat paineesta riippumattomien kaksitiesäätöventtiililleille mitoitusvirtaaman q_{mitJ} mukaisiksi. Tarkastellaan painehäviön korotusta Δp_{PICV} .

Taulukko 19. Paineesta riippumattoman jäähdytysjärjestelmän tasapainotus

Päätelaite	J1	J2	J3	J4	Suure
\emptyset	1300	1200	700	600	W
q_{mitJ}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
Δp_{SP}	47,6	47,1	42,8	43,0	kPa
Δp_{PICV}	16,0	16,6	21,4	21,2	kPa
k_{VS}	2,50	2,50	2,50	2,50	m ³ /h
Δp_{SV}	0,8	0,7	0,2	0,2	kPa
Δp_{tot}	64,4	64,4	64,4	64,4	kPa

Verkoston paineen korotukseksi määriteltiin 64,4 kPa. Päätelaitetta J2 palvelevan säätöventtiilin painehäviöksi Δp_{PICV} 16,6 kPa, päätelaitteen J3 säätöventtiilille 21,4 kPa ja päätelaitteen J4 säätöventtiilin painehäviöksi 21,2kPa. Verkosto on tasapainossa.

Toteutetaan sivujen 59 ja 60 prosessi paineesta riippumattomalle lämmitysjärjestelmälle. Päätelaitteiden tehot \emptyset ja säädettävien piirien painehäviöt Δp_{SP} vastaavat paineesta riippuvan toteutuksen lähtötietoja. Paineesta riippumattoman säätöventtiilin varaus Δp_{PICV} = 16 kPa. Vaihtokytkimenä toimivan kuusitieventtiilin k_{VS} -arvo on sama kuin paineesta riippumattomassa jäähdytysjärjestelmässä.

Taulukko 20. Paineesta riippumattoman verkoston lämmitysjärjestelmän lähtötiedot.

Päätelaite	L1	L2	L3	L4	Suure
\emptyset	4300	4000	2300	2000	W
q_{mitL}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
Δp_{LS}	10,0	10,0	10,0	10,0	kPa
Δp_P	6,5	7,0	7,5	8,0	kPa
Δp_{PL}	11,6	10,0	3,3	2,5	kPa
Δp_{SP}	28,1	27,0	20,8	20,5	kPa

Taulukon 20 tulosten lisäksi on määriteltävä vaihtokytkimenä toimivan kuusitieventtiilin painehäviö. Valitaan kuusitieventtiilin k_{VS} -arvoksi 2,5 m³/h ja lasketaan sen painehäviö Δp_{SV} mitoitusvirtaaman q_{mitL} avulla jokaiselle päätelaitteelle. Lisätään vielä pumpun nostokorkeuteen lisättävän paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin minimipainehäviö Δp_{PICV} = 16 kPa jokaiselle päätelaitteelle.

Taulukko 21. Päätelaittekohtaisten reittien kokonaispainehäviöt Δp_{tot} .

Päätelaitte	L1	L2	L3	L4	Suure
\emptyset	4300	4000	2300	2000	W
q_{mitL}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
Δp_{SP}	28,1	27,0	20,8	20,5	kPa
Δp_{PICV}	16,0	16,0	16,0	16,0	kPa
k_{vs}	2,50	2,50	2,50	2,50	m ³ /h
Δp_{SV}	1,0	0,8	0,3	0,2	kPa
Δp_{tot}	45,1	43,9	37,1	36,7	kPa

Verkoston pumpun paineen korotukseksi määritetään 45,1 kPa päätelaitteen L1 reitin kokonaispainehäviön Δp_{tot} perusteella. Taulukosta nähdään, että kuusitieventtiin painehäviö on pieni johtuen isosta k_{vs} -arvosta 2,5 m³/h.

Taulukko 22. Lämmitysjärjestelmän tasapainotus.

Päätelaitte	L1	L2	L3	L4	Suure
\emptyset	4300	4000	2300	2000	W
q_{mitL}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
Δp_{SP}	28,1	27,0	20,8	20,5	kPa
Δp_{PICV}	16,0	17,2	24,0	24,4	kPa
k_{vs}	2,50	2,50	2,50	2,50	m ³ /h
Δp_{SV}	1,0	0,8	0,3	0,2	kPa
Δp_{tot}	45,1	45,1	45,1	45,1	kPa

Lämmitysjärjestelmä on tasapainotettu pumpun paineelle 45,1 kPa päätelaitteen L1 kokonaispainehäviön Δp_{tot} perusteella. Verkosto on tasapainossa.

Paineesta riippumattomat säätöventtiilit sijaitsevat kuusitieventtiin ja päätelaitteen välissä, jolloin ne palvelevat kummankin asennon vaatimaa mitoitusvirtaamaa. Tässä esimerkissä osoittautui, että lämmitysasennon mitoitusvirtaama on isompi, kuin jäähdyty-
sasennon mitoitusvirtaama. Lasketaan taulukon 19 päätelaitteen J1 jäähdyty-
sasennon mitoitusvirtaaman q_{mitJ} ja taulukon 21 päätelaitteen L1 lämmitysasennon mitoitusvirtaaman q_{mitL} prosenttimääräinen ero $q\%$ päätelaitteelle 1 (J1/L1).

$$q_{\%} = \left(\frac{0,062 \frac{l}{s}}{0,069 \frac{l}{s}} \right) * 100 \% = 90,698 \% \sim 90,7 \%$$

Jäähdytysasennolla mitoitusvirtaama q_{mitJ} on rajattava säätöviestin avulla 90,7 %:iin lämmitysasennon mitoitusvirtaamasta q_{mitL} . Tehdään vastaavat laskelmat muille päätelaitteille.

Taulukko 23. Mitoitusvirtaan q_{mitJ} rajaaminen.

Päätelaite	J1/L1	J2/L2	J3/L3	J4/L4	Suure
q_{mitJ}	0,062	0,057	0,033	0,029	l/s
q_{mitL}	0,069	0,064	0,037	0,032	l/s
$q_{mit\%}$	90,7	90,0	91,3	90,0	%

Taulukosta 23 nähdään, mihin prosenttiosuuteen jäähdytysasennon mitoitusvirtaama q_{mitJ} on rajattava lämmitysasennon mitoitusvirtaamasta q_{mitL} . Virtauksen rajaus toteutetaan rajaamalla paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin toimilaitteen säätöviesti kuusitieventtiilin ollessa jäähdytysasennolla.

8 Päätelmät

Pelkkä kuusitieventtiili voi toimia vaihtokytkimenä tai paineriippuvana säätöventtiilinä. Kuusitieventtiilin säätöelin on pallon muotoinen, oli kyse sitten 3-pisteohjauksesta tai paineriippuvasta toteutuksesta. Paineriippuvassa toteutuksessa toimilaitte kiertää venttiilin karaa esimerkiksi 90° kääntökulmassa, jolloin pallon muotoisen säätöelimen virtausaukko hoitaa virtauksen rajoituksen. Kääntökulma 90° sisältää jäähdytys- ja lämmitysasennon sekä vaihtoalueen, jolloin käytössä olevan järjestelmän säätöön jää iskupituutta noin $\leq 30^{\circ}$:n kääntökulma. Paineesta riippumattomassa toteutuksessa kaksitiesäätöventtiili on mallia vinoistukkaventtiili. Kokonaisuuden toteutustapa puolestaan määräytyy kohteen tarpeesta ja venttiilin valmistajasta. Venttiilin karan asentoa muutetaan 90°:n kääntökulmassa toimilaitteella. Kääntökulmaan sisältyy jäähdytysasento, vaihtoalue, jolloin veden virtausta ei tapahdu ja lämmitysasento

Paineesta riippuvassa toteutuksessa, jossa kuusitieventtiili toimii yhtäaikaisesti vaihtokytkimenä ja portaattomana virtaamansäätimenä, täytyy verkoston tasapainotus hoitaa

kuusitieventtiin ja järjestelmien runkoputkien väliin sijoitettavien linjasäätöventtiilien avulla, minkä jälkeen verkostoon valitaan kuusitieventtiilit sopivilla k_{vs} -arvoilla. Valmistajasta riippuen kuusitieventtiin k_{vs} -arvot voivat olla sisään rakennettu, jolloin täytyy valita oikea venttiilimalli oikeaan kohtaan järjestelmää. Toinen toteutus on k_{vs} -arvojen määrittäminen lisäämällä kuusitieventtiin putkiyhteisiin kuristuslaippa, joka muuttaa putkiyhdyksen k_{vs} -arvon halutuksi.

Paineesta riippumattomassa toteutuksessa kuusitieventtiili valitsee käytettävän järjestelmän eli toiminta-asentonsa toimilaitteensa avulla ja virtaaman portaattoman säädön hoi-taa istukkamallinen paineesta riippumaton kaksitiesäätöventtiili oman toimilaitteen avulla. Kaksitiesäätöventtiilille tulee varmistaa riittävä paine-ero putkistohäviöiden jäl-keen, jotta sen läpi kulkeva vesivirta, esimerkiksi päätelaitteen mitoitusvirtaama toteutuu ja pysyy vakiona verkostossa tapahtuvien painevaihteluiden aikana. Kaksitiesäätöventtiilin toimilaitte liikuttaa venttiin karaa säätäen vesivirtaa esimerkiksi kohdehuoneen läm-pötilan mukaan. Mitä isompi karan ja toimilaitteen iskupituus on, sitä tarkempi säädöstä tulee. Lyhyt iskupituus puolestaan johtaa on/off-tyyppiseen säätöön. Kuusitieventtiin toi-milaitteen on oltava yhteydessä kaksitiesäätöventtiin toimilaitteeseen, sillä sen on kyet-tävä rajoittamaan mitoitusvirtaamaa riippuen kuusitieventtiin karan asennosta. Mitoitus-virtaaman muuttaminen onnistuu rajoittamalla säätöviestin ylärajaa, esimerkiksi, jos jäähdytyksen mitoitusvirtaama toteutuu kaksitieventtiin toimilaitteen säätöviestillä 10 V, lämmityksen mitoitusvirtaama voi toteutua jo säätöviestillä 6 V. Kuusitieventtiin ollessa jäähdytysasennossa, toimii kaksitieventtiili esimerkiksi säätöviestillä 0–10 V ja sen ol-lessa lämmitysasennossa on toimilaitteen säätöviesti rajattu alueelle 0–6 V.

Valmistajien teknisistä esitteistä sekä sähköpostikeskustelusta selvisi, että kuusitieventtiilissä itsessään ei ole mittayhteitä, joten venttiin yli tapahtuvaa vesivirtaamaa ja paine-eroa ei voida mitata ilman lisäkomponenttien asennusta verkostoon. Mittausyhteet sijoitetaan lisäasennuksena kuusitieventtiin kummallekin puolelle kumpaankin järjestel-mään.

Kuusitieventtiin karaa voidaan pyörittää 360° toimilaitteen ollessa siitä irti. On mahdol-lista saada kuusitieventtiin kara väärään kulmaan verrattuna toimilaitteen 90°:n tai 270°:n liikerataan. Venttiilissä on kuusi identtistä putkiyhdyttä, joiden väärin kytkeminen on mahdollista. Joidenkin valmistajien kuusitieventtiileitä voidaan käyttää virtaaman sää-töön tai pelkästään vaihtamaan käytettyä järjestelmää, jolloin paineesta riippumaton kak-

sitieventtiili hoitaa virtaaman säädön. Yksikään valmistaja ei ole ehdottanut kuusitieventtiiliin ja paineesta riippumattoman kaksitieventtiiliin käyttämistä samanaikaisesti virtaaman säätimenä.

Kuusitieventtiili sekä kaksitieventtiilit tulee asentaa toimilaitte ylöspäin, jotta mahdollisessa vuototilanteessa välttyttään sähköistetyn toimilaitteen kastuminen. Tämä tulee huomioida tilan tarpeita määrittäessä.

Kuusitieventtiilien k_{vs} -arvovalikoima muodostuu joillakin valmistajilla isosta joukosta erillisiä venttiilejä, joissa jäähdytys- ja lämmityspuolella on eri k_{vs} -arvoyhdistelmät. Joillakin valmistajilla taas sama asia hoidetaan erillisillä kuristuslaipoilla, joita lisätään joko lämmitys- tai jäähdytyspuolelle.

Toimilaitteet, joiden liikerata on pyörivä, voidaan monesti määrittää liikkumaan joko myötä- tai vastapäivään, jolloin liikerata ja käytettävä asento saattavat olla virheelliset tilanteeseen nähden. Kuusitieventtiiliä ei tarvitse käyttää päätelaitteessa, jossa on lämmitykselle ja jäähdytykselle omat lämmönsiirtopiirit.

9 Yhteenveto

Kuusitieventtiili soveltuu kohteisiin, joissa yksi päätelaite hoitaa kohdehuoneen lämmityksen ja jäähdytyksen. Niissä sen käytöllä päästään vähemmällä liitostöillä ja tarvitaan vähemmän toimilaitteita verrattuna vaihtoehtoisin menetelmiin. Kuusitieventtiili voi toimia pelkästään vaihtokytkimenä lämmitys- ja jäähdytystoiminnoille. Se voi myös toimia virtaaman säätölaitteena.

Insinööriyön tavoitteena oli selvittää talotekniikan lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmissä käytettävän kuusitieventtiilin toiminta. Tämä toteutettiin käyttäen pääosin lähteenä valmistajien teknisiä esitteitä ja asiantuntijoiden kanssa käytyjä sähköpostikeskusteluja. Venttiilin mitoitusta on havainnollistettu omakohtaisin laskelmin. Alussa kerrottiin yleisesti kuusitieventtiilin toimintaperiaatteesta ja muutamasta vastaavanlaisesta toteutuksesta, joilla saadaan aikaan samanlainen toimintaperiaate. Kuusitieventtiilin toimintaperiaatteen selvittämisen jälkeen tarkasteltiin auktoriteetin vaikutusta säätöpiirin säädettävyyteen ja käytiin läpi paineesta riippuva toteutus ja paineesta riippumaton toteutus. Ennen kahdeksan eri valmistajan tarjonnan läpikäymistä selvitettiin vielä kuusitieventtiiliin ja

vinoistukka mallisen paineesta riippumattoman kaksitiesäätöventtiilin rakenteet erään valmistajan tarjoamilla mallikappaleilla. Lopussa käytiin läpi kaksi mitoitusesimerkkiä, yksi paineesta riippuvasta toteutuksesta ja yksi paineesta riippumattomasta toteutuksesta.

Lähteet

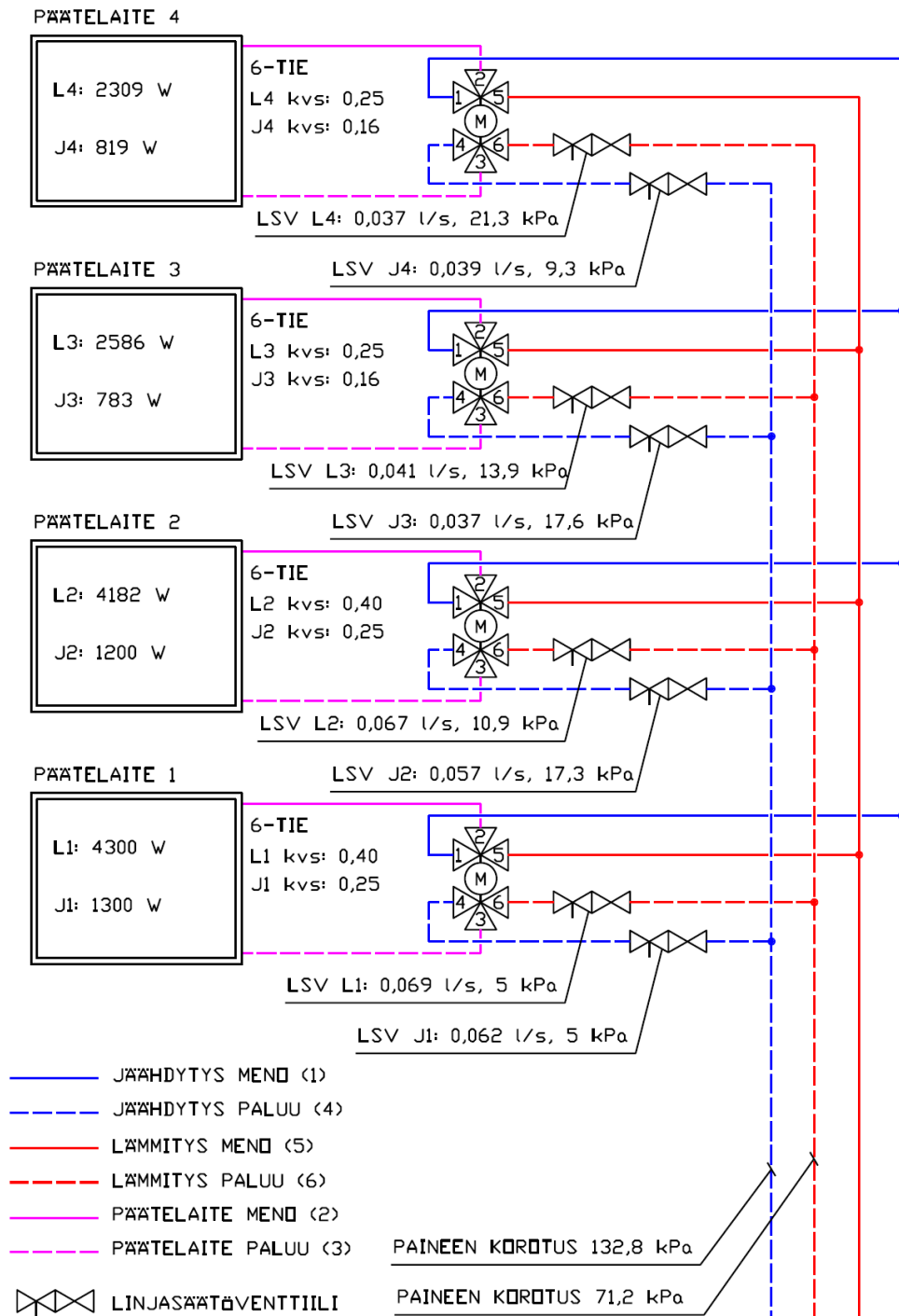
- 1 Pajala, Petri 2016.Tuotepäällikko. Belimo Finland Oy. Helsinki. Sähköpostiviesti 10.7.2017
- 2 VantaLVI. 2011. TA käsikirja: Säättöpiirien säätäminen
- 3 Rakennusten kaukolämmitys. Määräykset ja ohjeet. Julkaisu K1/2013. Verkkoaineisto. Energiateollisuus. <https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf>
- 4 Talotekniikka RYL 2002: talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002, osa 1. 2003. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 5 Lättilä, Mikko. 2016. Tekninen päällikkö. IMI Hydronic Engineering Oy. Vantaa. Sähköpostiviesti 09.8.2017
- 6 Tekninen esite Automaattinen virtauksenrajoitin AB-QM. Verkkoaineisto. Danfoss <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/Vda2w120_ab-qm.pdf>. Luettu 20.6.2017
- 7 Technical data sheet R30...-B2. Verkkoaineisto. Belimo <http://www.belimo.eu/pdf/e/R30...-B2_datasheet_en-gb.pdf>. Luettu 13.6.2017
- 8 Pajala, Petri 2016.Tuotepäällikko. Belimo Finland Oy. Helsinki. Sähköpostiviesti 09.10.2017
- 9 Technical data sheet LR24A-SR. Verkkoaineisto. Belimo <http://www.belimo.eu/pdf/e/LR24A-SR_datasheet_en-gb.pdf>. Luettu 14.6.2017
- 10 Technical data sheet LR24A-MP. Verkkoaineisto. Belimo <http://www.belimo.eu/pdf/e/LR24A-MP_datasheet_en-gb.pdf>. Luettu 15.6.2017
- 11 6-way characterised control valves DN15 and DN 20. Verkkoaineisto. Belimo <http://www.belimo.eu/pdf/e/PPN_EU_6-way-Characterised-control-valves_en-gb.pdf>. Luettu 16.6.2017
- 12 Technical data sheet EP..R-R6+BAC. Verkkoaineisto. Belimo <http://www.belimo.eu/pdf/e/EP..R-R6_BAC_datasheet_en-gb.pdf>. Luettu 17.6.2017
- 13 Applications Room and zone control. Verkkoaineisto. Belimo <http://www.belimo.eu/pdf/e/br_eu_en-gb_zone_applications.pdf>. Luettu 18.6.2017
- 14 Data sheet ChangeOver6 and NovoCon ChangeOver6. Verkkoaineisto. Danfoss <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VDIHA502_ChangeOver6_and_NovoCon_ChangeOver6%20Valve.pdf>. Luettu 19.6.2017

- 15 Photo AB-QM_003Z1252_ChangeOver_003Z3150_ChangeOver_003Z3155_AME110NLX_082H8060_R.tif. Verkkoaineisto. Danfoss <<http://products.danfoss.com/productrange/visuals/heatingsolutions/balancing-control-valves/pressure-independent-balancing-control-valves/ab-qm-pressure-independent-valve/#/>>.20.6.2017
- 16 Data Sheet Pressure independent balancing and control valve AB-QM DN 10-250. Verkkoaineisto. Danfoss <http://heating.danfoss.com/PCMPDF/VDA7F602_AB-QM_DN10-250_industry%20pack.pdf>. Luettu 20.6.2017
- 17 Technote Frese OPTIMIZER 6-way. Verkkoaineisto. Frese. <<http://www.frese.eu/hvac/en-GB/Products/PICV/Frese-OPTIMIZER-6-way>>. Luettu 30.6.2017
- 18 Photo Frese OPTIMA Compact DN10-DN50. Verkkoaineisto. Frese <<https://www.frese.eu/Renderers/ShowMedia.ashx?id=893633b3-2eff-403c-b647-5d6337b7d4aa>>.30.6.2017
- 19 Photo Frese OPTIMIZER 6-way. Verkkoaineisto. Frese <<https://www.frese.eu/Renderers/ShowMedia.ashx?id=ecb0f617-ec0e-4af2-a6cc-195f18b306e4>>.30.6.2017
- 20 Frese OPTIMA Compact DN10-DN50 -pressure independent balancing & control valve. Verkkoaineisto. Frese. <https://www.teknocalor.fi/product/download-file/downloadfile?_file_name=530002>. Luettu 30.6.2017
- 21 Technical Specifications TA-6-way valve, Verkkoaineisto. IMI. <<http://www.imi-hydronic.com/sites/EN/en-au/products/balancing-control-actuators/control-valves/standard-control-valves/TA-6-way-valve/7202d468-9a63-4516-b6a1-fd520337ff9e>>. Luettu 12.7.2017
- 22 Porvali, Toni. 2016. Aluemyyntipäällikkö. IMI Hydronic Engineering Oy. Vantaa. Sähköpostiviesti: 27.7.2016
- 23 TA-Modulator Combined control & balancing valves, Verkkoaineisto. IMI. <https://imisharepointstorage.blob.core.windows.net/resources/Documents/Catalogues/English_International/PDF_low/TA-Modulator_EN_low.pdf>. Luettu 28.7.2017
- 24 TA-COMPACT-P Combined control & balancing valves for small terminal units, Verkkoaineisto. IMI. <https://imisharepointstorage.blob.core.windows.net/resources/Documents/Catalogues/English_International/PDF_low/TA-COMPACT-P_EN_low.pdf>. Luettu 28.7.2017
- 25 STAD Balancing valves, Verkkoaineisto. IMI. <https://imisharepointstorage.blob.core.windows.net/resources/Documents/Catalogues/Australia/Low/STAD_AU_low.pdf>. Luettu 28.7.2017

- 26 STAP Differential pressure controllers. Verkkoaineisto. IMI. <https://imishare-pointstorage.blob.core.windows.net/resources/Documents/Catalogues/English_International/PDF_low/STAP_DN15-50_EN_MAIN.pdf>. Luettu 28.7.2017
- 27 Product Bulletin VG1600 Series 270° Six-Way Ball Valve. Verkkoaineisto. Johnson Controls. <http://www.johnsoncontrols.com/-/media/jci/be/united-states/hvac-controls/actuators/valve/files/be_product-bulletin_270-actuator_sixway-valve_12012567.pdf?la=en>. Luettu 18.2.2018
- 28 Brochure 6-way valve and actuator 270° Six-Way Ball Valve. Verkkoaineisto. Johnson Controls. <http://www.johnsoncontrols.com/-/media/jci/be/united-states/hvac-controls/valves/be_brochure_270-sixway-valve-and-actuator-single-page-publ8695v2.pdf?la=en> Luettu 18.2.2018
- 29 Competitive analysis The 270° Six-Way Ball Valve. Verkkoaineisto. Johnson Controls. <http://www.johnsoncontrols.com/-/media/jci/be/united-states/hvac-controls/valves/be_270-6way-va_-competitive-analysis-v13.pdf?la=en> Luettu 18.2.2018
- 30 Product data sheet NENUTEC WATER - NVCB6000 SERIES. Verkkoaineisto. Nenutec. <<https://nenutec.ch/downloads.html?file=files/nenutec/datasheets/valves/D-NVCB6000V2.1-EN.pdf>>. Luettu 12.7.2017
- 31 Product data sheet B2KL: 6-way ball valve with male thread, PN 16. Verkkoaineisto. Sauter. <https://www.sauter-controls.com/uploads/tx_cabagpdm/956742.pdf> Luettu 12.7.2017
- 32 Product data sheet VDL 010...050: 2-way regulating valve for dynamic hydronic-balancing, PN 25, Valveco compact. Verkkoaineisto. Sauter. <https://www.sauter-controls.com/uploads/tx_cabagpdm/990495.pdf> Luettu 12.7.2017
- 33 Flyer 6-way ball valve. Verkkoaineisto. Sauter. <https://www.sauter-controls.com/uploads/tx_cabagpdm/908050.pdf> Luettu 12.7.2017
- 34 Catalogue/Product sheets CCO kit Compact Change Over - 6-way switch valve with motor. Verkkoaineisto. Swegon. <https://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/Room%20controller%20equipment/_en/CCO.pdf>. Luettu 12.7.2017
- 35 Catalogue/Product sheets Paragon Compact comfort module for hotels and hospital wards. Verkkoaineisto. Swegon. <http://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/Comfort%20modules/_en/PARAGONc.pdf>. Luettu 12.7.2017

Paineesta riippuva toteutus

Liite 1 on esimerkkiverkosto. Liittyy Alaluvun 7.1 mitoitusmerkkiin



Paineesta riippumaton toteutus

Liite 2 on esimerkkiverkosto. Liittyy Alaluvun 7.2 mitoitus-esimerkkiin

