

Ville Sipola

# LVI-järjestelmien hydraulisten piirien säätöventtiilien mitoitus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Talotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinööri (YAMK)

Opinnäytetyö

31.3.2018

Tekijä(t) Otsikko	Ville Sipola LVI-järjestelmien hydraulisten piirien säätöventtiilien mitoitus
Sivumäärä Aika	52 sivua + 3 liitettä 31.3.2018
Tutkinto	Talotekniikan tutkinto-ohjelma
Koulutusohjelma	Insinööri (YAMK)
Suuntautumisvaihtoehto	LVI-tekniikka
Ohjaaja(t)	yksikön päällikkö Jarno Hämäläinen yliopettaja Jukka Yrjölä
<p>Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä LVI-tekniikassa yleisesti esiintyvien hydraulisten piirien säätöventtiilien tekniseen valintaan sekä valintaprosessin kulkuun ja siihen vaikuttaviin tahoihin. Työn tuloksena toteutetaan yleisimpien säätöventtiilien valinta- ja mitoitusohjelma sekä dokumentointityökalu LVI-suunnittelijoiden käyttöön. Työ tehtiin Ramboll Finland Oy:lle.</p> <p>Opinnäytetyössä selvitettiin säätöventtiilin valintaprosessia ja sitä, kuinka hyvin valintaprosessissa on määritetty eri tahojen vastuut ja tehtävät sekä arvioitiin valintaprosessin toimivuutta. Selvityksen perusteella analysoitiin olemassa olevan ohjeistuksen selkeyttä sekä sitä, kuinka yksiselitteisesti esimerkiksi LVI-suunnittelijan tehtävät on määritelty osana säätöventtiilivalinnan elinkaarta.</p> <p>Kirjallisuustutkimuksen avulla selvitettiin myös säätöventtiilien ominaisuuksia sekä erilaisia säätöventtiilien mitoitus- ja valintakäytäntöjä, jotka liittyvät kaukoenergiajärjestelmiin ja tavanomaisiin kiinteistöjen toisioverkostoihin. Tässä yhteydessä koottiin tietoa säätöventtiilien valintaan liittyvistä tekijöistä sekä ominaisuuksista ja niiden vaikutuksesta hydraulisten piirien toimintaan.</p> <p>Kirjallisuustutkimusten pohjalta saatuja tietoja hyödynnettiin mitoitusohjelman laadinnassa. Mitoitusohjelman laadinta tehtiin Microsoft Excel -käyttöympäristössä Visual Basic for Application -ohjelmointia hyödyntäen. Mitoitusohjelman laadinnan edetessä esitellään kattava koelma säätöventtiilien mitoitukseen liittyviä yhtälöitä, joita hyödynnetään vertailtaessa säätöventtiilejä keskenään niiden ominaisuuksien perusteella. Lisäksi työssä esitellään säätöventtiilivalintojen dokumentointiin käytettävän säätöventtiililuettelon laadinta.</p>	
Avainsanat	säätöventtiilit, ominaiskäyrä, mitoitusohjelma, laskentataulukko, Excel

Author Title	Ville Sipola Control Valve Dimensioning in Hydronic Systems
Number of Pages Date	52 pages + 3 appendices 31 March 2018
Degree	Master of Engineering
Degree Programme	Building Services Engineering
Specialisation option	HVAC Engineering
Instructors	Jarno Hämäläinen, Head of Department Jukka Yrjölä, Principal Lecturer
<p>The purpose of this master's thesis was to study the processes of control valve dimensioning. The focus was upon the valve selection that not only includes the technical specification of the control valves, but also their overall life-cycle from the first designs to the installation and operations of the valve. Another objective was to map various dimensioning procedures.</p> <p>A light literature based research was conducted to determine the actors and their responsibilities in the control valve selection process. Current procedures were briefly evaluated. Another literature based research was conducted to map the physical properties of control valves that play a part in the dimensioning of control valves in district heating and cooling systems, as well as in secondary hydronic systems.</p> <p>The data gathered from the research was used to create and further develop an Excel-based tool for control valve dimensioning for HVAC designers. The tool includes a vast collection of equations for control valve dimensioning. The tool is also used to document the dimensioning results. The tool will be brought to use for the HVAC designers working for the company who commissioned this thesis.</p>	
Keywords	control valves, characteristics, dimensioning software, spreadsheet

## Sisällys

Lyhenteet ja käsitteet	6
1 Johdanto	1
1.1 Tilaajayrityksen esittely	1
1.2 Projektin tausta	2
1.3 Projektin tavoitteet	2
1.4 Projektin jäsennys ja tutkimusmenetelmät	3
1.5 Projektin rajaus	4
2 Säätoventtiilien valintaprosessi	5
2.1 Valintaprosessi käsitteenä	5
2.2 Säätoventtiilien valintaprosessiin liittyvät tahot	6
2.3 Valintaprosessin kulku nykyisellään	7
2.4 Suljetut hydrauliset piirit kaukoenergiajärjestelmissä	9
2.5 Toisioverkot	11
3 Säätoventtiilien tekniset ominaisuudet ja mitoituskäytännöt	11
3.1 Säätoventtiilien ominaisuudet	11
3.2 Säätoventtiili osana hydraulista piiriä	16
4 Säätoventtiili osana hydraulista piiriä mitoitusolosuhteissa ja todellisen käytön mukaisessa tilanteessa	18
4.1 Mitoitusolosuhteen ja käytön mukaisen tilanteen eroavuudet yleisesti	18
4.2 Toimistotalon tuloilmakoneiden jäähdytyspattereiden jäähdytysverkosto	19
4.2.1 Tuloilmakoneen jäähdytyspatterin mitoitusolosuhteen määrittäminen	19
4.2.2 Jäähdytysveden massavirta todellisessa käyttöolosuhteissa	22
5 Säätoventtiilien mitoitus- ja valintatyökalun laadinta	25
5.1 Yleisesittely	25
5.2 Kaukolämmön ensipiirin säätoventtiilien mitoitus	26
5.3 Kaukojäähdytyksen ensipiirin säätoventtiilien mitoitus	33
5.4 Kiinteistön toisioverkostojen säätoventtiilien mitoitus	34
5.5 Säätoventtiilien ominaisuuksien vertailu	37
5.6 Venttiililuettelo	44
6 Yhteenveto	49

Liitteet

Liite 1. Esimerkkitoimistotalon järjestelmäkaaviot

Liite 2. Laskentataulukot

Liite 3. Venttiililuettelo

## Lyhenteet ja käsitteet

### Comfort-jäähdytys

Comfort-jäähdytyksellä tarkoitetaan tilojen jäähdytystä, jossa sisäilman lämpötilan hallinnalla pyritään pitämään tilan lämpötila suotuisalla tasolla tiloissa olevien ihmisten kannalta.

**IMS** IMS viittaa koneelliseen ilmanvaihtojärjestelmään, jossa ilmamäärää säädetään jatkuvasti olosuhteiden pitämiseksi halutulla tasolla. IMS voi viitata myös ilmamääräsäätteisessä järjestelmässä ilmamäärän säädöstä vastaavaan laitekokonaisuuteen tai komponenttiin.

**MagiCAD** MagiCAD on Suomessa yleisesti käytetty taloteknisten järjestelmien suunnitteluun tarkoitettu suunnitteluohjelmisto. Ohjelmistoa kehittää Progran Oy.

**RYL** Rakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Kirjallinen kuvaus hyvästä rakentamis- ja kiinteistönpitotavasta. Sen sisältö on rakennusaloilla toimivien eri tahojen yhteisesti hyväksymä.

**VBA** *Visual Basic for Applications*. Visual Basic -ohjelmointikielen muoto. VBA:lla ei voi luoda itsenäisesti toimivia ohjelmia, vaan ohjelmakoodia ajetaan isäntäohjelmassa. Isäntäohjelmoina voivat toimia mm. useimmat Microsoft Corporationin tuottaman Office-toimisto-ohjelmistopakettien ohjelmat, kuten Excel.

# 1 Johdanto

## 1.1 Tilaajayrityksen esittely

Tämä opinnäytetyö on tehty suunnittelu- ja konsultointipalveluita tarjoavalle Ramboll Finland Oy:lle osana Metropolia Ammattikorkeakoulun talotekniikan tutkinto-ohjelman ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opintoja. Ramboll Finland on osa Tanskassa vuonna 1945 alkunsa saanutta Ramboll Groupia. Suunnittelu- ja konsultointipalveluita yhtiö tarjoaa mm. seuraavilla toimialoilla:

- kiinteistöt ja rakentaminen
- infra ja liikenne
- kaupunkisuunnittelu
- vesi
- ympäristö ja terveys
- energia
- öljy ja kaasu
- johdon konsultointi.

Ramboll Group työllistää maailmanlaajuisesti noin 13 000 työntekijää, jotka työskentelevät 35 eri maassa ja yli 300 toimistossa. Suomessa Ramboll Groupin omistamissa yhtiöissä työskentelee noin 2200 henkilöä 24 paikkakunnalla 28 toimistossa. (1; 2.)

Tämän opinnäytetyön on tilannut Ramboll Finland Oy:n Kiinteistöt ja Rakentaminen -toimialaan kuuluva LVIA-suunnittelun yksikkö. Yksikön päällikkönä toimii Jarno Hämäläinen ja yksikössä työskentelee noin 70 LVI- ja rakennusautomaatioalojen asiantuntijaa (3). Suurin osa yksikön työntekijöistä työskentelee päivittäin Espoon Säterissä sijaitsevassa Rambollin Suomen pääkonttorissa.

LVIA-alan suunnittelu- ja konsultointipalvelut tässä yksikössä kattavat niin julkis- kuin yksityissektorin uudis- ja korjausrakentamishankkeet asuinrakennuksista vaativiin sairaala- ja muihin erityiskohteisiin.

## 1.2 Projektin tausta

Projektin idea lähti liikkeelle huomiosta, jonka olen tehnyt noin seitsemän vuoden LVI-suunnittelu-urani aikana kahdessa eri suunnittelutoimistossa työskennellessäni. LVI-järjestelmien hydraulisten piirien säätöventtiilien mitoitukseen ei mielestäni kiinnitetä tarpeeksi huomiota ja tämä aiheuttaa ongelmia rakentamisen eri vaiheissa.

Oman asiantuntemukseni lisäämiseksi tein YAMK-opintoihin liittyvällä LVI-mallinnus ja -simulointi -kurssilla harjoitustyönä Microsoft Excel -pohjaisen laskentatyökalun, joka on tarkoitettu 2- ja 3-tiesäätöventtiilien mitoitukseen. Kiinnostus aiheeseen syveni kurssin jälkeen ja päädyinkin jatkamaan laskentatyökalun kehittämistä.

Esittelin laskentaohjelmaa jälkeenpäin esimiehelleni (Jarno Hämäläinen / Ramboll Finland Oy) palaverissa, jossa oli tarkoitus kartoittaa opinnäytetyön aihetta. Opinnäytetyötä päätettiin lähteä laatimaan säätöventtiilien mitoituksen ympärille.

Työn lähtökohtana ja oletuksena on, että nykyistä säätöventtiilien mitoitukseen ja valintaan liittyvää mitoituskäytäntöä voidaan kehittää suunnitteluprosessin tehokkuuden kannalta lisäämällä suunnittelijoiden ymmärrystä säätöventtiilien mitoitukseen vaikuttavista fyysikaalisista tekijöistä ja implementoimalla tämä tieto tehokkaaseen suunnitteluprosessiin, voidaan mitoitus- ja valintaprosessin tuloksena syntyvien mitoitusten olettaa johtavan parempaan hydraulisten piirien säädettävyyteen elinkaarikustannuksia kasvattamatta. Edellä mainitut oletukset toimivat opinnäytetyön tutkimusongelmina.

## 1.3 Projektin tavoitteet

Projektin päätavoitteena on laatia LVI-järjestelmien hydraulisten piirien säätöventtiilien mitoitukseen toimintatapa ja implementoida se osaksi opinnäytetyön tilaajayrityksen LVIA-suunnitteluprosessia. Projektin päätavoitteeseen liittyvänä laadullisena tavoitteena on, että kaikki opinnäytetyönprojektin tuotoksena syntyvät käyttäjän suuntaan näkyvät yksittäiset osakokonaisuudet ovat hyvin perusteltuja ja selostettuja. Tällä tavoitellaan sitä, että tässä projektissa tuotettava tieto ja työkalut olisivat aidosti suunnittelijoiden hyödynnettävissä projektitoiminnassa. Tavoitteiden toteutuessa on mahdollisuus lisätä yrityksen kilpailukykyä ja asiantuntijuutta ja näin myös erottua kilpailijoista kyseisellä osalla.

Projektin päätavoite koostuu kahdesta alitavoitteesta. Ensimmäisenä alitavoitteena on jatkokehittää edellä mainittua säätöventtiilien mitoitustyökalua. Suunnitteluprosessin kannalta mitoitustyökalussa tullaan keskittymään siihen, että ohjelmassa käytettävyys pysyisi hyvänä ja yksinkertaisena. Lisäksi ohjelma on tarkoitus toteuttaa niin, että se sisältää mitoitusta ohjaavaa tietoa sekä virheentarkastusta. Myös ohjelmasta saatavien tuloksien selkeyteen panostetaan.

Toisena alitavoitteena on luoda prosessikuvaus säätöventtiilivalinnan kulusta ja siihen vaikuttavista tahoista sekä näiden tahojen vastuista ja velvoitteista projektin eri vaiheissa.

#### 1.4 Projektin jäsenitys ja tutkimusmenetelmät

Projekti jäsenetään kolmeen pääosiin. Ensimmäisessä osiossa suoritetaan kirjallisuustutkimus liittyen kaikkiin säätöventtiilivalinnan vaiheisiin ensimmäisistä suunnitelmista siihen saakka, kun säätöventtiili on asennettu paikalleen osaksi hydraulista piiriä ja se on toiminnassa. Kirjallisuustutkimuksen avulla pyritään tunnistamaan mm. säätöventtiilin valintaan vaikuttavat tahot sekä näiden tahojen tehtävät ja vastuut.

Kirjallisuustutkimuksen pohjalta kootaan yhteen valintaprosessiin liittyvät olemassa olevat käytännöt. Lisäksi pyritään analysoimaan ja pohtimaan näiden käytäntöjen soveltuvuutta suunnittelussa ja toteutuksessa sekä täydentää käytäntöjä niin, että valintaprosessin kulkua ja keskeisten osapuolten velvoitteita sekä tehtäviä voitaisiin selventää prosessin eri vaiheissa. Tässä osiossa käydään läpi myös ne säätöventtiilin tekniseen valintaan ja teknisiin ominaisuuksiin liittyvät asiat, jotka tulevat käsiteltävän aiheen mukana tässä kohdassa luontevasti esille.

Projektin toisessa pääosiossa tullaan keskittymään säätöventtiilin teknisten ominaisuuksien valintaan ja mitoitukseen. Osiossa tullaan tekemään kirjallisuustutkimus, jonka tarkoituksena on tutkia, mitä hydraulisten piirien säätöventtiilien mitoituksesta tiedetään tällä hetkellä ja mitä erilaisia mitoituskäytäntöjä on käytössä. Lisäksi tässä osiossa on tarkoitus tutkia hydraulisen piirin toimintaa kuvitteellisen järjestelmän mitoitustilanteessa ja verrata tätä tilannetta kyseisen järjestelmän todellisen käytön mukaiseen tilanteeseen. Tämän osion tarkoituksena on lisätä ymmärrystä hydraulisten piirien säädön toiminnasta ja löytää myös ne lähteet, joita voidaan hyödyntää projektin kolmannessa osiossa.

Projektin kolmannessa osiossa keskitytään ratkaisemaan projektin tavoitteita. Projektin tavoitteiden ratkaisemisessa tullaan hyödyntämään aiemmissa osioissa kerättyä tutkimustietoa. Tässä osassa käydään läpi säätöventtiilien mitoistustyökalun sekä määritellään säätöventtiilien mitoitus- ja valintaprosessi osaksi suunnitteluprosessia. Kolmannessa osassa esitellään ne käytännön menetelmät ja työkalut, joita esim. säätöventtiilien valintatyökalun ja valintataulukoiden laadintaan käytetään. Tämän lisäksi esitellään ne yhtälöt ja laskentamenetelmät, joita säätöventtiilimitoituksessa tarvitaan.

## 1.5 Projektin rajaus

Projektissa keskitytään edellä mainittujen tavoitteiden saavuttamiseen. Projektissa ei tulla käsittelemään esim. hydraulisten piirien virtaustekniikkaa kovinkaan syvästi, eikä laskentayhtälöitä tulla johtamaan kovinkaan pitkältä, vaan yleisimmät laskentayhtälöt esitellään sellaisinaan käyttötarkoitukseensa soveltuvina.

Säätöventtiilejä on nykyisellään käyttökohteesta riippuen useampaa eri tyyppiä. Tässä projektissa käytettävät esimerkit ja käsiteltävä alue on tarkoitus rajata niin, että keskitytään 2- ja 3-tiesäätöventtiileihin osana tyypillisimmin kiinteistöistä löytyviä hydraulisia piirejä kuten:

- ilmanvaihtokoneiden ja/tai tilojen lämmönluovuttimia palvelevat lämmitys- ja jäähdytysverkot
- kaukoenergiajärjestelmiin liittyvät lämmitys- ja jäähdytysverkot.

Työssä on myös tarkoitus keskittyä säätöventtiilien hydrauliseen toimintaan LVI-suunnittelun näkökohdista. Tästä syystä säätöventtiilien toimilaitteita tai säätöventtiilin säädöstä ja ohjauksesta vastaavia järjestelmiä ei tulla käsittelemään osana opinnäytetyötä. Myöskään käytännön mittauksia ei ole tarkoitus hyödyntää tutkimusprosessissa.

Laskentatyökalun ohjelma-alustan ja ohjelmointikielen valintaan vaikuttavia tekijöitä ei tutkita tässä opinnäytetyössä, koska laskentatyökalua on kehitetty nykyisellä alustalla jo ennen tämän opinnäytetyön aloitusta. Myöskään tähän opinnäytetyöhön liittyvän tutkinto-ohjelman kannalta ei laskentatyökalun ohjelmistoalustalla ja ohjelmointikielillä mielestäni ole keskeistä asemaa, vaan keskeisempää on mielestäni tutkinto-ohjelmassa opittujen teoreettisten tietojen hyödyntäminen tutkinto-ohjelmaan liittyvillä aloilla tapahtuvana uuden tiedon tuottamisena tai lisäarvon tuominen siihen tietoon tai niihin tehtäviin, palveluihin ja tuotteisiin liittyen, jotka ovat jo käytössä.

Työn painopiste on luotettavan, toimivan ja käyttäjäystävällisen LVI-suunnitteluprosessiin liittyvän toimintatavan luominen ja sitä tukevien työkalujen ja käytäntöjen kehitys. Alkuperäinen laskentatyökalu on laadittu Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmistolla. Laskentaohjelman käyttöön liittyviä ominaisuuksia on kehitetty myös Visual Basic for Applications -ohjelmointikielellä. Laskentatyökalun ja mitoitusaulukoiden laadintaan liittyvässä kolmannessa osiossa on tarkoitus kuitenkin esitellä laskentatyökalun säätöventtiilien ominaisuuksien laskentaan sekä laskentatyökalun toiminnallisuuteen liittyvää ohjelmakoodia ja ohjelmointialustan mahdollistamia ominaisuuksia.

## **2 Säätöventtiilien valintaprosessi**

### **2.1 Valintaprosessi käsitteenä**

Rakennushankkeessa säätöventtiin valintaan liittyvässä valintaprosessissa useampi taho vaikuttaa venttiin valintaan ensimmäisistä suunnitelmista siihen asti, kun venttiili on asennettu osaksi järjestelmää ja se on toimintakunnossa.

Suomessa rakennusalalla on yhteisesti sovittu rakennus- ja kiinteistönpitotavan yleisistä laatuvaatimuksista. Nämä rakentamisen yleiset laatuvaatimukset (RYL) on koottu erillisiksi julkaisuksi sisällön mukaisesti. Uusin osa taloteknisiin järjestelmiin liittyvistä laatuvaatimuksista on koottu julkaisuun TalotekniikkaRYL 2002. TateRYL ottaa kantaa myös säätöventtiilien tapauksessa eri tahojen tehtäviin rakennushankkeen eri vaiheissa. (4.)

Olen toiminut LVIA-suunnittelijana ja LVIA-suunnittelun projektipäällikkönä seitsemän vuoden ajan. Suunnittelun lisäksi olen tehnyt paljon valvontatöitä ja myös pienempiä rakennuttamistöitä. Tehtävien monipuolisuuden takia olen omasta mielestäni saanut verrattain hyvän kokonaiskuvan rakentamishankkeiden kulusta sekä siihen liittyvistä osapuolista ensimmäisistä luonnossuunnitelmista valmiin työsuorituksen vastaanottoon ja takuuajan tarkastuksiin. Kokemusta on kertynyt pienemmässä, noin 10 henkilöä työllistävässä suunnittelutoimistossa sekä suuremman yrityksen palveluksessa niin uudis- kuin korjausrakentamiskohteissa, julkisella ja yksityisellä sektorilla rakennuksen käyttö-tarkoituksiluokkaan katsomatta.

Oman kokemukseni perusteella, kun selkeät yhteiset pelisäännöt puuttuvat tai ne sisältävät puutteita ja tulkinnanvaraisuuksia, on kunkin valintaprosessiin liittyvän tahon hankala tietää, mitkä ovat kenenkin tehtävät ja vastuut valintaprosessin eri vaiheissa. Yhteisten pelisääntöjen luomisella ja tuomalla valintaprosessiin vaikuttavien tahojen tehtävät ja vastuut paremmin kunkin tahon tietoon, voitaisiin vaikuttaa suotuisasti erilaisten hydraulisten piirien säädön toimivuuteen sekä niiden elinkaarikustannuksiin. Tällainen toimintatapa tehostaa myös kaikkien valintaprosessiin liittyvien osapuolten ajankäyttöä ja tätä kautta pienentää myös kustannuksia. Toimintatavan etuna on myös se, että mahdollisissa virhetilanteissa virheen syntyyn vaikuttavien tekijöiden tunnistaminen helpottuu.

## 2.2 Säästöventtiilien valintaprosessiin liittyvät tahot

Esiteltävässä mallissa ajatellaan hydraulisen piirin suunnittelun alkavan LVI-suunnittelijan toimesta. Suunnittelutoimistoissa verkoston hydraulisten ja säätötekniisten suunnittelutehtävien jakautumisessa olen havainnut kolmea yleisintä erilaista tapaa suunnittelutoimistosta riippuen. Ensimmäinen tapa on se, että suunnittelutoimistossa on selvästi rajattu eri ryhmille tai yksittäisille henkilöille ne suunnittelutehtävät, jotka liittyvät verkoston hydrauliseen suunnitteluun, ja taas säätötekniinen suunnittelu tehdään eri ryhmän tai henkilöiden toimesta. Toinen tapa on se, että suunnittelutoimistossa sekä hydraulinen että säätötekniinen suunnittelu tehdään saman ryhmän tai henkilöiden toimesta. Kolmas tapa on se, että edellä mainittuja suunnittelutehtäviä ei tehdä lainkaan samassa suunnittelutoimistossa, vaan projektiin liittyvän hydraulisen suunnittelun tekee LVI-suunnittelutoimisto ja säätöteknisestä suunnittelusta vastaa rakennusautomaatiosuunnitteluun erikoistunut suunnittelutoimisto.

Hydraulisia piirejä ajatellen urakoitsijayritykset ovat tavanomaisesti jakautuneet ja muodostuneet niin, että varsinaisen verkoston mekaanisesta rakentamisesta vastaavat urakoitsijat (esim. putkiurakoitsijat) ovat eri toimijoita kuin ne urakoitsijat, jotka vastaavat verkoston toimintaan ja käyttöön liittyvien rakennusautomaatiotöiden ja -asennusten toteuttamisesta (esim. rakennusautomaatiourakoitsijat). Näin ollen urakkamuodosta riippumatta usein säästöventtiilin hankkii ja toimittaa rakennusautomaatiotöistä vastaava taho, kun taas kyseisen säästöventtiilin mekaanisen asentamisen tekee putkitöistä vastaava taho. Verkoston hydraulisen toiminnan varmistamisesta toteutusvaiheessa vastaa putkitöistä vastaava taho, kun taas verkoston säädön toimivuudesta vastaa rakennusautomaatiotöistä vastaava taho.

Koska säätöventtiili on olennainen osa hydraulista piiriä ja siihen liittyvän säädön toimintaa, sen tarvittavien hydraulisten ominaisuuksien selvittämiseen ja valitsemiseen luontevin taho suunnitteluprosessissa on sama taho, joka tekee muunkin hydraulisen suunnittelun eli LVI-suunnittelija. Omaan kokemukseeni perustuen tämä on myös yleinen toimintatapa.

### 2.3 Valintaprosessin kulku nykyisellään

Tyypillisessä suunnitelmassa esimerkiksi rakennuksen tilojen ja ilmanvaihtokoneiden lämmönluovuttimia palvelevien lämmitys- ja jäähdytysverkostojen säätöventtiilien varsinaista valintaa ei useinkaan tehdä, vaan suunnitelmadokumenteissa tyydytään ilmoittamaan vain kyseisten säätöventtiilien mitoitusvirtaamat sekä suurin sallittu venttiilin aiheuttama painehäviö ottamatta huomioon todellisen laitevalinnan vaikutusta säätöventtiilin ominaisuuksiin kuten esimerkiksi painehäviöön.

Näiden annettujen mitoitusarvojen perusteella venttiilin toimittaja tai urakoitsija valitsee toimitettavan venttiilin ja laatii hankittavista venttiileistä luettelumuotoisen esityksen, jonka rakennuttajan edustaja yleensä tarkastaa. Usein käytännössä tarkastava taho on kohteen LVI-suunnittelija.

Nykysin suunnittelussa yleisesti käytetyissä ohjelmissa, esimerkiksi MagiCAD:issa, hydraulisten verkostojen virtaustekninen mitoitus voidaan tehdä erittäin tarkasti. Mitoitusten pohjalta suunnitelmiin merkitään usein myös kertasäätöventtiileillä (linjasäätö) tuotettavat painehäviöt sekä painehäviöitä vastaavat esisäätö- ja/tai  $k_v$ -arvot. Näiden arvojen mukaan urakoitsija pystyy helposti asettelemaan verkoston virtaamat mitoitusilanteessa tasapainotilaan. Jos verkoston säätöventtiilien tuottamaa todellista painehäviötä ei oteta näissä mitoituksissa huomioon, voivat esimerkiksi kertasäätöventtiilien esisäätöarvot poiketa huomattavastikin siitä tilanteesta, jos säätöventtiilien todelliset painehäviöt olisi huomioitu laskelmissa. Tämä johtuu siitä, että säätöventtiilin painehäviö voi hyvän säätötuloksen saavuttamiseksi olla jopa 50 % verkoston kiertopumpun paineenkorotustarpeesta. Tämän toimintatavan ongelmana suunnittelun kannalta on se, että esimerkiksi lämmityssuunnitelmissa, erityisesti pohjapiirustuksiin merkittyjen linjasäätöventtiilien esisäätöarvot eivät pidä paikkaansa. Lisäksi jos verkoston virtausteknisesti haastavimmalla reitillä olevan säätöventtiilin todellista painehäviötä ei ole otettu laskelmissa huomioon, voi myös kiertopumpun paineenkorotus tulla alimitoitetuksi.

Tate RYL 2002:n kohdissa *G1234* ja *J7151* on annettu ohjeita ja vaatimuksia asiakirjoissa määrättävistä säätöventtiilin ominaisuuksista (4, s. 84, 314). Kuvassa 1 on esitetty TaTe RYL 2002:n kohdassa *G1234* esitetyt ohjeet ja vaatimukset säätöventtiilin ominaisuuksista. Kuvassa 2 on esitetty vastaavat tiedot kohdasta *J7151*.

**Ohje**  
Asiakirjoissa määrätään säätöventtiilin

- tyyppi, materiaali ja liitostapa
- koko, DN-mitta
- nimellispaine
- nimellislämpötila
- säätökäyrät
- säätösuhde
- sulkupaine
- kv-arvo.

**Ohje**  
Asiakirjoissa määrätään venttiilin

- nimellispaine
- nimellislämpötila
- pesän materiaali
- vähimmäis- ja enimmäisvirtaama sekä paine-ero venttiilin yli venttiilin ollessa täysin auki
- säätösuhde
- sulkupaine
- auktoriteetti eli säädettävän piirin kokonaispainehäviö ja venttiilin osuus siitä
- sekoituskohdan etäisyys ilmastointipatterista
- tiiviys, sallittu vuotoprosentti.

Kuva 1. TaTe RYL 2002:n ohjeistus asiakirjoissa määritettävistä säätöventtiileihin liittyvistä tiedoista kohdasta *G1234* (4, s. 84).

Kuva 2. TaTe RYL 2002:n ohjeistus asiakirjoissa määritettävistä säätöventtiileihin liittyvistä tiedoista kohdasta *J7151* (4, s. 272).

Edellä mainituissa TaTe RYL 2002:n kohdissa siis määritetään perustaso tarvittavista tiedoista, jotka suunnittelijan tulisi esittää suunnitelma-asiakirjoissaan. Näiden mitoitus- ja valintakriteerien puitteissa urakoitsijan tai venttiilitoimittajan on valittava toimitettavaksi ehdotettavat säätöventtiilit.

Tate RYL 2002:ssa mainitaan myös seuraavat asiat säätöventtiileihin liittyen:

**Vaatus, Säätöventtiilin rakenne**

Säätöventtiilit ovat istukka- tai säätöpalloventtiilimallisia 2- tai 3-tieventtiilejä, ja niitä pitää voida käyttää käsin. Muut rakennetta koskevat vaatimukset esitetään osassa *J7 Automaatiojärjestelmät*. (4, s. 84.)

**Vaatus, Säätöventtiilin asennus**

Säätöventtiilit asennetaan kierre- tai laippaliitoksien ja niin, että arvokilven tiedot ovat helposti luettavissa. Toimilaite ei saa sijaita venttiilin alapuolella. Muut vaatimukset ovat samat kuin sulkuventtiilien, ks. kohta *G1231 Sulkuventtiilit*. (4, s. 84.)

**Vaatus**

Säätöventtiilin tyyppi, materiaali ja koko hyväksytetään ennen laitetilauksia. Säätöventtiilin kvs-arvo ei saa poiketa yli -20...+30 suunnitellusta arvosta. Venttiilin asennuspaikka ja asento valitaan siten, että toimilaite voidaan huoltaa ja kytkeä toimilaitetta irrottamatta. Karan asento on yleensä ylöspäin. Asennuksessa noudatetaan laitetoimittajan ohjeita. Säätöventtiilin säätösuhteen on oltava vähintään 1:30. Käyttövesisäädön venttiilin säätösuhdevaatimus on korkeampi, vähintään 1:50. (4, s. 314.)

Tate RYL 2002:ssa mainittuja käsitteitä avataan jäljempänä. Osa kuvissa 1 ja 2 esiteytyiksi vaadituista tiedoista on kaikkia toimitettavia säätöventtiileitä sitovia määreitä, osa järjestelmäkohtaisesti sitovia ja osa venttiilikohtaisia määreitä. Määreet, jotka koskevat kaikkia toimitettavia säätöventtiileitä sekä järjestelmäkohtaisia säätöventtiileitä, on mielekästä määritellä esimerkiksi työselostuksessa, jolloin usein toistuvia tietoja ei tarvitse esittää moneen kertaan. Omien huomioideni perusteella näin myös useimmat suunnittelutoimistot tekevät. Venttiilikohtaiset arvot ovat taas mielekkäämpää esittää taulukoituna venttiililuetteloksi tai vastaavalla tavalla. TaTe RYL 2002:n ohjeet jättävät kuitenkin hie-man tulkinnan varaa sille, tuleeko säätöventtiilikohtaisesti määrittää esim. säätöventtiilin kytkentäkkoko ja venttiilin  $k_{vS}$ -arvo. Vaatimuksessa kuitenkin puhutaan *suunnitellusta*  $k_{vS}$ -arvosta poikkeamisesta.  $k_{vS}$ -arvon määrittämisestä on kerrottu myöhemmin tässä opinnäytetyössä.

#### 2.4 Suljetut hydrauliset piirit kaukoenergiajärjestelmissä

Kaukolämpö- ja -jäähdytysverkostojen säätöventtiilien suunnittelu- ja mitoituskäytännöissä on myös vaihtelua suunnittelijasta riippuen. TaTe RYL 2002:n kohdassa *J7151 Säätöventtiilit* on esitetty vaatimus kaukolämmitysjärjestelmien säätöventtiileistä:

Kaukolämmityksessä säätöventtiilien on oltava Suomen Kaukolämpö ry:n julkaisun 1/92 suosituksen mukaisia (4, s. 314).

TaTe RYL 2002:ssa mainittu julkaisu on kuitenkin vanhentunut. Ajantasaiset yleiset rakennusten kaukolämmitystä koskevat ohjeet ja määräykset löytyvät tällä hetkellä Energiateollisuus ry:n *K1/2013, rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet* -julkaisusta. Lisäksi eri lämmöntoimittajilla on omia ohjeistuksia, joita tulee noudattaa, kun liittyyään kyseisen lämmönmyyjän hallinnoimaan kaukoenergiaverkkoon. Esimerkiksi Helen Oy:llä on omat tarkentavat ohjeensa, *Kaukolämmön suunnittelu- ja urakointiohjeita, Helen 1/2015*. (5; 6.)

Säätöventtiileitä ajatellen K1:n ja esim. Helen Oy:n ohjeistuksissa on vastuunjakoon liittyvä tulkinnanvaraisuus. K1:ssä todetaan, että mitoitus tietojen oikeellisuudesta vastaa LVI-suunnittelija. Kuitenkin LVI-suunnittelijan tehtävät -kohdassa mainitaan, että LVI-suunnittelija tekee esim. säätöventtiilien alustavan mitoituksen ja laitetoimittaja tarkentaa säätöventtiilin tiedot kohteeseen valittujen laitteiden mukaisesti (5, s. 44–45). Helen Oy:n ohjeistuksessa on selvemmin eritelty suunnittelijan vastuu mitoitus tietojen oikeellisuudesta ja mahdollisten lämmönmyyjän vaatimien muutoksen viemisestä suunnitelmiin

(6, s. 8). Viimekädessä säätöventtiilin lopullisen laitehyväksynnän tekee lämmöntoimitaja.

Kaukojäähdytykseen liittyen yleiset suositukset on annettu Energiateollisuus ry:n julkaisussa *Rakennusten kaukojäähdytys, Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet, Julkaisu J1/2017*. Nimensä mukaisesti kyseessä ei ole määräys, vaan suositus. Vastuun rajaus suunnitelmien oikeellisuudesta laitteiden, kuten esim. säätöventtiilien mitoitukselta on vastaava kuin julkaisussa K1. TaTe RYL 2002 ei ota erikseen kantaa kaukojäähdytykseen liittyviin säätöventtiileihin.

Oman kokemukseni perusteella kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen säätöventtiilien mitoitus jääkin usein lämmönmyyjän tehtäväksi esimerkiksi siitä syystä, että lämmönmyyjän ennakkotarkastukseen lähetettävissä suunnitelmissa mitoitus on enemmänkin arvio kuin mitoitus tai mitoitus on jätetty tekemättä kokonaan.

Ongelmia tämän tyyppisissä käytännöissä aiheuttavat mm. seuraavat asiat:

- Suunnittelija ei tunne suunnittelemaansa komponenttia ja sen tarpeeksi hyvin.
- Suunnittelija ei tunne suunnittelemansa säätöventtiilin vaikutuksia säädön toimivuuteen.
- Suunnittelija saa tietää tarkan säätöventtiilin ja siihen liittyvät ominaisuudet vasta, kun urakoitsija toimittaa laitehyväksyntämateriaalin (edellyttää valtuutusta toimia laitehyväksyntämenettelyssä mukana).
- Verkoston omistajan (lämmönmyyjä) tekemässä mitoituksessa säätöventtiilien lukumäärä voi kasvaa tai pienentyä hankintojen kannalta myöhäisessä vaiheessa ja tällä taas on vaikutusta mm. rakennusautomaatiossa säätöventtiileihin liittyvien säätöpisteiden lukumäärään ja näin ollen myös rakennusautomaatio-suunnitelmiin sekä mahdollisesti sähkösuunnitelmiin, joiden muuttaminen aiheuttaa kustannuksia.
- Vaikka lopullisen venttiilivalinnan hyväksyy yleensä verkoston omistaja, ei tällainen mitoistapa välttämättä tue lopputulosta, jossa tavoitellaan optimaalista säädettävän verkoston säätövastetta mahdollisimman pienillä pumppauskustannuksilla (pieni painehäviö).

## 2.5 Toisioverkostot

Toisioverkostojen suunnittelussa säätöventtiileille annettava enimmäispainehäviö perustuu usein verkoston tyyppikohtaiseen (esim. liuoslämmöntalteenotto-, jäähdytyspalkki-, ilmanvaihdon lämmitys-, ilmanvaihdon jäähdytys- tai patterilämmitysverkosto) vakioarvoon eli käytäntöön, jossa esimerkiksi kahden toisistaan riippumattoman kohteen jokaisen ilmanvaihdon lämmityspatterin 2-tiesäätöventtiilin mitoitus tehdään samaan vakioarvoon perustuen, eikä kyseisen verkoston ominaisuuksien mukaan. Verkostotyyppiin perustuva säätöventtiilin mitoituspainehäviön määrittäminen sisältää itsessään oletuksen siitä, että verkostojen kokonaispaineenkorotustarve (pumpun painetuotto) on verkoston tyyppistä riippuvainen lähes vakion omainen arvo.

Useimmissa uudiskohteissa toisioverkostot ja niihin liittyvät verkoston laitteet, kuten jäähdytyspalkit, lämmitysradiaattorit, lianerottimet ja kertosäätöventtiilit, ovat uusia, joten niiden ominaisuudet pystytään suunnittelussa valitsemaan halutuiksi, jolloin niiden ominaisuudet, kuten painehäviö, ovat tiedossa ja ne voidaan viedä virtausteknisiin laskelmiin. Tällaisissa tapauksissa voidaan usein asettaa verkoston kokonaispaineenkorotustarpeelle haluttu enimmäistaso. Tämä ei kuitenkaan takaa sitä, että verkostojen paineenkorotustarve ja tätä kautta myös säätöventtiilin valintaan käytettävä enimmäispainehäviö arvona lähes vakio kohteesta riippumatta.

Tarkemmalla mitoituksella ja tuotevalinnalla verkostojen säädettävyys voidaan saavuttaa niin, että verkostojen paineenkorotustarve ja näin ollen myös pumppauskustannukset pystytään pitämään kohtuullisina.

## 3 Säätöventtiilien tekniset ominaisuudet ja mitoituskäytännöt

### 3.1 Säätöventtiilien ominaisuudet

Ominaisuuksiltaan käyttökohteeseensa soveltuvan säätöventtiilin valinnassa tulee huomioida mm. verkostossa virtaavan lämmönsiirtonesteen kemiallisten ominaisuuksien, säädön nopeuden sekä venttiilin asennuksen ja huollon tarvitseman tilan asettamat vaatimukset (7, s. 7). Lisäksi säätöventtiilin fyysinen sijainti tulisi olla mahdollisimman lähellä

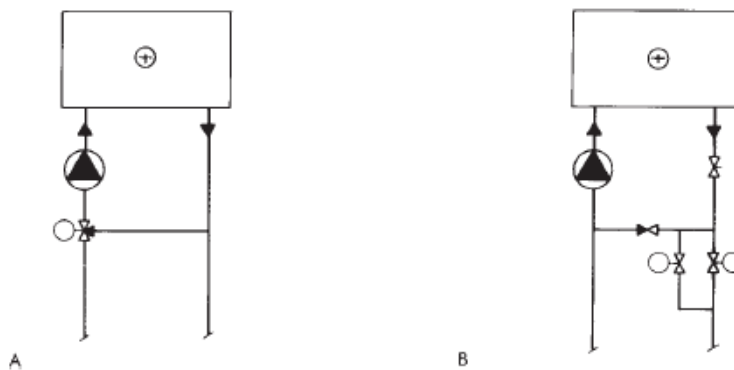
säädettävää laitetta, jolloin minimoidaan lämmönsiirtonesteen määrä sekä putkistomatka säätöventtiilin ja säädettävän laitteen välillä. Pitkä etäisyys säätöventtiilin ja säädettävän laitteen välillä lisäävät säädön viivettä.

### Venttiilin koko

Venttiilin koko ilmoitetaan yleensä nimelliskoossa eli DN-koossa. DN-koko on metrisessä järjestelmässä käytettävä ISO-standardin mukainen putkissa ja putkistolaitteissa käytettävä mitta, jolla tarkoitetaan virtausaukon nimellishalkaisijaa (mm) (8).

### Säätöventtiilin tyyppi

Kiinteistöjen suljetuissa lämmitys- ja jäähdytysverkoissa yleisimmin käytetyt säätöventtiilit ovat tyypiltään 2- tai 3-tiesäätöventtiileitä. Myöhemmin tässä opinnäytetyössä esitetyssä kaaviossa 5 on esitetty muutamia 2- ja 3-tieventtiilin kytkentäperiaatteita osaksi hydraulista piiriä sekä kuvattu näiden kytkentöjen aiheuttamaa virtaaman muutosta verkoston eri osissa. Kaaviossa 1 on esitetty lämmityspatterin sekoitussäätö. Kaavion esimerkissä A sekoitussäätö on toteutettu 3-tiesäätöventtiilillä ja esimerkissä B 2-tiesäätöventtiilein.



Kaavio 1. Lämmityspatterin sekoitussäätö (9, s. 3).

Säätöventtiilin tyypillä tarkoitetaan usein myös venttiilin sulkumekanismia. Näitä ovat esimerkiksi istukka-, pallo- ja läppäventtiili (7, s. 9–17).

## Säätöventtiilin liitostapa ja materiaali

Säätöventtiileitä on saatavilla erilaisilla liitostavoilla varustettuna. Yleisimmin käytettyjä liitostapoja ovat laippa- ja kierreliitokset. Liitostavan valintaan voi vaikuttaa mm. säätöventtiilin kytkentäkoko. Suuremmissa venttiileissä liitostapana on useimmiten laippaliitos, kun taas pienemmissä venttiileissä kytkentätapana käytetään kierreliitosta. Venttiilin liitostavan valinnassa on huomioitava myös venttiilin ja liittyvän putkiston materiaali sekä verkoston lämmönsiirtonesteen mukanaan tuomat vaatimukset. Esimerkiksi glykoliliuoksien kanssa sekä venttiilin sisäisten tiivisteiden että liitostiivisteiden materiaalin tulee olla glykolin kestävä. Näin ollen laippaliitos voi olla glykoliverkostoissa parempi liitostapa, koska laippatiivisteeksi voidaan valita glykolin kestävä tiivistemateriaali.

Säätöventtiilin materiaali tulee myös valita liittyvän verkoston asettamien reunaehtojen mukaan. Säätöventtiileissä käytettyjä materiaaleja ovat mm. punametalli, pronssi, messinki, valuteräs, ruostumaton teräs sekä haponkestävä teräs. Verkoston lämmönsiirtoneste asettaa myös venttiilin pesän ja muiden lämmönsiirtonesteen kanssa kosketuksiin joutuville osille materiaalin kesto vaatimuksia mm. lämmönsiirtonesteen aggressiivisuuden mukaan. (7, s. 8–9.)

## Nimellispaine ja -lämpötila

Nimellispaineella tarkoitetaan säätöventtiilin rakenteellista paineenkestoa eli sitä enimmäispainetta, jolle säätöventtiili voidaan altistaa ilman, että sen rakenteellinen kestävyys vaarantuu. Nimellislämpötilalla taas tarkoitetaan vastaavaa säätöventtiilin lämpötilan kesto. (9, s. 1.)

## Sulkupaine

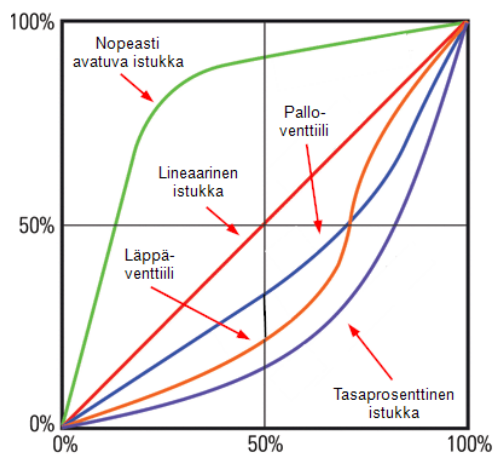
Säätöventtiilin sisällä vallitseva paine kohdistuu myös venttiilin säätöosaa vasten ja sulkeutuessaan säätöosan on pystyttävä voittamaan tämä paine sulkeutuakseen kunnolla. Sulkupaineella tarkoitetaan sitä suurinta painetta, jota vastaan säätöventtiili pystyy vielä sulkeutumaan normaalisti. (10.)

## Vuoto

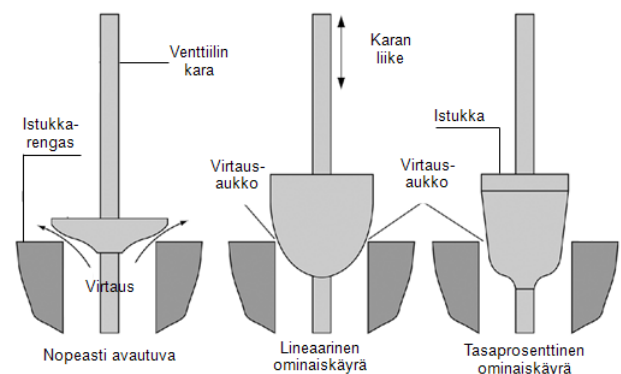
Säätöventtiilin vuodolla tarkoitetaan sen läpi kulkevaa virtaamaa, kun säätöventtiili on täysin suljettu. Vuotosuhde ilmaisee säätöventtiilin suhteellisen vuodon verrattuna venttiilin  $k_{vS}$ -arvoon. (10.)

## Perusominaiskäyrä

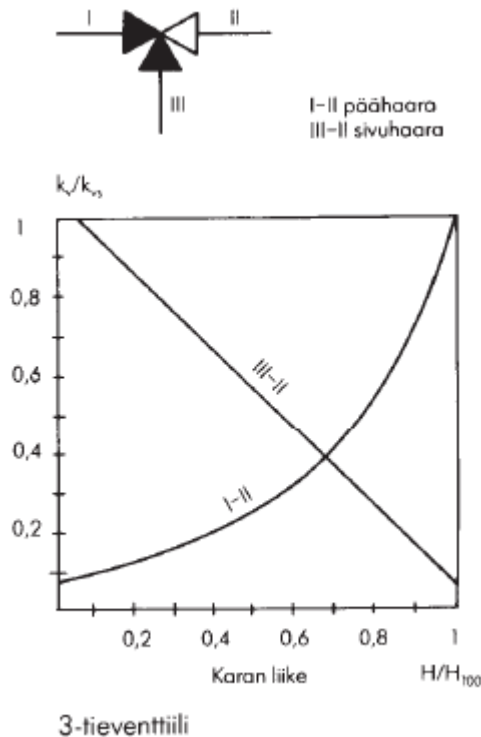
Säätöventtiilin perusominaiskäyrä kuvaa säätöventtiilin läpi kulkevan virtaaman muutosta suhteessa säätöventtiilin karan liikkeen muutokseen säätöventtiilin painehäviön ollessa vakio. Säätöventtiilin perusominaiskäyrään vaikuttaa mm. säätöventtiilin tyyppi ja erityisesti sen osan muoto venttiilissä, joka säätelee virtaamaa. Kaaviossa 2 on esitetty venttiilityypin ja istukkaventtiilin istukan muodon vaikutusta 2-tiesäätöventtiilin perusominaiskäyrään. Kuvassa 3 on esitetty istukkasäätöventtiilin istukan eri muotoja. Lisäksi kaaviossa 3 on esitetty 3-tiesäätöventtiilin molempien virtausreittien perusominaiskäyrät (9, s. 2). Kaavioiden 2 ja 3 pystyakselilla on esitetty venttiilin suhteellinen virtaama ja vaakakselilla karan suhteellinen avaus.



Kaavio 2. Venttiilityypin ja istukkaventtiilin istukan muodon vaikutus säätöventtiilin perusominaiskäyrään (11).



Kuva 3. Istukkasäätöventtiilin istukan muodon vaikutus venttiilin perusominaiskäyrään (11).



Kaavio 3. 3-tiesäätöventtiilien perusominaiskäyrä (9, s. 2).

Sillä oletuksella, että säädettävä suure on vesivirta, voidaan kaavion 2 esimerkistä nähdä, että tilanteessa, jossa paine-ero venttiiliin yli pysyy vakiona, olisi 2-tiesäätöventtiilin tapauksessa lineaarinen perusominaiskäyrä säädön kannalta optimaalisin, koska venttiilin karan suhteellinen avautuma vaikuttaa venttiilin virtaamaan samassa suhteessa.

$k_{vS}$ -arvo

$k_{vS}$ -arvo on venttiilivalmistajien venttiileille ilmoittama kapasiteettikerroin ja sen yksikkö on  $m^3/h$ .  $k_{vS}$ -arvo kertoo täysin auki olevan säätöventtiilin läpi kulkevan vesivirran, kun venttiilin aiheuttama painehäviö on 100 kPa virtaavan veden lämpötilan ollessa välillä  $+5\text{ °C} \dots +30\text{ °C}$ :tta. (9, s. 2.)

$k_{vR}$ -arvo

$k_{vR}$ -arvo on venttiilivalmistajien venttiileille ilmoittama kapasiteettikerroin ja sen yksikkö on  $m^3/h$ .  $k_{vR}$ -arvo kuvaa pienintä virtausmäärää 100 kPa:n paine-erolla, joka jää venttiilin teoreettisen perusominaiskäyrän nousutoleranssin sisäpuolelle. Se kuvaa toisin sanoen

venttiilillä pienintä teoreettisen ominaiskäyrän mukaisesti säädettävissä olevaa vesivirtaa. (9, s. 2; 12, s. 30.)

### Säätösuhde

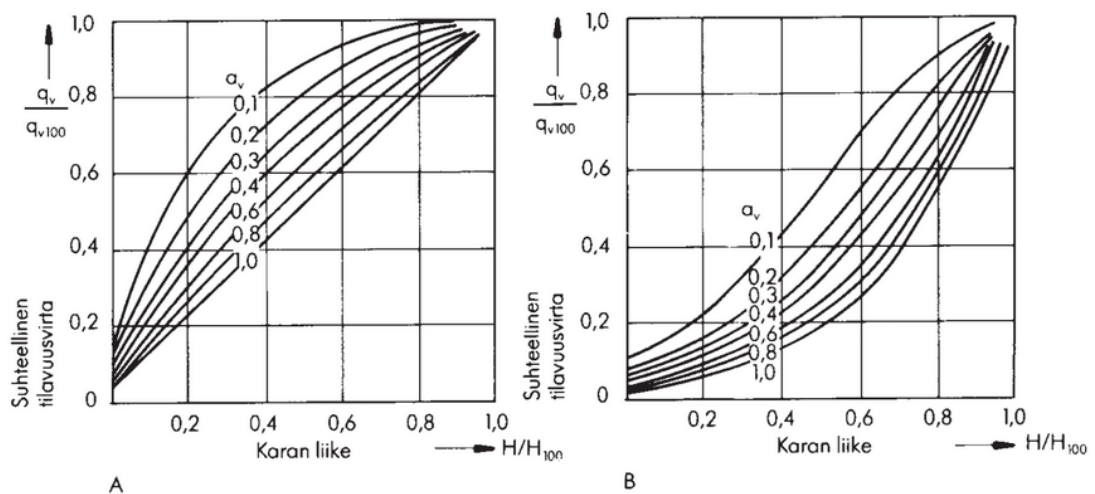
Säätösuhde on säätöventtiilin  $k_{vS}$ - ja  $k_{vT}$ -arvojen välinen suhde. Säätösuhde määritellään yhtälön 1 mukaisesti. (9, s. 2.)

$$S = \frac{k_{vS}}{k_{vT}} \quad (1)$$

$S$  on säätöventtiilin säätösuhde.

### 3.2 Säätöventtiili osana hydraulista piiriä

Säätöventtiilin teoreettinen perusominaiskäyrä ei toteudu sellaisenaan osana todellista hydraulista piiriä. Tämä aiheutuu pääasiassa siitä, että painehäviö säätöventtiilin yli todellisessa verkostossa ei ole vakio. Toisin sanoen säätöventtiili itse aiheuttaa verkostossa toimiessaan paineenvaihtelua, joka vääristää sen teoreettisen perusominaiskäyrän käyttöominaiskäyräksi. Tätä vääristymää nimitetään säätöventtiilin auktoriteetiksi tai säätöventtiilin vaikutusasteeksi. Kaaviossa 4 on esitetty lineaarisen (A) ja tasaprosenttisen (B) 2-tiesäätöventtiilin käyttöominaiskäyrät sekä havainnollistettu auktoriteetin ( $a_v$ ) vaikutus näiden venttiilien käyttöominaisuusikäyrän vääristymään. (13, s. 39.)



Kaavio 4. Säätöventtiilin auktoriteetin vaikutus lineaarisen ja tasaprosenttisen 2-tiesäätöventtiilin käyttöominaiskäyrän muodostumiseen (9, s. 2).

Tasaprosenttisen ominaiskäyrän omaavassa venttiilissä virtausaukko on siis muotoiltu niin, että toimiessaan osana hydraulista piiriä, virtaaman suhteellinen muutos pysyisi mahdollisimman lineaarisena venttiilin säätö-osan suhteelliseen avautumaan nähden.

Säätöventtiilin auktoriteettiin vaikuttaa täysin avoimen säätöventtiilin painehäviö ja sen verkoston osan painehäviö, jossa säätöventtiili säätää virtaamaa. Säätöventtiilin auktoriteetin laskenta on esitetty yhtälössä 2.

$$a_v = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v100} + \Delta p_{100}} \quad (2)$$

$a_v$  on säätöventtiilin vaikutusaste (auktoiteetti)

$\Delta p_{v100}$  on täysin avoimen säätöventtiilin painehäviö, kPa

$\Delta p_{100}$  on painehäviö siinä verkoston osassa, jossa vesivirtaa säädetään, kPa.

Säätöventtiilin auktoriteetti ei voi koskaan todellisessa tilanteessa olla yhtä suuri tai suurempi kuin 1, koska verkostossa on aina muitakin painehäviöitä kuin säätöventtiilin aiheuttama painehäviö.

Auktoiteetin määrittämiseksi on molemmat yhtälössä 2 mainitut osatekijät tunnettava.  $\Delta p_{100}$ -arvo saadaan tekemällä virtaustekninen laskelma siitä verkoston osasta, jossa ko. säätöventtiili säätää virtaamaa. Täysin avoimen säätöventtiilin painehäviön selvittämiseksi täytyy tuntea kyseisen säätöventtiilin  $k_{vS}$ -arvo. Koska  $k_{vS}$ -arvo kertoo täysin avoimen venttiilin virtaaman, kun venttiilin aiheuttama painehäviö on 100 kPa (1 bar), voidaan venttiilin aiheuttama painehäviö tarkastelupisteen mukaisella virtaamalla määrittää yhtälön 3 mukaisesti.

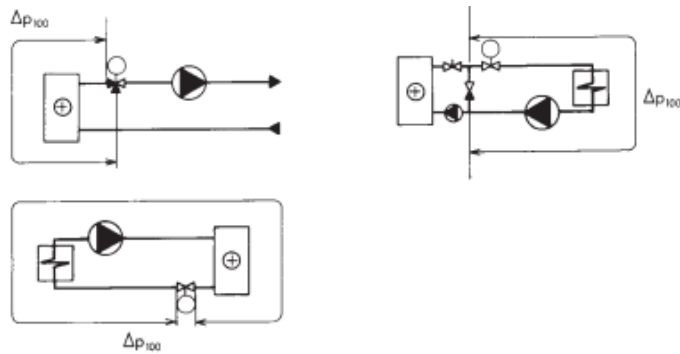
$$\Delta p_{v100} = \left(\frac{q_{v1}}{q_{v2}}\right)^2 \times \frac{100 \text{ kPa}}{1 \text{ bar}} \quad (3)$$

$\Delta p_{v100}$  on säätöventtiilin painehäviö tarkasteltavassa toiminta-pisteessä, kPa

$q_{v1}$  on säätöventtiilin  $k_{vS}$ -arvon mukainen virtaama, m<sup>3</sup>/h

$q_{v2}$  on säätöventtiilin virtaama tarkasteltavassa toimintapisteessä, m<sup>3</sup>/h.

Kaaviossa 5 on esitetty kolme tyypillistä hydraulista piiriä sekä esitetty ne piirin osat, jossa kunkin piirin säätöventtiili säätää vesivirtaa.



Kaavio 5.  $\Delta p_{100}$  -arvon määrittäminen (9, s. 2).

## 4 Säätöventtiili osana hydraulista piiriä mitoitusilanteessa ja todellisen käytön mukaisessa tilanteessa

### 4.1 Mitoitusilanteen ja käytön mukaisen tilanteen eroavuudet yleisesti

Säätöventtiilin ominaisuudet osana hydraulista piiriä poikkeavat toisistaan mitoitusilanteessa ja todellisen käytön mukaisessa tilanteessa. Esimerkiksi lämmitys- ja jäähdytysverkostoissa kulloinkin tarvittavaan vesivirtaan vaikuttaa verkostoon kytkettyjen lämmönluovuttimien tarvitsema teho. Yksittäisestä lämmönluovuttimesta (lämmönsiirrin) kulloinkin saatavilla olevaan tehoon vaikuttavat yksinkertaistetusti itse lämmönluovuttimen ominaisuudet sekä lämmönluovuttimen ensiö- ja toisiopuolen fluidien aineominaisuudet, lämpötila sekä massavirta. Tarvittavan virtaaman saavuttamiseksi verkostossa on verkoston kiertopumpun voitettava virtauksen sekä putkiston ja sen osien aiheuttamat painehäviöt. Virtaaman tarpeen muuttuessa tässä verkostossa muuttuu myös painehäviö putkiston osissa. Verkoston painehäviö muuttuu yhtälössä 4 esitetyn mukaisesti suhteessa virtaaman toiseen potenssiin olettaen, että virtaama pysyy täysin turbulentsena ja virtausvastuskerroin vakiona. (14, s. 2.)

$$\Delta p_{kok} = c \times q_v^2 \quad (4)$$

$\Delta p_{kok}$  on verkoston kokonaispainehäviö  
 $c$  on verkostokohtainen vakio  
 $q_v$  on verkoston virtaama.

Jotta ymmärretään paremmin, millainen teho ja massavirta erilaisilla lämmitys- tai jäähdytysverkostoilla pitää minäkin ajan hetkenä siirtää lämmönluovuttimille, on syytä tutkia tehon tarpeen määrittämistä tarkemmin.

## 4.2 Toimistotalon tuloilmakoneiden jäähdytyspattereiden jäähdytysverkosto

Tässä esimerkissä tarkastellaan esimerkkitoimistotalon avokonttoritiloja palvelevaa ilmanvaihtokonetta ja sen jäähdytyspatterin säätöventtiiliä sekä sen vesivirtaa. Avokonttoritilojen jäähdytys on toteutettu ilmamääräsäätteisellä tuloilmajäähdytyksellä (IMS). Tiloihin johdettavaa ilmaa jäähdytetään vain tuloilmakoneen jäähdytyspatterilla. Avokonttori on jaettu ilmanvaihdollisiin palvelualueisiin, joista kunkin palvelualueen sisäilmaolosuhteisiin voidaan vaikuttaa erikseen olosuhteiden ylläpitämiseksi / saavuttamiseksi. Esimerkkikohteen järjestelmäkaavio ja mitoitus tilanne on esitetty liitteessä 1.

Jäähdytysvesiverkostoon liittyvien jäähdytyspatterien säätöventtiilien ja muiden komponenttien mitoitus ja valinta tehdään yleensä tilanteessa, jossa kaikkien verkostoon liitettyjen jäähdytyspatterien tehontarve on yhtäaikaaisesti 100 %.

### 4.2.1 Tuloilmakoneen jäähdytyspatterin mitoitus tehon määrittäminen

Tuloilmakoneen jäähdytyspatterin mitoitus tehontarpeeseen vaikuttavat tuloilmapatteriin saapuvan ulkoilman mitoitusmassavirta, mitoituslämpötila ja -kosteus sekä jäähdytyspatterista poistuvan tuloilman mitoituslämpötila ja -kosteus.

Toimistotiloissa tuloilman massavirralla ja lämpötilalla pyritään vaikuttamaan toimistotilojen hiilidioksidipitoisuuteen sekä lämpötilaan. Näiden muuttujien hallinnalla pyritään vaikuttamaan tiloissa työskentelevien ihmisten hyvinvointiin ja viihtyvyyteen.

Ulkoilman mitoittavan lämpötilan ja kosteuden määrittää comfort-jäähdytyksessä ja -ilmanvaihdossa yleensä maantieteelliseen sijaintiin perustuva säämalli. Säämalli sisältää yleensä tuntitasoista dataa mm. ilman lämpötilasta ja kosteudesta. Säämallit ovat usein matemaattisia keskiarvoja, jotka voivat perustua esimerkiksi menneiden vuosien säätiloista tehtyihin otantoihin.

Comfort-jäähdytyksessä ja -ilmanvaihdossa jäähdytyspatterista poistuvan ilman minimilämpötila määrittyy ihmisten mukaan. Tuloilma ei voi olla liian kylmää, jos halutaan välttää sen aiheuttama vedon tunne.

Jos tuloilman mitoitusmassavirta ja jäähdytyspatterin teho haluttaisiin määrittää mahdollisimman hyvin ja mahdollisimman läheltä absoluuttista todellisen käytön / tarpeen määrittämää mitoittavaa tilannetta, tulisi tuloilmakoneen vaikutusalueen hiilidioksidimääriin ja lämpötiloihin vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset kuormat sekä niiden ajallinen esiintyminen tuntea erittäin tarkasti. Tällöin tuloilman mitoitusmassavirta sekä jäähdytyspatterin mitoittava teho voitaisiin määrittää näiden kuormien yhdenaikaisen esiintymisen perusteella valitsemalla mitoittavaksi tilanteeksi se hetki, kun yhteenlasketut kuormat ovat suurimmillaan.

Käytännön syistä tällaisen mitoituksen tekeminen ei useinkaan ole tarkoituksenmukaista. Ongelmana on juuri se, ettei todellisen käytön kuormien ajallista esiintyvyyttä tunneta tarpeeksi hyvin suunnitteluvaiheessa ja se, että liian spesifisesti tehdyn mitoituksen mukana menetetään muuntojoustavuus mahdollisissa tulevilla tilojen ja tilojen käytön muutoksissa. Mitoitusparametrit valitaankin usein esimerkiksi niin, että jokaisen palvelualueen mitoitusparametrit selvitetään erillisinä simuloimalla ne arvioiduilla kuormilla, kuitenkin huomioimatta kaikkien palvelualueiden kuormien yhdenaikaisuutta. Nämä palvelualuekohtaiset kuormat tunnetaan suunnitteluvaiheessa verrattain hyvin. Näin tuloilmakoneen mitoitusilmavirta määräytyy laskemalla näillä kuormilla laskettujen ko. tuloilmakoneen vaikutusalueeseen kuuluvien yksittäisten palvelualueiden mitoitusilmavirrat yhteen.

Laitemitoituksen kannalta siis toisin sanoen oletetaan tällaisessa tapauksessa, että tuloilmakoneen vaikutusalueella

- jokaisella palvelualueella on samanaikaisesti 100 % niistä ihmisistä, jotka lämmittävät kutakin palvelualueetta ja tuottavat hiilidioksidia kuhunkin palvelualueeseen
- jokaisella palvelualueella on samanaikaisesti 100 % valaistus sekä 100 % kullekin palvelualueelle lasketuista muista sähkölaitteista on samanaikaisesti käytössä
- aurinko ja muut ulkoiset kuormat vaikuttavat jokaiseen palvelualueeseen yhtä aikaa 100 % teholla.

Laitemitoituksessa ei siis yleensä oteta huomioon kuormien yhdenaikaisuutta.

Suunnittelutyössä tekemieni havaintojen mukaan energiantuotantojärjestelmien mitoituksessa kuormien yhdenaikaisuus osataan ottaa paremmin huomioon. Esimerkiksi kaukojäähdytysliittymän sopimustehoa ei nykyisellään tavanomaisesti mitoiteta yhteenlaskettujen tehojen mukaan, vaan liittymän maksimiteho on mielekkäämpää ja myös taloudellisesti järkevämpää mitoittaa kaukojäähdytykseen liitettävän rakennuksen energia- ja olosuhdesimulointien tuloksena saatavan yhdenaikaisen jäähdytystehontarpeen mukaan. Oman kokemukseni perusteella energia- ja olosuhdesimulointien tuloksena saatujen laskelmien mukaan kuormien arvioitu yhdenaikaisuus huomioiden voi maksimitehontarve olla vain 50 % verrattuna siihen, kun kuormien yhdenaikaisuutta ei ole huomioidu. Tämä herättää kysymyksen siitä, kuinka paljon esimerkiksi jäähdytykseen liittyvien laitteiden mitoituksessa on oikeasti ”ylimääräistä”? Taulukossa 1 on esitetty kahden todellisen kohteen dynaamisella simuloinnilla määritetyt mitoitusjäähdytystehot sekä todellinen yhdenaikainen jäähdytysteho. Laskelmat on laadittu Ramboll Finland Oy:ssä.

Taulukko 1. Mitoitusjäähdytysteho ja todellinen simuloitu yhdenaikainen jäähdytysteho.

Rakennus	Netto-ala, m <sup>2</sup>	Mitoitusjäähdytysteho, kW	Todellinen yhdenaikainen jäähdytysteho, kW	Todellisen osuus mitoitustehosta, %
Toimisto 1	19 555	1792	951	53
Toimisto 2	7 238	480	400	83

Verkoston kiertopumppua valittaessa tämä asia pitäisi myös huomioida mielestäni niin, että valittavan kiertopumpun kokonaishyötysuhde olisi parhaimmillaan siinä verkoston toimintapisteessä, jonka esiintymistiheys esim. koko vuoden tarkastelujaksolla on suurin. Näin kiertopumppu toimisi suurimman osan vuodesta hyvällä kokonaishyötysuhteella. Tällaisessa mitoituksessa tulisi kuitenkin ottaa huomioon, että valitun kiertopumpun tulee saavuttaa myös suurimman yhdenaikaisen jäähdytystehontarpeen mukainen toimintapiste.

Ilmanvaihtokanaviston tai ilmanvaihdon jäähdytystä palvelevan jäähdytysverkoston kanavissa ja putkistoissa virtaus voi muuttua laminaariseksi, jos palvelualueiden välisten kuormien vaihtelu todellisessa käytössä ajallisesti on suurta, eikä tätä ole osattu ennakoita suunnitteluvaiheessa.

#### 4.2.2 Jäähdytysveden massavirta todellisessa käyttötilanteessa

Todellisessa käyttötilanteessa yksittäisen tuloilmakoneen jäähdytyspatterin läpi virtaavan veden tarpeeseen vaikuttaa kyseessä olevan tuloilmakoneen vaikutusalueen olosuhdehallinnan kautta useampi tekijä. Tuloilmakoneiden jäähdytyspattereita palvelevan jäähdytysvesiverkoston massavirran tulee vastata kulloinkin vallitsevaa yksittäisten tuloilmakoneiden jäähdytyspatterien yhteenlaskettua massavirran tarvetta. Esimerkkita-paukseen liittyvä todellisen käytön mukainen järjestelmäkaavio on esitetty liitteen 1 si-vulla 2. Liitteen 1 esimerkissä on käytetty kuvitteellista 65 % kokonaisjäähdytystehon tarvetta mitoitustilanteeseen verrattuna.

Ensimmäisenä esimerkkirakennukseen liittyen tarkastellaan palvelualueilla tapahtuvan olosuhdehallinnan vaikutusta virtaukseen. Palvelualueen tavoiteolosuhde voi käsittää useampia muuttujia, joihin ilmamäärän säätelyllä ja tilaan tuotavan tuloilman lämpötilalla pyritään vaikuttamaan. Näitä voivat olla esimerkiksi palvelualueen poistoilman tai oles-keluvyöhykkeen ilman lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus. Palvelualueen ilman lämpötilaan pystytään esimerkkitapauksessa vaikuttamaan tuloilman määrällä ja sen lämpötilalla (jäähdytysteho), kun taas palvelualueen hiilidioksidipitoisuuteen pystytään vaikuttamaan vain tuloilman määrällä.

Jos esimerkkitapauksessa ohjaava sisäilman olosuhdemuuttuja on tietyllä hetkellä pal-velualueen ilman hiilidioksidipitoisuus, lisäämällä pelkästään palvelualueelle tuotavaa tu-loilmamäärää kuitenkin säätämättä tuloilman lämpötilaa, voi käydä niin, että tila jäähtyy liiaksi. Toisaalta taas, jos palvelualueen haluttu hiilidioksidipitoisuus saataisiin pidettyä halutussa arvossaan nykyisellä ilmamäärällä, ei kyseinen ilmamäärä ja sen lämpötila riitä pitämään palvelualueen lämpötilaa asetusarvossaan.

Jos taas ohjaava palvelualueen olosuhdemuuttuja on lämpötila, ensin säätöohjelma voi alentaa palvelualueelle tuotavan ilman lämpötilaa avaamalla tuloilmakoneen jäähdytys-patterin säätöventtiiliä ja näin alentamalla palvelualueelle johdettavan ilman lämpötilaa. Vedon tunteen välttämiseksi tuloilman lämpötilaa ei voida kuitenkaan laskea liian mata-laksi, eli tilaan puhallettavan ilman minimilämpötilalle on asetettava rajoitus. Tässä ta-pauksessa tuloilman lämpötilaa säätävä säätöohjelma ei voi avata säätöventtiiliä enem-pää, vaan palvelualueelle tuotavaa ilman määrää on kasvatettava lämpötilan pitämiseksi asetusarvossa. Näin tuloilmakoneen jäähdytyspatteriin tuleva ilmamäärä alkaa kasvaa,

joten sama jäähdytyspatterin läpi kulkeva vesivirta ei riitä enää jäähdyttämään kasvatutta tuloilmamäärää, joten jäähdytyspatterin läpi kulkevaa vesivirtaa on kasvatettava avaamalla patterin vesivirtaa säätävää säätöventtiiliä.

Toisaalta tällaisessa järjestelmässä, jossa tuloilman lämpötilan säätöä ei voida tehdä palvelualuekohtaisesti, pitää tuloilmakoneen jäähdytyspatterin jälkeisen tuloilman minimilämpötilaa rajoittaa ”kylmimmän” palvelualueen mukaisesti. Eli jos jonkin palvelualueen ilmamäärä on tilan alhaisen hiilidioksidipitoisuuden takia säädetty säätöohjelman toimesta pienimpään mahdolliseen arvoon, mutta palvelualueen ilman lämpötila tuloilmamäärän pienuudesta huolimatta on alkanut laskea alle asetellun asetusarvon. Tässä tapauksessa ainoa vaihtoehto tämän palvelualueen lämpötilan pitämiseksi asetusarvoon on nostaa tuloilmakoneen jäähdytyspatterin jälkeistä tuloilman lämpötilaa olettaen, että tilan lämmityslaitteita ei käytetä, jotta vältyttäisiin yhdenaikaiselta jäähdyttämiseltä ja lämmittämiseltä. Jos muilla palvelualueilla nyt samaan aikaan lämpö- tai hiilidioksidikuormat eivät ole muuttuneet, joudutaan näihin muihin palvelualueisiin johdettavan ilman määrää lisäämään nousseen tuloilman lämpötilan johdosta, jotta lämpötilat näillä palvelualueilla voidaan pitää asetusarvoissaan. Näin ollen palvelualueen hiilidioksidipitoisuuden ja lämpötilaan vaikuttavien säätöohjelmien tulee kummankin ottaa huomioon toisen säätöohjelman asettamat reunaehdot olosuhteiden hallintaan liittyen. Yksittäisen tuloilmakoneen vaikutusalueella olevien palvelualueiden olosuhdehallinnalla on siis suuri vaikutus ko. tuloilmakoneen jäähdytyspatterin ja säätöventtiilin läpi virtaavan jäähdytysveden massavirran tarpeeseen kunakin hetkenä. Kaikkia tuloilmakoneita palvelevassa jäähdytysvesiverkostossa tarvittava virtaama muuttuu siis myös jatkuvasti yksittäisten tuloilmakoneiden jäähdytysveden tarvitseman massavirtojen summan muuttuessa.

Yksi jäähdytysvesiverkoston massavirran tarpeeseen vaikuttava tekijä on verkostoon tuotettavan jäähdytysveden lämpötila. Jäähdytysenergian jakelujärjestelmän (putkisto) lämpöhäviöiden minimoimiseksi jäähdytysverkoston menoveden lämpötila olisi optimaalisinta pitää mahdollisimman lähellä palvelualueiden sisäilman lämpötilan asetusarvoa kuitenkin niin, että jokaisella tuloilmakoneella jäähdytyspatterin jälkeinen ilman lämpötila saadaan pidettyä asetusarvoissaan. Esimerkkirakennuksen tuloilmakoneita palvelevaa jäähdytysvesiverkostoa ajatellen voisi tämän ajatella toteutettavaksi esim. seuraavasti:

1. Oletetaan, että tuloilmakonekohtaiset säätö-ohjelmat huolehtivat siitä, että kunkin tuloilmakoneen jäähdytyspatterien jälkeinen ilman lämpötila pysyy vaikutusalueen tarpeiden mukaisena.

2. Jäähdytysvesiverkoston säädöstä vastaava säätöohjelma pyrkii pitämään verkostoon lähtevän menoveden lämpötilan niin korkealla, kuin mahdollista huomioiden sen, että yhdenkään verkoston palvelualueeseen kuuluvan jäähdytyspatterin säätöventtiili ei saa olla täysin auki, vaan sallituksi yksittäisen säätöventtiilin maksimiavautumaksi on aseteltu esimerkiksi 95 %:n avautuminen, jolloin voidaan olettaa, että jopa suurimman sen hetkisen lämpökuorman vaikutusalueella palvelevalla tuloilmakoneen jäähdytyspatterin säätöventtiilillä on vaikutusta ko. vaikutusalueen tuloilman lämpötilan säätöön. Jos jokin venttiileistä on avautunut yli 95 %, täytyy jäähdytysverkoston menoveden lämpötilaa laskea.

Kun jäähdytysverkoston menoveden lämpötilaa säädetään kulloinkin tarvittavan tilanteen mukaan, saadaan verkoston virtaama pidettyä mahdollisimman hyvin vakiona. Muutoksia massavirran tarpeeseen kuitenkin tuottaa kullakin hetkellä kunkin ilmanvaihtokoneen jäähdytyspatterin tehontarve. Tarpeenmukaisella menoveden lämpötilalla voidaan myös vaikuttaa jäähdytysenergiantuotannon hyötysuhteeseen. Jos kiinteistössä jäähdytysenergiaa tuotettaisiin kylmäkoneilla, on tuotettavan jäähdytysveden lämpötilavaatimuksella huomattava vaikutus kylmäkoneen kylmäkertoimeen ja sähköenergian kulutukseen.

Yhteenvedona voidaan arvioida, että jäähdytysvesiverkostossa kulloinkin tarvittu virtaama ja siten eri puolille verkostoa sijoitettuihin säätöventtiileihin kohdistuva paine voi vaihdella suurestikin kulloinkin vallitsevan jäähdytystehon tarpeen perusteella ja sen mukaan, mihin osiin verkostoa jäähdytystehon tarve on kulloinkin jakautunut.

## 5 Säästöventtiilien mitoitus- ja valintatyökalun laadinta

### 5.1 Yleisesittely

Säästöventtiilien mitoitukseen ja valintaan käytettävän työkalun kehitys ja ensimmäiset versiot on toteutettu Metropolia Ammattikorkeakoulun YAMK-opintoihin liittyvällä LVI-mallinnus ja -simulointi -kurssilla henkilökohtaisena harjoitustyönä. Työkalu toimii Microsoft Excel -käyttöympäristössä.

Käytännössä kaikki matemaattiset sekä loogiset tehtävät ohjelmassa on toteutettu Excelin omia valmisfunktioita ja laskentamenetelmiä käyttäen. Tietojen siirtelyyn, kokoamisen ja työkalun käytön helpottamiseksi apuna on käytetty myös Visual Basic for Applications -ohjelmointia (VBA).

Laskentatyökalu on jaettu käytön helpottamiseksi kolmeen erilliseen pääosioon. Jokainen osa koostuu yhdestä tai useammasta Excel-työkirjan laskentataulukkosivusta. Nämä pääosat ovat

- ohjeet
- laskentataulukot (liite 2)
- venttiililuettelo (liite 3).

Ohjeosiossa kerrotaan käyttäjälle, mihin ohjelmaa käytetään ja selvennetään käyttäjälle laskentaohjelman eri osioiden ja vaiheiden käyttöohjeet. Lisäksi tässä osiossa on kerrottu ohjelman rajoitteista.

Laskentataulukot -osio koostuu neljästä erillisestä säästöventtiilien mitoitukseen tarkoitusta laskentaohjelmasta jotka on jaettu työkirjaan omiksi laskentataulukkosivuiksi. Nämä laskentaohjelmat ovat

- kaukolämmön ensiöpiirin säästöventtiilien mitoitus (liite 2, s. 1)
- kaukojäähdytyksen ensiöpiirin säästöventtiilien mitoitus (liite 2, s. 2–3)
- kiinteistön toisioverkostojen säästöventtiilien mitoitus (liite 2, s. 4)
- säästöventtiilien vertailu (liite 2, s. 5–6).

Ohjesivun lisäksi niihin laskentaohjelman soluihin, joihin käyttäjä syöttää lähtötietoja, on annettu soluohjeet. Soluohjeiden tarkoitus on antaa käyttäjälle esimerkkejä ja selvittää

kuhunkin soluun syötettävää tietoa. Saatavilla olevan soluohjeen tunnistaa solun oikeassa yläkulmassa olevasta punaisesta kolmiosta. Soluohje aktivoituu, kun käyttäjä vie hiiren soluohjeen sisältävän solun päälle. Kuvissa 4 ja 5 on esitetty esimerkki käyttäjälle näytettävistä soluohjeista kaukolämpöventtiilien lukumäärään ja suurimpaan hyväksyttävään yksittäiseen säätöventtiiliin liittyen.

$\Delta p_{\text{muu}}$	0 kPa
$l_{\text{km}_{\text{vent}}}$	1 kpl.

Tässä valitaan säätöventtiilien lukumäärä. Jos yhden venttiilin ominaisuudet eivät riitä täyttämään mitoitusrajoituksia, käytetään kahta rinnakkaista säätöventtiiliä.

Tällöin pyritään valitsemaan venttiilit niin, että päästään lähelle seuraavaa tilannetta:  
**säätöventtiili 1,  $k_{vs} = n \cdot 2/3$**   
**säätöventtiili 2,  $k_{vs} = n \cdot 1/3$**

Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että säätöventtiili 2 valitaan seuraavaksi pienempi venttiili  $k_{vs}$ -arvoltaan säätöventtiiliin 1 verrattuna.

Kuva 4. Soluohje kaukolämpöventtiilien lukumäärästä.

$\Delta p_{\text{sv1}_{\text{max}}}$	55 kPa
$k_{\text{vs}_{\text{vent.max}}}$	6,3 $\text{m}^3/\text{h}$
$a_{\text{v}_{\text{min.}}}$	0,50 -

Tähän voidaan merkitä lämmönmyyjän vaatima suuremman  $k_{vs}$ -arvon omaavan säätöventtiilin suurin sallittu  $k_{vs}$ -arvo.

K1:n mukaan säätö tulisi toteuttaa kahdella säätöventtiilillä aina jos yhden säätöventtiilin ratkaisulla jouduttaisiin käyttämään säätöventtiiliä, jonka  $k_{vs}$ -arvo on suurempi kuin  $6,3 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Esim. Helenillä käyttövesisiirtimen säätöventtiilin suurin sallittu koko on  $k_{vs} = 6,3 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Kuva 5. Soluohje suurimmasta yhden säätöventtiiliin ratkaisusta kaukolämmityksessä.

## 5.2 Kaukolämmön ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus

Tässä osiossa esiteltävällä lasketataulukolla voidaan mitoittaa ja valita nimensä mukaisesti kaukolämmityksen ensiöpuolen säätöventtiilit. Laskenta perustuu Energiateollisuus ry:n julkaisuun *Rakennusten kaukolämmityksen yhtenäisiä laatuvaatimuksia ja suosituksia (K1/2013)*.

Käyttäjälle avautuvassa lasketataulukossa mitoituksen tekeminen aloitetaan lähtötietojen syöttämisellä *Lähtötiedot* -osioon. *Lähtötiedot* -osion aliosiossa *Virtaama ja lämpöteho* käyttäjää pyydetään ensin valitsemaan laskennan mitoitusperuste kohtaan *Laskennan peruste*. Laskenta voidaan tehdä joko mitoituslämpötehoon, tai mitoitusvirtaamaan

perustuen. Käyttäjä valitsee tämän pudotusvalikosta. Pudotusvalikko on toteutettu Excelin lomakkeenohjausobjektia käyttäen. Tämän jälkeen käyttäjä syöttää mitoittavan kaukolämmön meno- ja paluuveden lämpötilan sekä syöttää valintansa mukaan mitoittavan lämpötehon tai mitoitusvirtaaman *Laskennan peruste* -pudotusvalikon alla oleviin soluihin (solut  $T_{vm}$  ja  $T_{vp}$ ). *Virtaama ja lämpöteho* -aliosion tekstejä muutetaan ehtolauseella toteutetun funktion avulla käyttäjän valinnan mukaan kuvien 6 ja 7 mukaisesti. Myös myöhemmissä laskennoissa on toteutettu ehtolauseita käyttäjän tekemän *Laskennan peruste* -valinnan mukaan.

#### **Virtaama ja lämpöteho:**

Laskennan peruste (mitoittava lämmitysteho / mitoittava virtaama)

Mitoittava kaukolämmön menoveden lämpötila

Mitoittava kaukolämmön paluuveden lämpötila

Mitoittava kaukolämpösiirtimen tilavuusvesivirta (ensiö)

Laskenta perustuu tunnettuun virtaamaan	
$T_{vm}$	70,0 °C
$T_{vp}$	10,0 °C
qv	200,00 dm <sup>3</sup> /s

Kuva 6. Laskentataulukon näkymä, kun valittuna on laskenta perustuen tunnettuun virtaamaan.

#### **Virtaama ja lämpöteho:**

Laskennan peruste (mitoittava lämmitysteho / mitoittava virtaama)

Mitoittava kaukolämmön menoveden lämpötila

Mitoittava kaukolämmön paluuveden lämpötila

Mitoittava kaukolämpösiirtimen lämmitysteho

Laskenta perustuu tunnettuun tehoon	
$T_{vm}$	70,0 °C
$T_{vp}$	10,0 °C
$\Phi$	200,00 kW

Kuva 7. Laskentataulukon näkymä, kun valittuna on laskenta perustuen tunnettuun tehoon.

*Virtaama ja lämpöteho* -aliosion alapuolella olevissa soluissa on esitetty käyttäjän lähtötietojen perusteella lasketut kaukolämpöveden aineominaisuudet. Aineominaisuudet on laskettu perustuen kaukolämpöveden keskimääräiseen lämpötilaan. Kaukolämpöveden keskimääräinen lämpötila voidaan selvittää yhtälön 5 avulla.

$$T_{vkm} = \frac{(T_{vm} - T_{vp})}{2} + T_{vp} \quad (5)$$

$T_{vkm}$  on kaukolämpöveden keskimääräinen lämpötila, °C

$T_{vm}$  on kaukolämmön menoveden lämpötila, °C

$T_{vp}$  on kaukolämmön paluuveden lämpötila, °C.

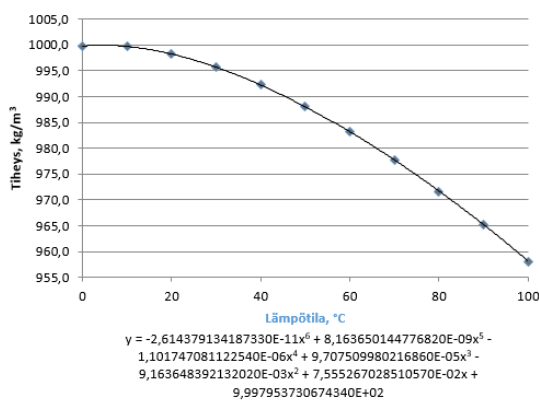
Kaukolämpöveden aineominaisuuksien selvittämiseksi on hyödynnetty tilaajayrityksessä käytössä olevan putkistomitoitukseen rakennetun taulukkolaskentaohjelman mallia. Kyseisessä mallissa on hyödynnetty veden aineominaisuuksiin liittyviä yleisesti käytettyjä taulukoita. Näissä taulukoissa veden aineominaisuuksia, kuten tiheyttä ja ominaislämpö-

kapasiteettiä on taulukoitu veden eri lämpötiloissa. Kuvassa 8 on esitetty tässä laskentaohjelmassa käytetyn aineominaisuuksien laskennan pohjalla oleva taulukkomuotoinen data.

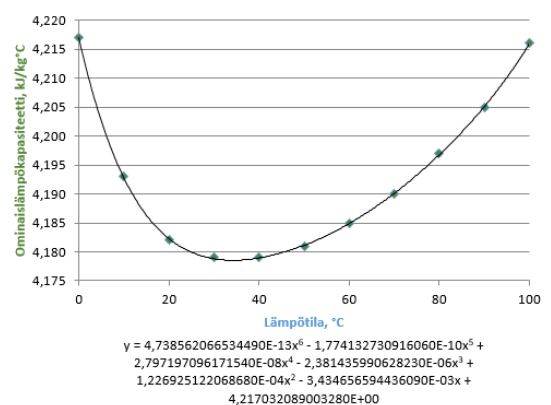
Veden lämpötila °C	Veden tiheys kg/m <sup>3</sup>	Veden ominaislämpö- kapasiteetti, kJ/kg °C
0	999,8	4,217
10	999,7	4,193
20	998,3	4,182
30	995,7	4,179
40	992,3	4,179
50	988,0	4,181
60	983,2	4,185
70	977,7	4,190
80	971,6	4,197
90	965,2	4,205
100	958,1	4,216

Kuva 8. Veden tiheyden ja ominaislämpökapasiteetin taulukkoarvoja.

Taulukkomuotoinen data on tuotu Exceliin ja datan pohjalta kustakin halutusta veden aineominaisuudesta on tehty kuvaaja veden lämpötilan funktiona. Tämän jälkeen on käytetty Excelin sisäänrakennettua ominaisuutta, jolla kuvaajaan voidaan sovittaa esim. polynomifunktio tunnettujen datapisteiden perusteella. Tämän jälkeen kukin tarvittu veden aineominaisuus voidaan selvittää yksinkertaisesti sijoittamalla haluttu lämpötila kyseiseen funktioon. Kuvissa 9 ja 10 on esitetty veden tiheyden sekä ominaislämpökapasiteetin taulukkoarvojen pohjalta luodut kuvaajat sekä Excelillä selvitettyt sovitettujen polynomien funktiot.



Kuva 9. Veden tiheys lämpötilan funktiona.



Kuva 10. Veden ominaislämpökapasiteetti lämpötilan funktiona.

Kun kaukolämpöveden tiheys ja ominaislämpökapasiteetti on laskettu, lasketaan käyttäjälle esitettäväksi välituloksiksi niille varattuihin soluihin (solut  $q_v$  ja  $\phi_v$ ) käyttäjän aiemmin

kohdassa *Laskennan peruste* tekemän valinnan mukaan kaukolämpöveden tilavuusvirta tai lämpöteho yhtälön 6 mukaisesti. Vastaavasti toisessa näistä kentistä esitetään suoraan käyttäjän lähtötietona antama arvo.

$$\phi_v = q_v \times c_{pv} \times \rho_v \times \Delta T_v$$

$$\rightarrow$$

$$q_v = \frac{\phi_v}{c_{pv} \times \rho_v \times \Delta T_v} \quad (6)$$

$\phi_v$  on kaukolämpöveden lämpöteho, W (J/s)

$q_v$  on kaukolämpöveden tilavuusvirta, m<sup>3</sup>/s

$c_{pv}$  on kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti kaukolämpöveden keskimääräisessä lämpötilassa, J/kgK

$\rho_v$  on kaukolämpöveden tiheys kaukolämpöveden keskimääräisessä lämpötilassa, kg/m<sup>3</sup>

$\Delta T_v$  on kaukolämmön meno- ja paluuveden lämpötilaero ( $T_{vm} - T_{vp}$ ), K.

Tässä kohdassa esitetään myös kaukolämpöveden massavirta. Kaukolämpöveden massavirtaa ei kuitenkaan venttiilimitoituksessa käytetä mihinkään, joten tämä tieto on esitetty vain lisätietona. Käyttäjälle esitettyissä välituloksissa tulokset on esitetty soveltuviin kerrannaisyksiköihin muunnettuna.

Seuraavassa aliosiossa (*Käytössä oleva paine ja venttiilien lukumäärä*) käyttäjä syöttää lähtötietoina laskennan kannalta keskeisimmät tiedot kaukolämmön ensiöputkistossa vallitsevasta painetasosta sekä ensiöputkiston ja siihen liittyvien laitteiden painehäviöistä. Kussakin kohteessa tiedon käytettävissä olevasta kaukolämpöverkon normaalista paine-erosta vaihtelurajoihin saa lämmönmyyjän edustajalta. Kaukolämmön sopimusehtojen mukainen vähimmäispaine-ero on 60 kPa. Käyttäjän on myös tiedettävä, missä kohtaa ensiöputkistoa lämmönmyyjän ilmoittama paine-ero on käytettävissä. Yleensä lämmönmyyjät ilmoittavat mittauskeskuksen jälkeisen paine-eron, joten tällaisessa tapauksessa säätöventtiilin mitoituksen kannalta mittauskeskusta edeltävän putkiosuuden painehäviöllä ei juurikaan ole merkitystä. Tähän mennessä laskettujen ja syötettyjen tietojen perusteella voidaan määrittää laskennallinen  $k_v$ -arvo yhtälön 7 mukaisesti. (5, s. 15.)

$$k_{v\_yht} = \frac{q_v \times 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{\sqrt{\Delta p_{ilm.min} - \Delta p_{lsiirrin} - \Delta p_{putki} - \Delta p_{muu} \times 0,1 \frac{\text{MPa}}{\text{kPa}}}} \quad (7)$$

$k_{v\_yht}$  on laskennallinen  $k_v$ -arvo, m<sup>3</sup>/h

$3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}$  on tilavuusvirran muuntokerroin

$\Delta p_{ilm.min}$  on lämmönmyyjän ilmoittama kaukolämpöverkon referenssipisteeseen käytettävissä oleva vähimmäispaine-ero, kPa

$\Delta p_{lsiirrin}$  on kaukolämpösiirtimen ensiöpiirin painehäviö, kPa

$\Delta p_{putki}$  on lämmönmyyjän referenssipisteeseen jälkeinen ensiöpiirin putkiston aiheuttama painehäviö, kPa

$\Delta p_{muu}$  on lämmönmyyjän referenssipisteeseen jälkeinen ensiöpiiriin kytkettyjen muiden komponenttien aiheuttama paine-ero, kPa

$0,1 \frac{\text{MPa}}{\text{kPa}}$  on paineen muuntokerroin.

*Mitoitusrajoitukset* -osiossa käyttäjä antaa mitoitukseen liittyvät reunaehdot. Näiden tietojen pohjalta myös mitoitusohjelmaan rakennettu virheentarkastustoiminto hakee raja-arvonsa. K1:ssä esitetyn suosituksen mukaisesti säätöventtiili tulisi kahdentaa, jos säädettävä teho vaihtelee laajalla alueella tai jos yhdellä säätöventtiilillä toteutettuna säätöventtiiliksi pitäisi valita venttiili, jonka  $k_{vs}$ -arvo on suurempi kuin 6,3 m<sup>3</sup>/h. Tässä kohdassa pudotusvalikkoon onkin oletusarvoisesti määritetty yksittäisen säätöventtiilin suurimmaksi  $k_{vs}$ -arvoksi 6,3 m<sup>3</sup>/h. Käyttäjälle kuitenkin annetaan mahdollisuus muuttaa tätä arvoa pudotusvalikon avulla, jotta esim. poikkeustapauksissa tämä mitoitusrajoitus voidaan jättää huomioimatta. Jos venttiilien lukumäärää pitää muuttaa, voidaan tämä tehdä pudotusvalikon avulla. Rajoituksena voidaan antaa myös venttiilin aiheuttama enimmäispainehäviö, jolloin virheentarkastuksessa saadaan ilmoitus liian suuresta painehäviöstä, jos mitoituslaitteessa säätöventtiili(e)n painehäviö ylittää tämän arvon.

Säädön minimivaikutusaste on myös määritetty tässä osiossa. Oletuksena tähän on annettu K1:n mukainen ohjearvo 0,5. Poikkeustapauksissa tehtäviä mitoituksia varten on myös tässä kohdassa jätetty käyttäjälle mahdollisuus muuttaa raja-arvoa. Osion päätteeksi käyttäjälle on varattu mahdollisuus merkitä mitoitusrajoituksiin liittyviä lisäselvityksiä. (5, s. 15.)

Annettujen lähtötietojen ja mitoitusrajoitusten perusteella *Säätöventtiilien mitoitus* -osiossa suoritetaan varsinainen säätöventtiilien valinta. Valinta tehdään käyttäjältä näkyvässä olevaan laskentataulukon tuodun taulukkomuotoisen venttiililuettelon perusteella. Taulukkoon on pyritty tuomaan mahdollisimman laaja skaala eri  $k_{vs}$ -arvoilla

varustettuja säätöventtiileitä. Säätöventtiilien  $k_{vS}$ -arvot kasvavat geometrisena jonona, jossa jokainen arvo on n. 60 % edeltäjänsä suurempi. Sarjaa kutsutaan myös Reynard-sarjaksi. Venttiililuettelon pohjalta on myös tehty luettelo, joka sisältää venttiililuettelossa esiintyvät uniikit  $k_{vS}$ -arvot. Luettelo on laadittu, koska laskentaohjelmassa on venttiilejä, jotka eroavat DN-kooltaan, mutta ovat samaa  $k_{vS}$ -arvoa. (13, s. 42.)

Säätöventtiilin valinta tehdään käyttäjän aiemman valinnan mukaan joko yhdelle tai kahdelle säätöventtiilille. Laskennan yksinkertaistamiseksi kahden säätöventtiilin mitoituksessa on poikettu K1:n laskentaohjeesta. Kahden säätöventtiilin mitoitus tehdään laskentaohjelmassa seuraavin oletuksin:

- molemmat venttiilit mitoitetaan normaalille kaukolämpöverkoston käyttöpaineerolle
- mitoitusvirtaama jakautuu säätöventtiileiden kesken niiden  $k_{vS}$ -arvojen suhteessa.

Jos lämmönmyyjän ilmoittamassa käyttöpaine-erossa on suuria vaihteluja, on käyttäjän hyvä tarkastaa mitoitus vaihtelurajan mukaisilla vähimmäis- ja enimmäispaine-eroilla. K1:n ohjeen mukaan säädön jakautuessa kahdelle säätöventtiilille tulisi venttiilien  $k_{vS}$ -arvot valita niin, että ensin avautuvan venttiilin virtaama olisi n. 1/3 kokonaisvirtaamasta. Reynard-sarjan mukaisesti tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että venttiilit ovat peräkkäistä kokoa. Kummankin säätöventtiilivalinnan yhteydessä on esitetty kyseisellä säätöventtiiliyhdistelmällä toteutuvat säätöventtiilikohtaiset osuudet kokonaisvirtaamasta. Osuudet virtaamasta on määritetty yhtälön 8 mukaisesti.

$$k_{vS\_svx\%} = \frac{k_{vS\_svx}}{k_{vS\_sv1} + k_{vS\_sv2}} \times 100\% \quad (8)$$

$k_{vS\_svx\%}$  on säätöventtiilin 1 ja 2  $k_{vS}$ -arvon prosentuaalinen osuus säätöventtiilien yhteenlasketuista  $k_{vS}$ -arvoista

$k_{vS\_svx}$  on säätöventtiilin 1 tai 2  $k_{vS}$ -arvo, m<sup>3</sup>/h

$k_{vS\_sv1}$  on säätöventtiilin 1  $k_{vS}$ -arvo, m<sup>3</sup>/h

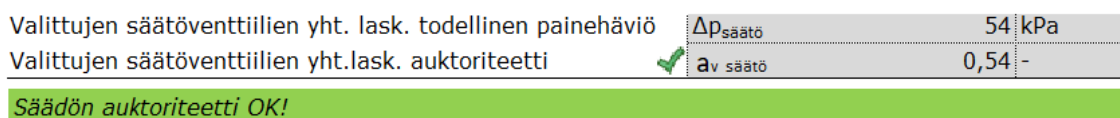
$k_{vS\_sv2}$  on säätöventtiilin 2  $k_{vS}$ -arvo, m<sup>3</sup>/h.

Edellä mainitun mukaisesti kahden säätöventtiilin mitoituksessa esitetty prosenttiosuus pitäisi siis saada asettumaan venttiilien kesken suhteessa 1/3 ja 2/3.

Käyttäjälle esitetään myös ehdotus säätöventtiilille valittavan venttiilin  $k_{vS}$ -arvosta. Tämän tarkoituksena on ohjata käyttäjää lähemmäs oikeaa kokoluokkaa venttiilin valinnassa. Kahden säätöventtiilin mitoituksessa ehdotetut säätöventtiilien  $k_{vS}$ -arvot määritetään yksinkertaisesti laskemalla venttiilikohtaiset laskennalliset  $k_v$ -arvot yhtälöä 7 soveltaen huomioimalla virtaamassa yhtälön 8 avulla lasketut venttiilikohtaiset virtaamaosuudet. Excelin valmisfunktioita hyväksikäyttäen voidaan nyt uniikkien  $k_{vS}$ -lukujen taulukosta valita ehdotettavaksi laskennallista  $k_v$ -arvoa lähinnä oleva suurempi  $k_{vS}$ -arvo. Käyttäjän valintaa ohjaa venttiilivalinnan aikana laskentaohjelman virheetarkastustoiminto, joka vertaa valitun venttiilin arvoja määritettyihin mitoitusrajoituksiin ja käytettävissä olevaan paineeseen. Kuvissa 11 ja 12 on esimerkkejä käyttäjälle näytettävistä viesteistä.



Kuva 11. Merkintä ja ilmoitus liian suuresta yhdellä säätöventtiilillä toteutetusta valinnasta.



Kuva 12. Merkintä ja ilmoitus onnistuneesta valinnasta säädön auktoriteetin kannalta.

Onnistuneen mitoituksen päätteeksi painamalla *Lisää venttiililuettelo* -napista alkaa valittujen venttiilien siirto venttiililuetteloon. Venttiililuettelosta ja sen toiminnoista on kerrotta myöhemmin tässä opinnäytetyössä.

### 5.3 Kaukojäähdytyksen ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus

Kaukojäähdytyksen ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus -laskentataulukolla mitoitetaan kaukojäähdytyksen ensiöpiirin säätöventtiilit. Laskennassa sovelletaan Energiateollisuus ry:n julkaisua *Rakennusten kaukojäähdytyksen yhtenäiset laatuvaatimukset ja suositukset (J1/2014)*. Laskentataulukon tuloste on liitetty tähän opinnäytetyöhön (liite 2, s. 3–4).

Useimmat toiminnot tässä laskentataulukossa on toteutettu vastaavalla tavalla, kuten *Kaukolämmityksen ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus* -laskentataulukossa. Ensimmäisessä aliosiossa (*Virtaama ja jäähdytysteho*) käyttäjä syöttää lähtötietoina kaukojäähdytyksen ensiöpiirin mitoittavan tehon tai mitoittavan vesivirran sekä meno- ja paluuveden lämpötilat. Mitoitustehoa ja -vesivirtaa syötettäessä on huomioitava, että säätöventtiilien mitoituksessa ei saa ottaa mukaan tehovarauksia, vaan kaukojäähdytyksen ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus tehdään sopimusvesivirran mukaan. Lämmönsiirtimissä sekä ensiö- ja toisiopuolen putkistoissa voidaan varautua väljemmin tehdyn mitoituksen avulla myöhemmin käyttöön otettavaan tehovaraukseen. (15, s. 11.)

*Virtaama ja jäähdytysteho* -kohdan alapuolella esitetyt välitulokset on laskettu kuten kaukolämmön mitoitustaulukossa. *Käytössä oleva paine ja venttiilien lukumäärä* -kohdassa käyttäjä määrittää käytettävissä olevan paine-eron sekä paine-eron referenssipisteen jälkeisen putkiston sekä siihen liitettyjen laitteiden painehäviöt. Kuten kaukolämmityksessä, lämmönmyyjä on velvollinen ilmoittamaan käytettävissä olevan normaalin paine-eron vaihtelurajoihin (15, s. 11). Tavanomaisesti lämmönmyyjien ilmoittaman käytettävissä olevan paine-eron referenssipiste on kaukojäähdytyksen mittauskeskuksen jälkeen käytettävissä oleva paine-ero.

Syöttötietojen alapuolella tässä kohdassa esitetään säätöventtiilien mitoittava paine-ero sekä mitoittava  $k_v$ -arvo. Laskenta on tehty vastaavia yhtälöitä käyttäen kuin kaukolämmön säätöventtiilien mitoitustaulukossa. Samaan osioon on merkitty myös käyttäjän antamien lähtötietojen perusteella määritetty jäähdytyslaitteiston kokonaisteholuokka sekä kokonaisteholuokan mukaan määritetty säätöventtiilien lukumäärä. J1:n ohjeistuksen mukaan alle 100 kW laitteistoissa ja asuinrakennuksissa voidaan käyttää yhtä säätöventtiiliä, mutta muutoin käytetään useampaa rinnakkain kytkettyä säätöventtiiliä hyvän

säätötuloksen varmistamiseksi. Teholuokan ja säätöventtiilien lukumäärän määrittämiseksi laskennassa käytetään J1:n ohjeistusta taulukon 2 mukaisesti. (15, s. 14.)

Taulukko 2. Virtaamien jakaminen usealle säätöventtiilille jäähdytystehon mukaan.

Teho	Säätöventtiilien lkm	Suhteelliset virtaamat (lasketaan kokonaisvirtaamasta)			
		TV 1	TV 2	TV 3	TV 4
alle 100 kW	1	1	-	-	-
100...150 kW	2	1/4	3/4	-	-
150...300 kW	2	1/3	2/3	-	-
300...2000 kW	3	1/6	2/6	3/6	-
yli 2000 kW	4	1/8	2/8	2/8	3/8

*Mitoitusrajoitukset* -kohdassa *Kaukolämmityksen ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus* -laskentataulukkoon verraten käyttäjä merkitsee vain säädön vähimmäisauktoriteetin. J1:n ohjeistuksen mukaan säädön auktoriteetin tulee olla suurempi kuin 0,33. *Säätöventtiilien mitoitus* -kohdassa säätöventtiilien valinta sekä valittujen säätöventtiilien siirto venttiililuetteloon tehdään kuten *Kaukolämmityksen ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus* -laskentataulukossa. (15, s. 11.)

#### 5.4 Kiinteistön toisioverkostojen säätöventtiilien mitoitus

Tällä taulukolla voidaan mitoittaa kiinteistön toisioverkostojen 2- ja 3-tiesäätöventtiilit säätöpiireihin. Esimerkiksi ilmanvaihdon lämmitys-, jäähdytys ja lämmöntalteenottopatterit sekä lämmitys- ja jäähdytysverkostojen shunttaukset. Mitoituksessa sovelletaan LVI-kortin LVI-12-10126 mitoitusohjetta. Tämä taulukko on rakennettu käyttöliittymän ja toiminnan kannalta kuten kaukolämmön ja -jäähdytyksen säätöventtiilien mitoitukseen tarkoitetut laskentataulukot. Laskenta voidaan tehdä käyttäjän valintaan perustuen joko tunnetun lämpötehon tai virtaaman perusteella.

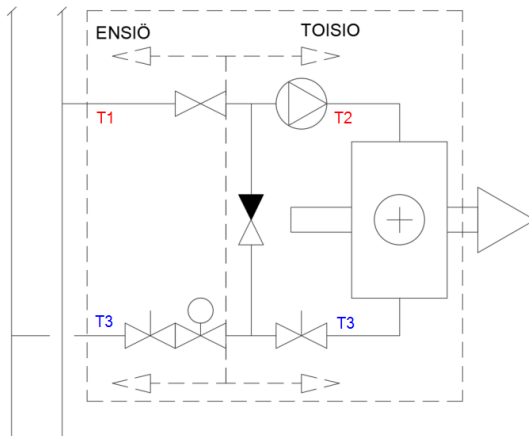
Kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen laskennoista poiketen tässä laskentataulukossa voidaan lämmönsiirtonesteeksi määrittää pelkän veden lisäksi vesi-jäänestoaine-liuos sekä jäänestoaineen pitoisuus liuoksessa massaprosenteissa ilmoitettuna. Laskentaohjelman tukemat jäänestoaineet ja niiden kemialliset kaavat on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Jäänestoaineet, joita voidaan käyttää laskennassa.

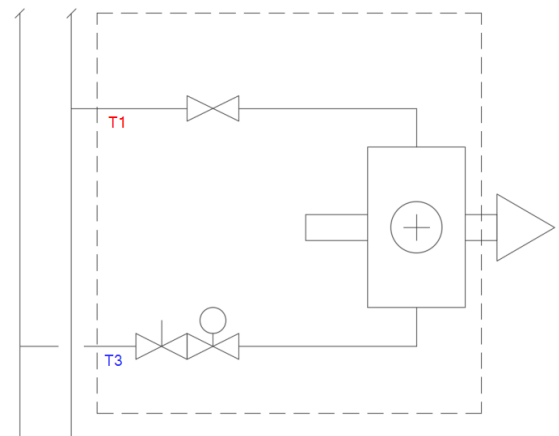
Lisäaine	Kemiallinen kaava
Etyylialkoholi	$C_2H_5OH + H_2O$
Antifrogen KF	$HCOOK + H_2O$
Freezium	$HCOOK + H_2O$
Etyleeniglykoli	$C_2H_4(OH)_2 + H_2O$
Propyleeniglykoli	$C_3H_6(OH)_2 + H_2O$
Hycool	$HCOOK + H_2O$
Kalsiumkloridi	$CaCl_2 + H_2O$
Pekasol 50	$(HCOOK + CH_3COOK) + H_2O$
Aspen Temper	$(HCOOK + CH_3COOK) + H_2O$
Tyfoxit F	$HCOOK + H_2O$
Thermera	$(CH_3)_3NCH_2COO + H_2O$
Tyfoxit S	$CH_3COOK + H_2O$

Laskentataulukossa lisäaineella seostetun lämmönsiirtonesteen aineominaisuuksien selvittämiseksi eri lisäainepitoisuuksilla on hyödynnetty jo aiemmin tässä opinnäytetyössä mainittua tilaajarytymän käytössä olevan putkimitoitukseen tarkoitetun taulukko-laskentatyökalun laskentamallia. Eri lisäaineiden tunnettuja aineominaisuuksia on taulukoitu liuoksen eri lämpötiloissa ja lisä-ainepitoisuuksilla. Nämä tiedot ovat saatavilla esimerkiksi jäänestoaineiden tuotekorteista. Taulukoitu data on tuotu Exceliin taulukkomuotoisena ja tämän jälkeen taulukoihin on sovitettu polynomifunktio, jonka yhtälö on ratkaistu Exceliä hyödyntäen.

*Virtaama ja teho* -kohdassa käyttäjä antaa säätöpiiriin saapuvan ( $T_1$ ) sekä säätöpiiristä poistuvan ( $T_3$ ) liuoksen lämpötilan. Jos säätöpiirissä olevaa lämmönsiirrintä säädetään sekoitussäädöllä eli shunттаamalla, on käyttäjän huomioitava, ettei lämmönsiirrintä ole välttämättä mitoitettu verkoston mitoitustemperatuureille, vaan lämmönsiirtimeen saapuvan liuoksen mitoitustemperatura ( $T_2$ ) on usein matalampi kuin verkoston menoliuoksen mitoitustemperatura ( $T_1$ ). Kuvissa 13 ja 14 on esitetty lämmönsiirtimeen mitoitustemperatilat sekoitus- ja virtaamasäädöllä toteutetuissa säätöpiireissä. *Virtaama ja teho* -osion päätteeksi on esitetty käyttäjän tietojen perusteella lasketut aineominaisuudet välituloksina.



Kuva 13. Liuoksen lämpötilat eri kohdissa säätöpiiriä (sekoitussäätö).



Kuva 14. Liuoksen lämpötilat eri kohdissa säätöpiiriä (virtaamasäätö).

*Käytössä oleva paine ja mitoitusrajoitukset* -osiossa käyttäjä antaa ensin sivulla 17 yhtälössä 2 määritetyn  $\Delta p_{v100}$  -painehäviön, joka vastaa siis verkoston painehäviötä siinä verkoston osassa, jossa säätöventtiili säätää vesivirtaa. Kaukolämmön ja -jäähdytyksen mitoitusaulukoihin verrattuna tämä paine-ero vastaa 2-tiesäätöventtiilejä ajatellen käytössä olevaa paine-eroa.

*Käytössä oleva paine ja mitoitusrajoitukset* -kohdassa käyttäjä merkitsee säätöventtiin pienimmän sallitun vaikutusasteen. Toisin kuin kaukolämpö ja -jäähdytysventtiilien valinnassa säädön vähimmäisauktoriteettia ei ole sidottu velvoittavaan ohjeistukseen, vaan suunnittelijan pitäisi pystyä valitsemaan venttiili niin, että valitulla säätöventtiilillä saavutetaan hyvä säätötulos aiheuttamatta liian suurta painehäviötä verkostoon. Soluohjeessa on ohjeistettu käyttäjää pienimmän sallitun vaikutusasteen valitsemisesta. Soluohjeessa käyttäjää neuvotaan valitsemaan pienimmäksi sallituksi vaikutusasteeksi lineaarisen ominaiskäyrän omaaville venttiileille 0,5 ja tasaprosenttisen ominaiskäyrän omaaville venttiileille 0,3. Sellaisissa säätöpiireissä, joissa tehontarve vaihtelee suhteellisesti paljon ja muutokset tehon tarpeessa ovat nopeita, on venttiilivalinta pyrittävä myös tasaprosenttisen ominaiskäyrän omaavien venttiilien kohdalla tekemään niin, että auktoriteetiksi tulee vähintään 0,5. Tällaisia säätöpiirejä ovat esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen liittyvät säätöpiirit. Säädön auktoriteetin tarkempaan määrittämiseen palataan myöhemmin tässä opinnäytetyössä.

*Säätöventtiilin mitoitus* -osiossa säätöventtiili valitaan kuten kaukolämmityksen ja -jäähdytyksen laskentataulukoissa. Poikkeuksena kuitenkin se, että usean säätöventtiilin rinnakkainen valinta ei ole mahdollista. Liian tiukkojen mitoitusarvojen tekemistä on pyritty estämään näyttämällä käyttäjälle ilmoitus, jos säätöventtiilin ja  $\Delta p_{v100}$  -painehäviöt yhteenlaskettuna ylittävät 100 kPa. Ilmoituksessa käyttäjää kehoitetaan tarkastamaan  $\Delta p_{v100}$  -verkosto-osan putkistomitoitus. Säätöventtiilin lisääminen venttiililuetteloon tapahtuu painamalla *Lisää venttiililuetteloon* -painikkeesta.

## 5.5 Säätöventtiilien ominaisuuksien vertailu

Tässä osiossa esiteltävän laskentataulukon tarkoituksena on mahdollistaa käyttäjälle muidenkin säätöventtiilin ominaisuuksien vertailun kuin pelkästään painehäviön ja auktoriteetin vaikutus säätöpiiriin. Tällä taulukolla käyttäjä voi visualisoida ja mallintaa yksittäisen lämmönsiirtimen tehollisen säätöominaiskäyrän samaan aikaan usealla eri säätöventtiilivaihtoehdolla sekä vertailla säätöventtiilien soveltuvuutta kyseisen lämmönsiirtimen säädössä.

Tarkasteltava säätöprosessi on ilmanvaihdon lämmityspatterin säätö muuttuvavirtaisessa tai sekoitussäädössä. Laskennasta tuloksina saatavia taulukoituja arvoja ja säätöominaiskäyriä analysoimalla käyttäjä voi vertailla eri säätöventtiilien vaikutusta lämmönluovuttimen pienimpään säädettävissä olevaan tehoon sekä säätöventtiilin karan liikkeen vaikutusta lämmönsiirtimen tehoon.

Laskenta antaa käyttäjälle tuloksena eri säätöventtiilivaihtoehtojen mukaisen säädön auktoriteetin, painehäviön sekä painehäviön vaikutuksen kiertopumpun suhteelliseen sähköenergian kulutukseen. Näitä tuloksia käyttäjä voi hyödyntää *Kiinteistön toisiverkostojen säätöventtiilien mitoitus* -taulukossa säätöventtiilin valinnassa. Laskenta perustuu LVI-kortin LVI-12-10126 mitoitusohjeeseen sekä Metropolia Ammattikorkeakoulun YAMK-opintoihin liittyvällä LVI-mallinnus ja -simulointi -kurssilla tehtyyn harjoitustehtävään (16).

Laskentataulukon täyttäminen alkaa osiosta *Lähtötiedot*, jossa käyttäjä syöttää ensimmäisenä lämmönsiirtimen (lämmönluovutin) jälkeisen ilman tilavuusvirran sekä lämmönsiirtimeen saapuvan ja siitä poistuvan ilman lämpötilat. Tilavuusvirta on mielekkäintä antaa patterista poistuvan ilman lämpötilassa, koska tämä tieto suunnittelijalla on suoraan

käytettävissä ilmanvaihtolaskelmien perusteella. Tilavuusvirran kannalta on merkittävää tietää, missä lämpötilassa se annetaan. + 18 °C:ssa ilman tiheys on n. 1,196 kg/m<sup>3</sup>, kun taas - 26 °C:ssä ilman tiheys on n. 1,410 kg/m<sup>3</sup>. Ilma siis laajenee lämmitessään huomattavasti, ja tästä syystä myös tilavuusvirta kasvaa lämmityspatterissa tapahtuvan lämpötilan nousun vaikutuksesta n. 17 %. Laskennassa oletetaan ilman massavirran pysyvän vakiona, joten laskenta tehdään massavirtaa käyttäen. Ilman tilavuusvirta voidaan muuttaa massavirraksi, kun tunnetaan ilman tiheys samassa lämpötilassa missä ilman tilavuusvirta tunnetaan. Laskentaohjelmassa ilman tiheyden selvittämiseksi käytetään samaa menetelmää, kuin aiemmin esitellyissä laskentataulukoissa on käytetty nesteiden aineominaisuuksien selvittämiseen. Ilman massavirta saadaan nyt selville yhtälön 9 avulla.

$$q_{mi} = q_{vi} \times \rho_i \quad (9)$$

$q_{mi}$  on ilman massavirta, kg/s

$q_{vi}$  on ilman tilavuusvirta tunnetussa lämpötilassa, m<sup>3</sup>/s

$\rho_i$  on ilman tiheys tilavuusvirran lämpötilassa, kg/m<sup>3</sup>.

Seuraavaksi käyttäjä syöttää lämmönsiirtimen nestepuolen mitoitus tiedot. Mitoitus voidaan tehdä lämmönsiirtimen sekoitussäätöön tai virtaaman säätöön perustuen. Sivulla 12 esitetyssä kaaviossa 1 on esitetty esimerkkejä sekoitussäädöstä toteutettuna 2- ja 3-tieventtiileillä. Sivulla 18 kaavion 5 vasemmassa reunassa olevissa kytkennöissä lämmönluovuttimen säätö on toteutettu virtaamaa säätämällä.

Lämmönsiirtonesteenä laskennassa voidaan käyttää vettä tai vesi-jäänestoliuosta. Käyttäjä antaa tässä osiossa myös lämmönsiirtonesteen mitoituslämpötilat. Sekoitussäädössä laskentaohjelmaan annetaan erikseen verkoston ja lämmönsiirtimen menoliuoksien mitoituslämpötilat. Virtaamasäädössä 100 % lämmönsiirtimeen saapuvasta liuoksesta tulee suoraan verkoston menojohdosta. Sekoitussäädössä taas osa lämmönsiirtimeen saapuvasta liuoksesta on lämmönsiirtimen paluupuolelta sekoitettua viileämpää liuosta.

Lämmönsiirtimen nestepuolen mitoitus tieto -osion päätteeksi on esitetty välituloksia. Ensimmäiseksi tässä kohdassa esitetään laskettu lämpötehon tarve, joka on määritetty lämmönsiirtimen ilmapuolen halutun lämpötilan nousun ja ilman massavirran perusteella yhtälön 10 mukaisesti.

$$\phi_i = q_{mi} \times c_{pi} \times \Delta T_i \quad (10)$$

$\phi_i$  on ilman lämmittämiseen tarvittava teho, kW  
 $c_{pi}$  on ilman ominaislämpökapasiteetti vakiopaineessa, kJ/kgK  
 $\Delta T_i$  on ilman lämpötilan muutos ( $T_{isp} - T_{iu}$ ), °C  
 $T_{isp}$  on ilman loppulämpötila, °C  
 $T_{iu}$  on ilman alkulämpötila, °C.

Välituloksissa lämmönsiirtonesteen aineominaisuudet selvitetään lämmönsiirtonesteen keskimääräisessä lämpötilassa samalla tavalla, kuin ne on selvitetty aiemmin esitellyissä laskentataulukkoissa. Kun lämmönsiirtonesteen aineominaisuudet tunnetaan, voidaan säätöventtiilin virtaama mitoitustilanteessa määrittää sivulla 29 esitetyn yhtälön 6 avulla.

*Säätöpiirin painehäviö* -osioon käyttäjä merkitsee sivulla 17 yhtälössä 2 määritetyn  $\Delta p_{v100}$ -painehäviön kuten kiinteistön toisioverkostojen säätöventtiilien mitoitukseen tarkoitettussa laskentataulukossa. Osion lopussa on myös esitetty välituloksena säädön laskennallinen  $k_v$ -arvo.

*Venttiilien vertailu* -osiossa käyttäjä antaa vielä vertailussa käytettävät tiedot. Vertailua varten käyttäjä määrittää vertailun lähtökohtana olevan säätöventtiilin  $k_{vs}$ -arvon. Lisäksi käyttäjä määrittää vertailuventtiilillä tavoiteltavan säädön vaikutusasteen eli auktoriteetin sekä venttiilin säätösuhteen. Laskenta toimii tässä samoin kuin kiinteistön toisioverkostojen säätöventtiilien mitoitustaulukossa. Käyttäjä muuttaa  $k_{vs}$ -arvo -valintaansa niin, että säätöventtiilillä saavutetaan määritetty vähimmäisauktoiteetti.

Laskennan yhtenä lopputuloksena halutaan esittää eri säätöventtiileillä saavutettava säätötulos säätöventtiilin karan asennon ollessa 0–100 %. Ensimmäiseksi käyttäjän lähtötietojen perusteella täytyy laskea lämmönsiirtimen tehokerroin, joka kuvaa lämmönsiirtimen perusominaiskäyrän muotoa. Laskentaohjelmassa tehokerroin lasketaan yhtälöä 11 käyttäen (9, s. 3).

$$a = \frac{M}{1-M} \left( \frac{\phi_{100}}{\phi} \right) \quad (11)$$

$a$  on lämmönsiirtimen tehokerroin  
 $M$  on sekoitussuhde yhtälön 12 mukaisesti  
 $\phi_{100}$  on lämpöteho venttiilin ollessa täysin auki, kW  
 $\phi$  on lämpöteho, kW.

$$M = \frac{q_{mvp}}{q_{mv100}} \quad (12)$$

$M$  on sekoitussuhde

$q_{mvp}$  on lämmitysverkostosta otettu vesivirta, dm<sup>3</sup>/s

$q_{mv100}$  on vesivirta lämmönsiirtimen läpi säätöventtiilin ollessa täysin auki, dm<sup>3</sup>/s.

Edellä mainittuja kaavoja voidaan käyttää sellaisenaan silloin kun lämmityspatterin säätö on toteutettu sekoitussäätönä. Jos säätö on toteutettu virtaamasäädöllä, voidaan tehokerroin määrittää melko hyvällä tarkkuudella kertomalla  $a$  vakioarvolla  $b_1$ .  $b_1$  -vakio määritetään sekoitussuhteen perusteella. Jos sekoitussuhde on suurempaa kuin 0,1, käytetään vakiolle arvoa  $b_1 = 0,7$ . Jos taas sekoitussuhde on pienempää kuin 0,1, käytetään vakiolle arvoa  $0,7 < b_1 < 1,0$ . Laskentataulukossa sekoitussuhteen ollessa alle 0,1 käytetään  $b_1$  -vakiolle aina arvoa 0,85. (9, s. 4.)

Seuraavaksi laskentataulukossa lasketaan käyttäjän valitsemaalle vertailtavalle säätöventtiilille auktoriteetti ja toteutuva säätöventtiilin tuottama painehäviö. Lisäksi samat arvot lasketaan vertailtavasta säätöventtiilistä kahdelle suuremman ja kahdelle pienemmän  $k_{vs}$ -arvon omaavalle venttiilille. Laskenta tehdään opinnäytetyössä aiemmin esiteltyjen yhtälöitä ja menetelmiä hyödyntäen. Kun edellä mainitut arvot on selvitetty, voidaan yhtälön 13 mukaisesti jokaiselle säätöventtiilivaihtoehdolle laskea, kuinka pienissä tehoportaissa kyseinen säätöventtiili kykenee säätämään lämmönsiirtimen tehoa. Mitä pienemmän tehoportaan säätöön säätöventtiili pystyy, sitä tarkempi säätö saadaan toteutettua. (16.)

$$\frac{\phi_{min}}{\phi_{100}} = \frac{1}{1+a[\sqrt{a_v(S^2-1)+1}-1]} \quad (13)$$

$\phi_{min}$  on lämmönsiirtimen pienin säädettävissä oleva tehoporras ko. säätöventtiilillä, kW

$\phi_{100}$  on lämmönsiirtimen teho, kun säätöventtiili on täysin auki, kW

$a$  on lämmönsiirtimen tehokerroin

$a_v$  on säätöventtiilin vaikutusaste

$S$  on säätöventtiilin säätösuhde.

Laskentaohjelmassa esitetään myös visuaalisesti lämmönsiirtimen luovuttama teho säätöventtiilin säätöosan asennosta riippuen. Ideaalisessa tilanteessa säätöventtiilin säätöosan asennon muutos olisi lineaarinen lämmönsiirtimen tehon muutoksen kanssa. Toisin sanoen säätöventtiilin säätöosan asennon muutos 10 % vaikuttaa lämmönsiirtimen tehoon 10 %.

Laskentaohjelmassa lämmönsiirtimen tehon visualisointi on toteutettu laskemalla taulukkomuotoon 10 yksikön siirtymin kullakin vertailtavalla säätöventtiilillä säätöventtiilin  $k_v$ -arvo, suhteellinen virtaama sekä suhteellinen teho. Ensimmäisenä on laskettu säätöventtiilin  $k_v$ -arvo lineaarisella ominaiskäyrällä yhtälön 14 mukaisesti sekä saman venttiilin  $k_v$ -arvo tasaprozenttisella ominaiskäyrällä yhtälön 15 mukaan. Kun  $k_v$ -arvo on laskettu, voidaan laskea virtaaman suhteellinen osuus ko. toimintapisteessä yhtälön 16 mukaisesti ja edelleen suhteellinen teho hyödyntäen yhtälöä 17. (16.)

$$k_{v1} = \frac{H_1}{H_{100}} \times k_{vS} \quad (14)$$

$$k_{v1} = k_{vS} \left(\frac{1}{S}\right)^{\left(1 - \frac{H_1}{H_{100}}\right)} \quad (15)$$

$k_{v1}$  on säätöventtiilin laskennallinen  $k_v$ -arvo toimintapisteessä, m<sup>3</sup>/h  
 $H_1$  on säätöventtiilin karan asento toimintapisteessä laskennallinen  $k_v$ -arvo toimintapisteessä

$H_{100}$  on säätöventtiilin karan asento kun se on täysin auki  
 $k_{vS}$  on vertailtavan säätöventtiilin  $k_{vS}$ -arvo, m<sup>3</sup>/h.

$$\frac{q_{v1}}{q_{v100}} = \frac{1}{\sqrt{a_v \left(\frac{k_{vS}^2}{k_{v1}^2} - 1\right) + 1}} \quad (16)$$

$q_{v1}$  on lämmönsiirtimen läpi kulkeva tilavuusvirta tarkastelupisteessä, m<sup>3</sup>/h

$q_{v100}$  on virtaama lämmönsiirtimen läpi, kun säätöventtiili on täysin auki, m<sup>3</sup>/h.

$$\frac{\phi_1}{\phi_{100}} = \frac{1}{1 + a \frac{1 - \frac{q_{v1}}{q_{v100}}}{\frac{q_{v1}}{q_{v100}}}} \quad (17)$$

$\phi_1$  on lämmönsiirtimen luovuttama teho tarkastelupisteessä, W

$\phi_{100}$  on lämmönsiirtimen luovuttama teho, kun säätöventtiili on täysin auki, W.

Taulukossa 4 on esitetty käyttäjälle näytettävä taulukkomuotoinen vertailu säätöventtiileistä. Esimerkissä on kyseessä tilanne, jossa 1 kg/s massavirta ilmaa (vastaa + 18 °C:ssä tilavuusvirtaa 836 dm<sup>3</sup>/s) lämmitetään sekoitussäätöisessä lämmityspatterissa - 26 °C:sta + 18 °C:een. Lämmönsiirtonesteena käytetään vettä. Lämmitysverkoston menoveden lämpötila mitoitustilanteessa on + 60 °C. Patterin liuospuolen menoveden mitoituslämpötila on + 50 °C. Patterista palaavan veden lämpötila on mitoitustilanteessa + 30 °C. Paine-ero putkiston siinä osassa, jossa vesivirtaa säädetään on 30 kPa ja kaikkien vertailtavien säätöventtiilien säätösuhde on 50:1. Vertailuun käytetään säätöventtiilin  $k_{vs}$ -arvoa 2,5, jolla vaikutusasteeksi saadaan 0,46.

Taulukko 4. Käyttäjälle esitettävä taulukkomuotoinen säätöventtiilivertailua.

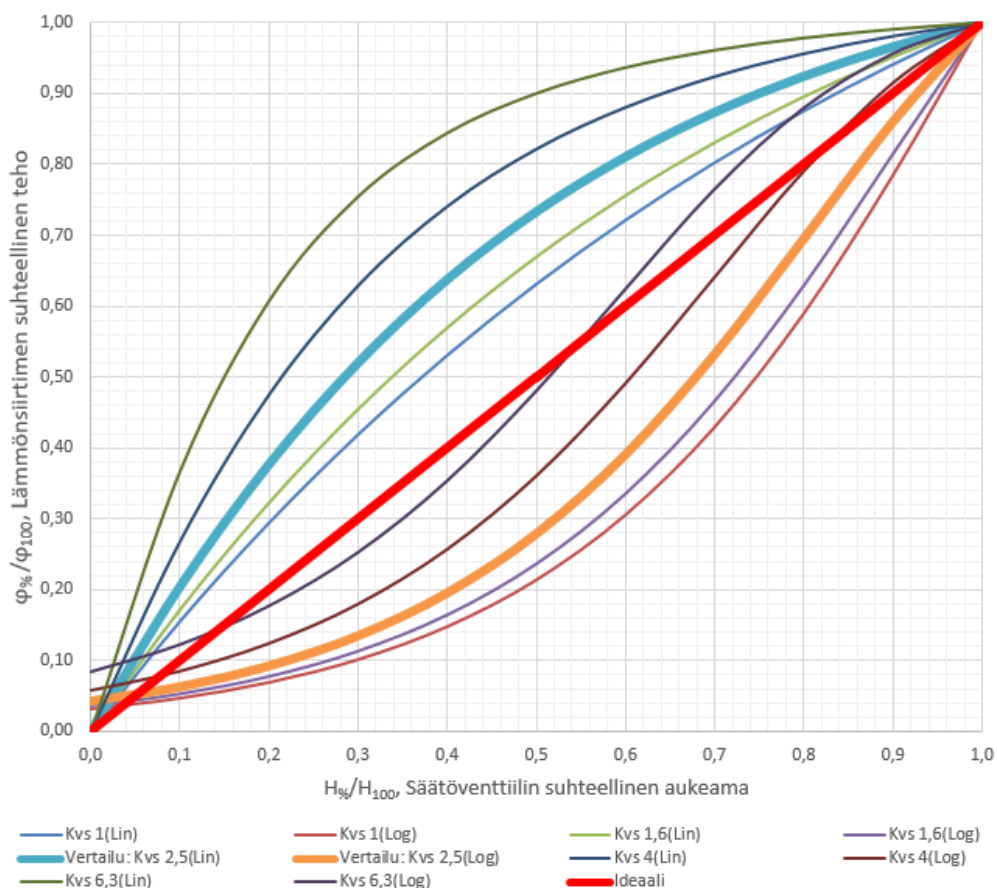
Venttiilin $k_{vs}$	$k_{vs}$	$\Delta p_{sv}$	$a_{v\_sääto}$	$a$	$\phi_{min}/\phi_{100}$	$\phi_{min}$	$(P_{vert} / P)$
#	m <sup>3</sup> /h	kPa	x/1	-	%	kW	%
kvs 1	1	163	↑ 0,84	0,714	2,96 %	1,30	344 %
kvs 1,6	1,6	64	↑ 0,68	0,714	3,29 %	1,45	167 %
<b>Vertailu: kvs 2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>26</b>	→ <b>0,46</b>	<b>0,714</b>	<b>3,95 %</b>	<b>1,74</b>	<b>100 %</b>
kvs 4	4	10	↓ 0,25	0,714	5,27 %	2,32	72 %
kvs 6,3	6,3	4	↓ 0,12	0,714	7,47 %	3,29	61 %

Taulukosta voidaan nopeasti vertailla  $k_{vs}$ -arvoiltaan erilaisten säätöventtiilien vaikutusta säätöventtiiliin aiheuttamaan todelliseen painehäviöön, pienimpään lämmönsiirtimeen säädettävissä olevaan tehoporaaseen sekä pumpun suhteelliseen sähköenergian kulu- tukseen.

Taulukkoa tutkimalla voidaan nähdä, että mitä suurempi on säätöventtiilin vaikutusaste, sitä pienemmäksi muuttuu lämmönsiirtimeen pienin säädettävissä oleva tehoporras. Toi- saalta taulukosta nähdään myös se, että vaikka pienin säädettävissä oleva tehoporras muuttuu suhteellisesti vain vähän, nousee kuitenkin säätöventtiiliin aiheuttama painehä- viö huomattavasti. Pumpun affiniteettilain mukaan pumpun teho muuttuu painehäviön muutokseen nähden samassa suhteessa. Venttiilin painehäviöllä on siis näin ollen erit- täin suuri vaikutus pumpun suhteelliseen sähköenergiankulutukseen. Esimerkkilasken- nassa oletetaan, että ollaan mitoittamassa virtausteknisesti verkoston hankalimmalla rei- tillä olevaa säätöventtiiliä, jolloin painehäviön nousu tällä reitillä vaikuttaa koko verkoston paineenkorotustarpeeseen. (17, s. 7.)

Taulukon lisäksi käyttäjälle esitettävästä graafisesta esityksestä voidaan nähdä miten lämmönsiirtimeen teho muuttuu suhteessa säätöventtiilin aukenemaan. Kuvassa 15 on esitetty tämän esimerkkilaskennan tuloksena eri säätöventtiilien karan liikkeen vaikutus lämmönsiirtimeen tehoon. Kuvassa 15 paksu punainen viiva (*Ideaali*) vastaa ideaalista

säätöä, jossa karan liike vaikuttaa samassa suhteessa lämmönsiirtimen tehoon. Paksu sininen viiva (*Vertailu Kvs 2,5(Lin)*) vastaa vertailtavan venttiilin lineaarista ominaiskäyrää ja paksu keltainen viiva (*Vertailu Kvs 2,5(Log)*) vertailtavan venttiilin tasaprosenttista ominaiskäyrää. Kuvasta 15 voidaan todeta, ettei vertailtavan  $k_{vs}$ -arvon säätöventtiili tuota tasaisinta säätötulosta lineaarisella tai tasaprosenttisella ominaiskäyrällä tehon muutoksen kannalta. Lähinnä ideaalia tilannetta näyttäisi olevan tasaprosenttisen ominaiskäyrän omaava  $k_{vs}$  6,3 -säätöventtiili. Lineaarisen ominaiskäyrän omaavista venttiileistä lähinnä ideaalia on  $k_{vs}$  1,0 -säätöventtiili.



Kuva 15. Graafinen esitys eri säätöventtiilien vaikutuksesta lämmönsiirtimen tehoon säätöventtiilin karan liikkeen suhteessa.

Toisaalta taulukon 4 arvojen perusteella  $k_{vs}$  6,3 -säätöventtiilillä pienin säädettävissä oleva teho on noin kaksi kertaa suurempi kuin vertailtavalla venttiilillä. Valitsemalla vertailuventtiiliä pienempi  $k_{vs}$ -arvo, pienintä säätöventtiilillä säädettävää tehoa saadaan pienennettyä, mutta pumppauskustannukset kasvavat ja lämmönsiirtimen teho suhteessa säätöventtiilin karan liikkeeseen muuttuu epälinearisemmaksi tasaprosenttisen ominaiskäyrän omaavissa venttiileissä. Lineaarisen ominaiskäyrän omaavissa venttiileissä taas tehon muutos lähestyy ideaalia tilannetta.

Yhtälöä 13 tutkimalla voidaan huomata, että säätöventtiilin säätösuhteella on venttiilin auktoriteettia huomattavasti suurempi vaikutus pienimpään säädettävissä olevaan tehoon. Toisin sanoen, jos halutaan pienentää säätöventtiilin aiheuttamaa painehäviötä suurentamatta pienintä säädettävissä olevaa tehoa, tulisi valita säätöventtiili, jossa on suuri säätösuhde.

Esiteltyjen yhtälöiden perusteella tasaprosenttisen ominaiskäyrän omaavat venttiilit pysyvät tuottamaan lähempänä ideaalista tilannetta olevan lämmönsiirtimen tehon säädön koko säätöventtiilin käyttöalueella venttiilin painehäviöön verrattuna. Mallilaskelman tapauksessa hyvän säätötuloksen toteuttamiseksi voitaisiin valita säätöventtiiliksi tasaprosenttisen ominaiskäyrän omaava  $k_{vs}$  4 -säätöventtiili, jonka auktoriteetiksi kyseisessä säätöpiirissä muodostuu 0,25.

## 5.6 Venttiililuettelo

Laskentaohjelman eri osioissa tehtävien säätöventtiilimitoitusten esittämistä varten ohjelmaan on rakennettu säätöventtiililuettelo. Säätöventtiililuetteloa voidaan käyttää suunnitteluhankkeissa suunnitelmakokonaisuuteen kuuluvana suunnitelmadokumenttina, joka kuuluu urakoitsijalle ja muulle projektiryhmälle julkaistaviin suunnitelmiin. Venttiililuettelossa on tarkoitus esittää ne venttiilikohtaiset suunnitteluarvot, jotka Tate RYL 2002:n mukaan kuuluu esittää suunnitelmissa. Jos erillisen venttiililuettelon laadinta ei ole perusteltua joissakin hankkeissa esim. säätöventtiilien vähäisen määrän takia, voidaan venttiilimitoitukset viedä manuaalisesti esim. hankkeen kojeluetteloon.

Laskentaohjelmassa on venttiililuetteloon liittyen kaksi laskentataulukkosivua, joista toinen on varsinainen venttiililuettelo ja toinen venttiililuettelon etusivu. Laskentasisivuilta määritettujen säätöventtiilien tiedot siirretään venttiililuetteloon. Etusivulla on suunnitelmadokumentin nimiö, jossa on esitetty hankkeen ja kyseisen dokumentin keskeisimmät tiedot. Venttiililuettelo on tämän opinnäytetyön liitteenä (liite 3).

Tehtyjen mitoitusten siirto venttiililuetteloon alkaa painamalla jokaiselta säätöventtiilien mitoitukseen tarkoitetun laskentataulukkosivun alareunasta löytyvällä *Lisää venttiililuetteloon* -painikkeella. Painike on toteutettu Excelin lomakkeenohjausobjektina.

Käyttäjän painaessa *Lisää venttiililuetteloon* -painiketta avautuu käyttäjälle lomakepohja, jossa säätöventtiilille annetaan sen tunnistetiedot sekä muita teknisiä tietoja (kuvat 16 ja 17). Lomakkeeseen annetaan myös säätöventtiilin hankintaa ja asennusta koskevat urakkatiedot.

Lisää kaukojäähdytyksen säätöventtiileitä luetteloon

Säätöventtiili 1										
Rivinvro.	Revisio	Positio	Aktivoi			Vaikutusalue / säädettävä laite	Mitoitus virtaama	Todellinen painehäviö	Kvs-arvo	
45	2	401	FV	1		IV-jäähdytys / 401LS01	27.11 dm <sup>3</sup> /s	61 kPa	125 m <sup>3</sup> /h	
Säätöventtiili 2										
Rivinvro.	Revisio	Positio				Vaikutusalue / säädettävä laite	Mitoitus virtaama	Todellinen painehäviö	Kvs-arvo	
46	2	401	FV	02		IV-jäähdytys / 401LS01	21.69 dm <sup>3</sup> /s	61 kPa	100 m <sup>3</sup> /h	
Säätöventtiili 3										
Rivinvro.	Revisio	Positio				Vaikutusalue / säädettävä laite	Mitoitus virtaama	Todellinen painehäviö	Kvs-arvo	
47	2	401	FV	03		IV-jäähdytys / 401LS01	10.84 dm <sup>3</sup> /s	61 kPa	50 m <sup>3</sup> /h	
Säätöventtiili 4										
Rivinvro.	Revisio	Positio				Vaikutusalue / säädettävä laite	Mitoitus virtaama	Todellinen painehäviö	Kvs-arvo	
Venttiilien yhteenlaskettu virtaama ja todellinen painehäviö										
Mitoitus virtaama	Todellinen painehäviö									
59.64 dm <sup>3</sup> /s	61 kPa									

Kuva 16. Säätöventtiilien tietojen antaminen lomakepohjassa osa 1/2.

Säätöventtiili 1									
Koko (DN)	Paine-luokka	PN, bar	Venttiilityyppi	Toimilaitetyyppi	Huom. / lisätiedot	Urakka Toimittaa	Asentaa		
100 mm	16		2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU		
Säätöventtiili 2									
Koko (DN)	Paine-luokka	PN, bar	Venttiilityyppi	Toimilaitetyyppi	Huom. / lisätiedot	Urakka Toimittaa	Asentaa		
80 mm	16		2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU		
Säätöventtiili 3									
Koko (DN)	Paine-luokka	PN, bar	Venttiilityyppi	Toimilaitetyyppi	Huom. / lisätiedot	Urakka Toimittaa	Asentaa		
65 mm	16		2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU		
Säätöventtiili 4									
Koko (DN)	Paine-luokka	PN, bar	Venttiilityyppi	Toimilaitetyyppi	Huom. / lisätiedot	Urakka Toimittaa	Asentaa		
						Peruuta	Lisää venttiilit		

Kuva 17. Säätöventtiilien tietojen antaminen lomakepohjassa osa 2/2.

Kuvien 16 ja 17 esimerkki on kaukojäähdytyksen säätöventtiilien mitoitusaulukosta. Toiminnot ovat vastaavat muistakin mitoitusaulukoista tietoja vietäessä. Lomakkeella näkyviin valkoisella pohjalla merkittyihin kenttiin käyttäjä merkitsee pyydetyn tiedon. Venttiilien  $k_{vS}$ -arvo, DN-koko, virtaama sekä painehäviö tuodaan lomakkeelle automaattisesti aktiivisen mitoituslaskennan perusteella. Nämä tiedot näkyvät lomakkeella valkoisella pohjalla merkityissä kentissä harmaalla fontilla.

Lomakkeen *Rivinumero* -kenttä kertoo mille riville kunkin säätöventtiilin tiedot tullaan lisäämään venttiililuetteloon. *Revisio* -kenttä kertoo missä revisiossa kyseinen rivi on lisätty venttiililuetteloon. Säätöventtiilien identifiointia varten lomakepohjassa on positiontijärjestelmä, jossa positio koostuu vähintään kolmesta osasta ja tarvittaessa jopa neljästä osasta. Ensimmäisessä osassa määritetään järjestelmätunnus ja toisessa osassa määritetään säätöventtiilin positiotunnus pudotusvalikon vaihtoehtojen avulla. Kolmas osa kertoo säätöventtiilin järjestelmäkohtaisen position. Lisäksi joskus voi olla tarve osittaa positio vielä pienempiin yksiköihin. Position jakaminen tehdään klikkaamalla *aktivoi* -painiketta, jolloin kaikkien rinnakkaisten säätöventtiilien position kolmas osa muuttuu samaksi ja vasta neljäs position osa kertoo säätöventtiilin yksityiskohtaisen position. Position jakaminen on esitetty kuvassa 18.

Rivinro.	Revisio	Positio			
45	2	401	FV	1	Aktivoi
46	2	401	FV	01	02
47	2	401	FV	01	03

Kuva 18. Position jakaminen.

*Vaikutusalue / säädettävä laite* -kentässä käyttäjä antaa kuvauksen säätöventtiilin vaikutusalueesta ja säädettävästä laitteesta. Käyttäjä määrittää myös säätöventtiilin sekä toimilaitteen tyypit pudotusvalikoiden avulla. Säätöventtiilejä koskevia lisätietoja käyttäjä voi antaa venttiilikohteisesti. Lisäksi säätöventtiilien hankintaa varten käyttäjä määrittää hankintaan liittyvät urakkarajat.

Lomakkeessa on rivit neljälle säätöventtiilille, koska kaukojäähdytyksen säätöventtiilien mitoitustaulukosta voidaan kerralla tuoda enimmillään neljän rinnakkaisen säätöventtiilin mitoitustiedot. Perusperiaatteenä usean rinnakkain toimivan säätöventtiilin tietojen antossa toimii se, että tiedot annetaan lomakepohjassa vain ensimmäiselle säätöventtiilille, josta ne sitten kopioituvat käsittelyn kautta muihinkin samassa rinnakkaissäädössä toimiviin säätöventtiileihin. Kuvien 16 ja 17 esimerkissä ollaan tekemässä kolmen rinnakkaisen säätöventtiilin mitoitusta. Neljännen säätöventtiilin kentässä ei tästä syystä näy tietoja. Kopioituvat tiedot päivittyvät reaaliaikaisesti lomakkeella muille riveille käyttäjän tehdessä muutoksia lomakkeen ensimmäisen rivin tietoihin. Näin käyttäjä näkee kok ajan, millaista tietoa venttiililuetteloon on siirtymässä. Koodiesimerkissä 1 on esitetty VBA-aliohjelma, jonka käynnistyminen on sidottu *ComboBox2* -objektin muutokseen.

```

1 Private Sub ComboBox2_Change()
2     ' Haetaan yleiset muuttujat
3     initVar
4
5     If Kj_Ws.Range("J33").Value = 2 Then
6         TextBox8.Value = ComboBox2.Text
7     ElseIf Kj_Ws.Range("J33").Value = 3 Then
8         TextBox8.Value = ComboBox2.Text
9         TextBox24.Value = ComboBox2.Text
10    ElseIf Kj_Ws.Range("J33").Value = 4 Then
11        TextBox8.Value = ComboBox2.Value
12        TextBox24.Value = ComboBox2.Value
13        TextBox37.Value = ComboBox2.Value
14    End If
15
16 End Sub

```

Koodiesimerkki 1. Aliohjelma *ComboBox2\_Change()*.

Käytännössä aliohjelman nimessä esiintyvä objektin nimi *ComboBox2* viittaa kuvassa 16 näkyvään säätöventtiilin kirjainosan sisältävään pudotusvalikko -objektiin. Aliohjelman nimessä esiintyvä *\_Change* viittaa objektissa tapahtuvaan muutokseen. Toisin sanoen aina kun *ComboBox2* -objekti muuttuu jollain tavoin, kyseinen aliohjelma suoritetaan.

Rivillä 1 oleva merkintä *Sub* -merkitsee aliohjelman alkua ja rivillä 16 oleva *End Sub* merkitsee aliohjelman loppua. Varsinainen ohjelmakoodi on näiden merkintöjen välissä. Rivillä 3 siirrytään toiseen aliohjelmaan, jossa määritellään tässäkin aliohjelmassa käytettävät yleiset muuttujat. Useissa aliohjelmissa esiintyvät toistuvat muuttujat on mielekkäämpää määritellä yhdessä paikassa, jolloin niitä ei tarvitse erikseen määrittää jokaisessa aliohjelmassa.

Rivi 4 aloittaa ehtolauseen, jossa käytetään *initVar* -aliohjelmassa määritettyä *Kj\_Ws* -muuttujaa ensimmäisen kerran. *initVar* -aliohjelmassa muuttuja *Kj\_Ws* on määritetty tyypiltään *WorkSheet* -tyyppiseksi muuttujaksi, joka voi siis pitää sisällään tyyppinsä mukaisesti Excel-laskentataulukon. *Kj\_Ws* -muuttujan arvoksi on asetettu *initVar* -aliohjelmassa kaukojäähdytyksen säätöventtiilien mitoituslaskentataulukko. *.Range("J33")* -objekti viittaa kyseisen laskentataulukon solualueeseen *J33*. *Value* -merkintä viittaa kyseisen solun ominaisuuteen, joka kertoo solussa olevan arvon.

Rivillä 4 ehtolauseessa siis verrataan, onko viitatus solun arvo 2, ja jos viitatus solun arvo on 2, siirrytään suorittamaan koodia riville 5. Rivillä 5 *TextBox8* -objektin *Value* -ominaisuuden arvoksi asetetaan *ComboBox2*:n *Text* -ominaisuuden arvo. *TextBox8* -objekti viittaa kuvassa 16 säätöventtiilin 2 position kirjainosan sisältävään tekstikenttään -objektiin. Riveillä 7 ja 10 on esitetty ehtolauseeseen eri vaihtoehtoja sekä ne toiminnot, jotka tehdään näiden ehtojen toteutuessa. Käytännössä näissä kopioidaan ensimmäisen säätöventtiilin position kirjainosa säätöventtiilien 3 ja 4 riveille. Kokonaisuutena tällä aliohjelmalla siis kopioidaan käyttäjän antama tieto säätöventtiilin position kirjainosasta kuvassa 16 näkyville säätöventtiilien riveille 2–4 venttiilien lukumäärästä riippuen.

Kun käyttäjä on antanut kaikki haluamansa tiedot lomakkeessa, siirretään annetut tiedot venttiililuetteloon painamalla painiketta *Lisää venttiilit* (kuva 17). Tiedot viedään luetteloon niin, että jokaiselle riville tulevat yhden säätöventtiilin tiedot. Tiedot viedään ensimmäiselle vapaalle riville.

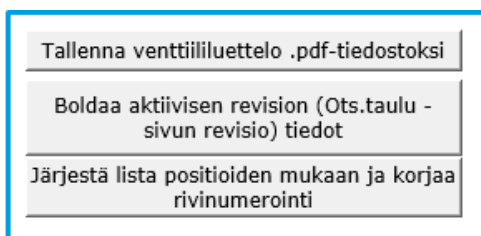
Tiedot siirtyvät venttiililuetteloon tekstimuodossa, jolloin venttiililuetteloa voidaan muuttaa myös manuaalisesti suoraan venttiililuettelosta. Projektissa tapahtuvien muutosten myötä venttiilejä voi myös joskus joutua poistamaan. Tämä voidaan tehdä venttiililuettelossa suoraan Excelin omia toimintoja käyttäen joko esimerkiksi yliviivaamalla poistettavat venttiilit tai tyhjentämällä halutut rivit.

*Venttiililuettelo* -laskentataulukkosivulta löytyy myös painikekokoelma, joiden avulla voidaan käynnistää automaattisia muotoilu- ja tulostustoimintoja. Kuvassa 19 ylimpänä esitettyä painiketta painamalla suoritetaan aliohjelma, joka tulostaa venttiililuettelon sekä siihen liittyvän etusivun yhdeksi .pdf-tiedostoksi. Aliohjelmassa suoritetaan myös automaattinen tulostusalueen määrittäminen venttiililuetteloon, jolloin tulostusalue määritetään vii-

meisimmän venttiililuettelossa olevan täytetyn rivin mukaan. Lisäksi aliohjelmassa määritetään reunukset sekä muut tulostusasetukset automaattisesti, jolloin voidaan varmistaa, että jokaisessa tästä ohjelmasta tehdyssä tulostuksessa tulostusasettelu on samanlainen.

Keskimmäisen painikkeen avulla listalla olevat rivit merkitään paksulla fontilla etusivulle merkittyyn uusimpaan revisioon perustuen. Tällä toiminnolla on helppo korostaa viimeisimmässä revisiossa tapahtuneet muutokset.

Alinta painiketta käytetään silloin, jos venttiililuettelon välistä on päätetty poistaa rivejä. Tällöin tätä painiketta painamalla luettelon välissä olevat tyhjät rivit poistetaan, luettelo järjestetään positioiden mukaan ja luettelon rivinumerointi korjataan.



Kuva 19. Venttiililuettelon toiminnot.

Venttiililuettelon yläreunassa näkyvässä otsikkoalueessa näkyy osa hankkeeseen ja dokumenttiin liittyvistä tunnistetiedoista. Tunnistetiedot on tuotu etusivulta soluviittauksia käyttäen, joten näitä tietoja ei tarvitse erikseen merkitä tälle sivulle, vaan ne päivittyvät automaattisesti etusivulla olevien tietojen mukaisesti.

## 6 Yhteenveto

Opinnäytetyöprosessia ajatellen valittu aihe osoittautui toteutuksessa suunnitteluvaiheessa oletettua huomattavasti laajemmaksi ja projektin rajausta piti muuttaa projektin edetessä.

Alkuperäisen suunnitelman mukaan tavoitteena oli kehittää koko säätöventtiilien valintaan liittyvää prosessia toimivammaksi kokonaisuudeksi ja parantaa eri osapuolien vastuuta osana valintaprosessia. Tarkoituksena oli luoda pelkän mitoitusohjelman lisäksi

myös taulukkomuotoinen valintaohje, joka olisi myös pitänyt sisällään perustietoa liittyen säätöventtiileihin sekä tietoa valintaprosessin kulusta ja tehtävistä.

Valintaprosessia, siihen kuuluvia tahoja ja näiden tahojen vastuita sekä tehtäviä ehdittiin avata alan tietolähteiden kautta opinnäytetyössä vain pintapuolisesti tutkimalla Tate RYL 2002. Toisaalta jo kyseisen dokumentin tutkimisessa kävi ilmi, että suunnittelijan tuottamaksi määritetystä normaalista suunnitelma- ja tietolaajuudesta on jo olemassa ohjeistus. Jo tämän ohjeistuksen pohjalta pystyttäisiin parantamaan suunnitelmadokumentation laatua tarkastamalla suunnitteluhankkeissa, että vaaditut tiedot tulee määriteltyä.

Tate RYL 2002:ssa ei ole kuitenkaan määritelty suunnittelijoita lukuun ottamatta muiden valintaprosessiin liittyvien tahojen vastuita kovinkaan laajalti. Tämä myös mielestäni näkyy projektitoiminnassa niin, että hankkeesta riippuen toimintatavat voivat vaihdella. Tästä syystä olisi ollut mielenkiintoista tehdä kyselytutkimus valintaprosessiin liittyville tahoille, kuten suunnittelijoille, energialaitoksille, urakoitsijoille ja laitetoimittajille. Kyselytutkimus olikin mukana alkuperäisessä projektisuunnitelmassa. Kyselytutkimuksessa olisi voitu paremmin kartoittaa valintaprosessiin liittyvien tahojen käsitystä omista ja muiden vastuualueista osana valintaprosessia. Kyselytutkimuksen avulla olisi voitu paremmin analysoida, onko valintaprosessin selkeyttämiseen tarvetta. Valintaprosessin ongelmien tutkiminen ja ratkaiseminen on erillisen opinnäytetyön arvoinen aihe.

Projektin päätavoitteena oli luoda toimintatapa ja työkalu säätöventtiilien mitoitukseen ja valintaan. Projektissa pystyttiin jatkokehittämään mitoitus työkalua ja lisäämään siihen toimintoja, jotka osaltaan auttavat ymmärtämään säätöventtiilien ominaisuuksia sekä niiden vaikutusta hydraulisten piirien säädettävyyteen.

Mitoitusohjelman kehittämiseen liittyvät tavoitteet onnistuttiin projektissa täyttämään mielestäni hyvin. Tähän vaikuttavat mm. se, että laskentaohjelmaan saatiin sisällytettyä usean eri järjestelmän säätöventtiilien mitoitukseen tarvittavat työkalut. Laskentaohjelman käytettävyyteen panostettiin hankkeessa monin tavoin. Laskentaan käyttäjän syöttämien lähtötietojen määrä pystyttiin kaikissa laskentataulukoissa pitämään vähäisenä. Lisäksi laskentaohjelman yleisohje sekä soluohjeet ohjaavat käyttäjää laskennan edetessä. Käyttäjän tehdessä säätöventtiilien valintaa antaa laskentaohjelman virheentarkastustoiminto käyttäjälle reaaliaikaista tietoa valitun venttiilin soveltuvuudesta ja ilmoittaa mahdollisista mitoitukseen liittyvistä ongelmista.

Myös laskennan tulokset on mielestäni onnistuttu esittämään yksinkertaistetusti ja selkeästi. Valintataulukoista saatavia venttiilimitoituksia voidaan hyödyntää laskentaohjelman oman venttiililuettelon avulla tai mitoitustietoja voidaan käyttää ohjelman ulkopuolella käyttäjän tarpeiden mukaan.

Laskentaohjelmassa käytettävät kaavat valikoituivat yleisesti kyseisissä mitoitustehtävissä käytettävistä lähteistä. Tästä syystä laskentaohjelmalla tehtävät mitoitukset soveltuvat myös käytettäväksi kyseisissä tarkoituksissa. Esimerkiksi kaukoenergiajärjestelmän ensiöpiirin säätöventtiilien mitoitus tehdään voimassa olevan virallisen ohjeistuksen mukaisesti.

Laskentaohjelman yleisohjeistusta oli tarkoitus laajentaa tämän opinnäytetyöprojektin yhteydessä. Tätä osuutta alkuperäisestä suunnitelmasta jouduttiin kuitenkin rajaamaan alkuperäisestä projektisuunnitelmasta. Toisaalta tämä voidaan myöhemminkin lisätä osaksi laskentaohjelmaa. Opinnäytetyön kirjallisessa osuudessa on kuitenkin selostettu kaikkien laskentataulukoiden käyttöön liittyvät asiat perusteellisesti, joten ohjeistuksen voisi toteuttaa esimerkiksi siirtämällä valikoidusti tätä tietoa suoraan laskentataulukon ohjeistukseen.

Säätöventtiilien ominaisuuksia ja mitoitusta käsittelevää kirjallisuutta vaikuttaa olevan saatavilla kohtuullisen paljon. Projektin yhteydessä löytyi useita ulkomaalaisia aihetta käsitteleviä lähteitä, joita käytettiin opinnäytetyössä lähinnä termien selostukseen ja muutenkin niiden osuus jäi sivuosaan. Projektin kannalta olisi ollut myös mielenkiintoista perehtyä näistä lähteistä löytyviin mitoituskäytäntöihin sekä vertailla näiden mitoituskäytäntöjen eroja suomalaisissa julkaisuissa käytettyihin menetelmiin. Laajemman kirjallisuustutkimuksen tekeminen ei kuitenkaan ollut mahdollista käytettävissä olevien resursien puitteissa.

Esimerkkitoimistotalon jäähdytysverkoston mitoitustilanteen ja todellisen käytön mukaisen tilanteen vertailua olisi voitu viedä pidemmälle simuloimalla molemmat tilanteet esimerkiksi 20 vuoden laskentajakson ajalle ja tätä kautta tehdä kannattavuuslaskelmia erilaisten säätöventtiilimitoitusten vaikutuksesta elinkaarikustannuksiin huomioiden myös muiden verkostokomponenttien mitoitus todellisen käytön mukaisten kuormien mukaan.

Nyt kun mitoitusohjelma on saatu opinnäytetyössä kuvattuun vaiheeseen, on seuraava vaihe sen käyttöönotto Ramboll Finland Oy:ssä. Käyttökokemusten pohjalta on mahdollisuus saada käyttäjien mielipiteitä ja kokemuksia ohjelman käytöstä ja tätä kautta kehittää laskentaohjelman olemassa olevia laskentataulukoita sekä mahdollisesti tuoda siihen täysin uusia toimintoja.

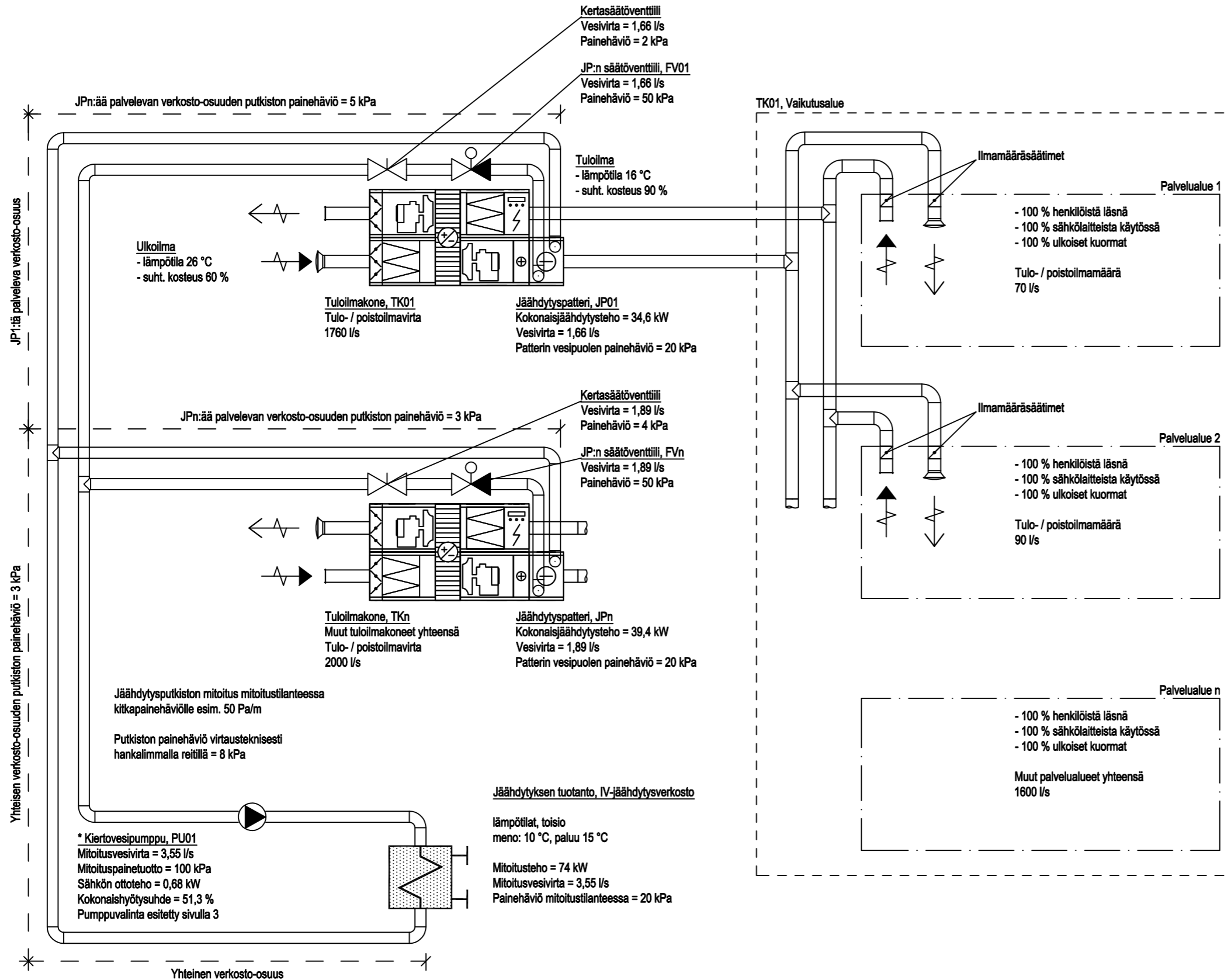
Säätöventtiilit ovat toiminnan kannalta hydraulisten piirien keskeisimpiä yksittäisiä komponentteja. Säätöventtiilien toiminnan ja ominaisuuksien tunteminen sekä ymmärtäminen on tärkeää, jotta voidaan varmistaa hydraulisten piirien stabiili säädettävyys järjestelmäkokonaisuuden kannalta optimaalisilla elinkaarikustannuksilla.

## Lähteet

- 1 Tietoa Rambollista. Verkkoaineisto. Ramboll. <[http://www.ramboll.fi/ramboll\\_finland\\_oy](http://www.ramboll.fi/ramboll_finland_oy)>. Luettu 27.10.2017.
- 2 Yhteystiedot / Toimipaikat. Verkkoaineisto. Ramboll. <<http://www.ramboll.fi/yhteystiedot/toimipaikat>>. Luettu 27.10.2017.
- 3 Ramboll Groupin Microsoft Exchange -tietokanta. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Ramboll.
- 4 Rakennustietosäätiö RTS, LVI-Keskusliitto ry, Sähkötieto ry, Rakennustieto Oy. 2003. RYL 2002 Talotekniikan rakentamisen yleiset laatuvaatimukset 2002. Hämeenlinna: Rakennustieto Oy.
- 5 Rakennusten kaukolämmitys, Määräykset ja ohjeet, Julkaisu K1/2013. 2013. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1\\_2013\\_20140509.pdf](https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf)>. Luettu 17.11.2017.
- 6 Kaukolämmön suunnittelu- ja urakointiohjeita, Julkaisu Helen 1/2015. 2015. Verkkoaineisto. Helen Oy. <[https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon\\_suunnittelu\\_ja\\_urakointiohjeita.pdf](https://www.helen.fi/globalassets/lampo/ammattilaiset/kaukolampo/kaukolammon_suunnittelu_ja_urakointiohjeita.pdf)>. Luettu 17.11.2017.
- 7 Martikainen, Valtteri. 2013. Venttiileiden huolto. Opinnäytetyö. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu.
- 8 NPS - 'Nominal Pipe Size' and DN - 'Diametre Nominal'. Verkkoaineisto. The Engineering ToolBox. <[https://www.engineeringtoolbox.com/nps-nominal-pipe-sizes-d\\_45.html](https://www.engineeringtoolbox.com/nps-nominal-pipe-sizes-d_45.html)>. Luettu 27.2.2018.
- 9 Rakennustietosäätiö RTS. 1989. LVI-ohjekortti LVI-12-10126, Lämmitysverkoston säätöventtiilin mitoitus. Rakennuskirja Oy.
- 10 Practical Tips, Valves and actuators, Terms. 2012. Verkkoaineisto. Siemens Switzerland Ltd, Building Technologies Division. <[https://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/building-knowledge/PublishingImages/practical\\_tips\\_valves\\_actuators\\_terms.pdf](https://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/building-knowledge/PublishingImages/practical_tips_valves_actuators_terms.pdf)>. Luettu 31.3.2018.
- 11 Flow characteristics. Verkkoaineisto. Spirax Sarco Limited. <<http://pointing.spiraxsarco.com/resources/steam-engineering-tutorials/control-hardware-el-pn-actuation/control-valve-characteristics.asp>>. Luettu 17.3.2018.
- 12 Engineering Data Book Vb1: Valves. 1994. Verkkoaineisto. Johnson Controls. <[http://cgproducts.johnsoncontrols.com/met\\_pdf/347vb.pdf](http://cgproducts.johnsoncontrols.com/met_pdf/347vb.pdf)>. Luettu 17.3.2018.
- 13 Säättöpiirien säätäminen. 2011. Verkkoaineisto. Imi Hydronic Engineering. <<http://vantalvi.fi/wp-content/uploads/2014/05/TA-KÄSIKIRJA-Säättöpiirien-Säätäminen-2011.pdf>>. Luettu 17.3.2018.
- 14 Säteri, Jorma. 2009. Lämmönsiirto- ja virtaustekniikka 1, 6. luento 2.3.2009. Luentomoniste.

- 15 Rakennusten kaukojäähdytys, Yhtenäiset laatuvaatimukset, suositukset ja ohjeet, Julkaisu J1/2014. 2014. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. <[https://energia.fi/files/450/RakennustenKaukojaahdytys\\_JulkaisuJ1\\_2014.pdf](https://energia.fi/files/450/RakennustenKaukojaahdytys_JulkaisuJ1_2014.pdf)>. Luettu 18.3.2018.
- 16 Yrjölä, Jukka. 2016. LVI-mallinnus ja -simulointi. Harjoitustehtävä. Metropolia Ammattikorkeakoulu
- 17 Pumput ja putkistot teoriassa ja käytännössä. 2009. Verkkoaineisto. ITT Water & Wastewater Suomi Oy. <[http://www.xylemwatersolutions.com/scs/finland/Documents/Pumput\\_ja\\_putkistot.pdf](http://www.xylemwatersolutions.com/scs/finland/Documents/Pumput_ja_putkistot.pdf)>. Luettu 18.3.2018.

Esimerkkitoimistotalo  
Järjestelmäkaavio  
Mitoitusjäähdytystehot, kuormien ajallista esiintymistä  
ei ole huomioitu



### TK01:n palvelualueen tuntevan jäähdytystehon mitoitus

Palvelualuekohtaiset tuloilmamäärät on mitoitettu kunkin palvelualueen halutun korkeimman huonelämpötilan mukaan ottamalla huomioon palvelualueisiin kohdistuvien kosteus- ja lämpökuormien vaikutus. Kaikkien palvelualueiden huoneilman lämpötilan asetusarvo oletetaan olevan + 25 °C:

Tuntevan jäähdytyksen tehontarve TK01:n palvelualueilla,  
(70 + 90 + 1600) l/s \* 0,0012 kg/l \* 1 kJ/kgK \* (25 °C - 16 °C) = 19,0 kW

Kokonaisjäähdytyksen tehontarve TK01:n jäähdytyspatterilla:  
Ulkoilman entalpia mollier-diagrammista = 58,3 kJ/kg  
Tuloilman entalpia mollier-diagrammista = 41,9 kJ/kg

(70 + 90 + 1600) l/s \* 0,0012 kg/l \* (58,3 kJ/kg - 41,9 kJ/kg) = 34,6 kW

### Tuloilmakoneita palvelevan jäähdytysverkoston kokonaisjäähdytystehon ja vesivirran mitoitus

TKn tuloilman kokonaisjäähdytystehontarve laskettu kuten TK01:

Jäähdytysteho:  
34,6 kW (TK01) + 39,4 kW (TKn) = 74 kW

Vesivirta:  
74 kW / 0,994 kg/l \* 4,189 kJ/kgK \* (15 °C - 10 °C) = 3,55 l/s

### Tuloilmakoneita palvelevan jäähdytysverkoston kiertovesipumpun paineenkorotuksen tarve

Virtausteknisesti hankalin putkistoreitti on TK01:n jäähdytyspatterille JP01 menevä putkireitti. Kertasäätöventtiilin mitaustarkkuuden vaatima minimipainehäviön oletetaan olevan 2 kPa.

#### Säätöventtiilin valinta

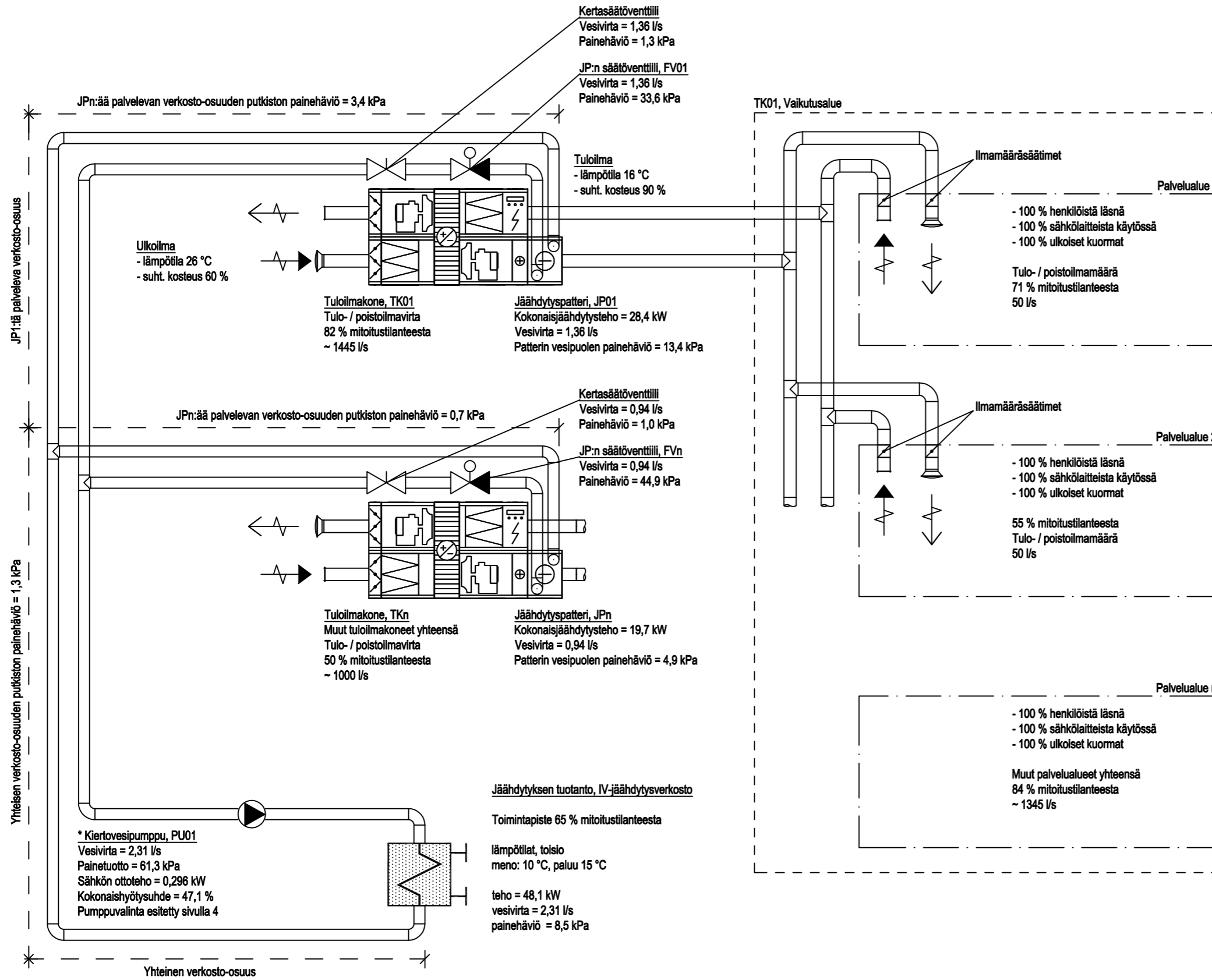
Sillä oletuksella, että säätöventtiilin auktoriteetin tulisi olla vähintään 0,5, tulee säätöventtiilin painehäviön täysin auki ollessaan vastata puolta koko sen verkoston osan painehäviöistä, jossa verkoston vesivirtaa säädetään ko. säätöventtiilillä. Todellisen säätöventtiilin Kvs-arvoa ei ole määrätty. Oletetaan siis säätöventtiilin Kvs-arvon olevan säädettävissä niin, että haluttu painehäviö saavutetaan mitoituspisteessä.

0,5 \* (20 kPa (jäähd. tuotantolaitteet) + 8 kPa (putkisto) + 2 kPa (kertasäätövent.) + 20 kPa (jäähdytyspatteri)) = 50 kPa

#### Jäähdytysverkoston kiertovesipumpun paineenkorotustarve

20 kPa (jäähd. tuotantolaitteet) + 8 kPa (putkisto) + 2 kPa (kertasäätövent.) + 50 kPa (säätöventtiili) + 20 kPa (jäähdytyspatteri) = 100 kPa

Esimerkkitoimistotalo  
Järjestelmäkaavio  
Todellisen käytön mukainen mitoittava tilanne, huomioiden kuormien ajallinen esiintyminen



### TK01:n palvelualueen tuntuva jäähdytystehon tarve todellisen käytön mukaisessa tilanteessa

Palvelualuekohtaiset tuloilmamäärät on mitoitettu simuloimalla kunkin palvelualueen halutun korkeimman huonelämpötilan mukaan ottamalla huomioon palvelualueisiin kohdistuvien kosteus- ja lämpökuormien vaikutus sekä niiden ajallinen esiintyminen. Kaikkien palvelualueiden huoneilman lämpötilan asetusarvo oletetaan olevan + 25 °C. Tässä oletetaan myös, että yhteenlaskettujen tehojen suurin tehontarpeen piikki on esiintynyt ajankohtana, jolloin ulkoilman mitoituspiste on vastannut järjestelmän laitteiden mitoituspisteen ulkoilman mitoituspistettä.

Seuraavat laskennat tehty kuten mitoituspisteen esimerkissä, joten vain tulokset on esitetty.

Tuntuva jäähdytyksen tehontarve TK01:n palvelualueilla, laskettuna kuten aiemmassa esimerkissä: **15,6 kW**

Kokonaisjäähdytyksen tehontarve TK01:n jäähdytyspatterilla, laskettuna kuten aiemmassa esimerkissä: **28,4 kW**

### Tuloilmakoneita palvelevan jäähdytysverkoston kokonaisjäähdytysteho ja tarvittava vesivirta todellisen käytön mukaan

TKn tuloilman kokonaisjäähdytystehontarve laskettu kuten TK01:

Jäähdytysteho:  
65 % mitoitusilanteesta  
28,4 kW (TK01) + 19,7 kW (TKn) = **48,1 kW**

Vesivirta:  
65 % mitoitusilanteesta  
**2,31 l/s**

### Tuloilmakoneita palvelevan jäähdytysverkoston kiertovesipumpun paineenkorotuksen tarve todellisen käytön mukaisessa tilanteessa

Kaaviossa on esitetty verkoston muuttuneet virtaamat ja eri verkostokomponenttien aiheuttamat painehäviöt todellisen käytön mukaisilla virtaamilla. Verkoston osien painehäviö muuttuu virtaaman muutokseen verrattuna toiseen potenssiin.

Selvitetään laskelmalla todellisessa tilanteessa virtausteknisesti hankalin putkistoreitti ilman säätöventtiilien painehäviötä:

TK01 virtaamareitin painehäviö:  
8,5 kPa (jäähd. tuotantolaitteet) + 4,7 kPa (putkisto) + 1,3 kPa (kertasäätövent.) +  
13,4 kPa (jäähdytyspatteri) = **27,9 kPa**

TKn virtaamareitin painehäviö:  
8,5 kPa (jäähd. tuotantolaitteet) + 2,0 kPa (putkisto) + 1,0 kPa (kertasäätövent.) +  
4,9 kPa (jäähdytyspatteri) = **16,4 kPa**

JP01:n virtaamareitti on virtausteknisesti haastavin reitti, joten jos oletetaan kiertovesipumpun pyörimissäädon pystyvän ottamaan virtaamavaihtelut huomioon täydellisesti, voi säätöventtiili FV01 olla täysin auki, jolloin sen tuottama painehäviö voidaan kaavan x mukaisesti.

Virtausteknisesti hankalimman reitin painehäviö sisältäen säätöventtiilin aiheuttama painehäviö:  
27,9 kPa + 33,6 kPa = **61,5 kPa**

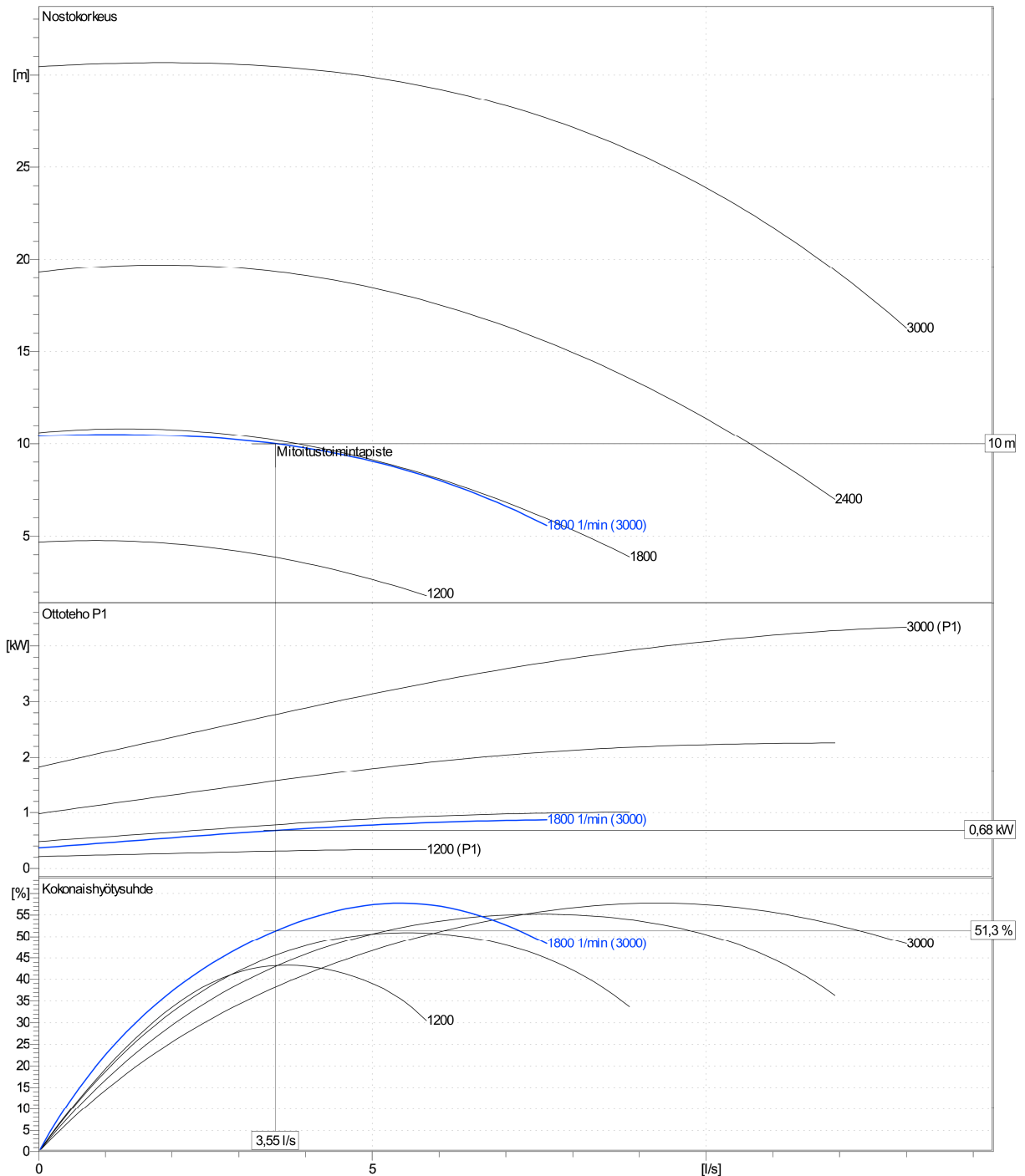
Täysin auki olevan FV01:n auktoriteetti todellisen käytön mukaisessa tilanteessa:  
33,6 kPa / (33,6 kPa + 27,9 kPa) = **0,55**

Jotta TKn:n virtaamareitillä tarvittu virtaama toteutuu, säätöventtiilin FVn täytyy tuottaa verkostoon painehäviötä lasketun mukaisesti 61,3 kPa -16,4 kPa = **44,9 kPa**.



Juoksupyörä										Juoksupyörän tyyppi	
Tosiarvo	Ø mm	Virtaus			Nostokorkeus		Akseliteho P2			Juoksupyörän rakenne	
		Min. l/s	Max. l/s	η Max. l/s	H(Q=0) m	η Max. m	P2(Q=0) kW	Max. kW	η Max. kW	Pyörintäsuunta	Myötäpäivään (käyttöpäästä)
		0	7,61	5,43	10,4	8,64	0,315		0,685	Laakeripesä	
Min.	158	/	/	3,72	4,68	3,75	0,184	0,289	0,289	Lähtöliitännän koko	mm 0
Max.	158	/	/	9,27	30,5	25,2	1,57	3,72	2,78	Taajuus	Hz 50 Hz
										Kierrosluku	1/min 3000

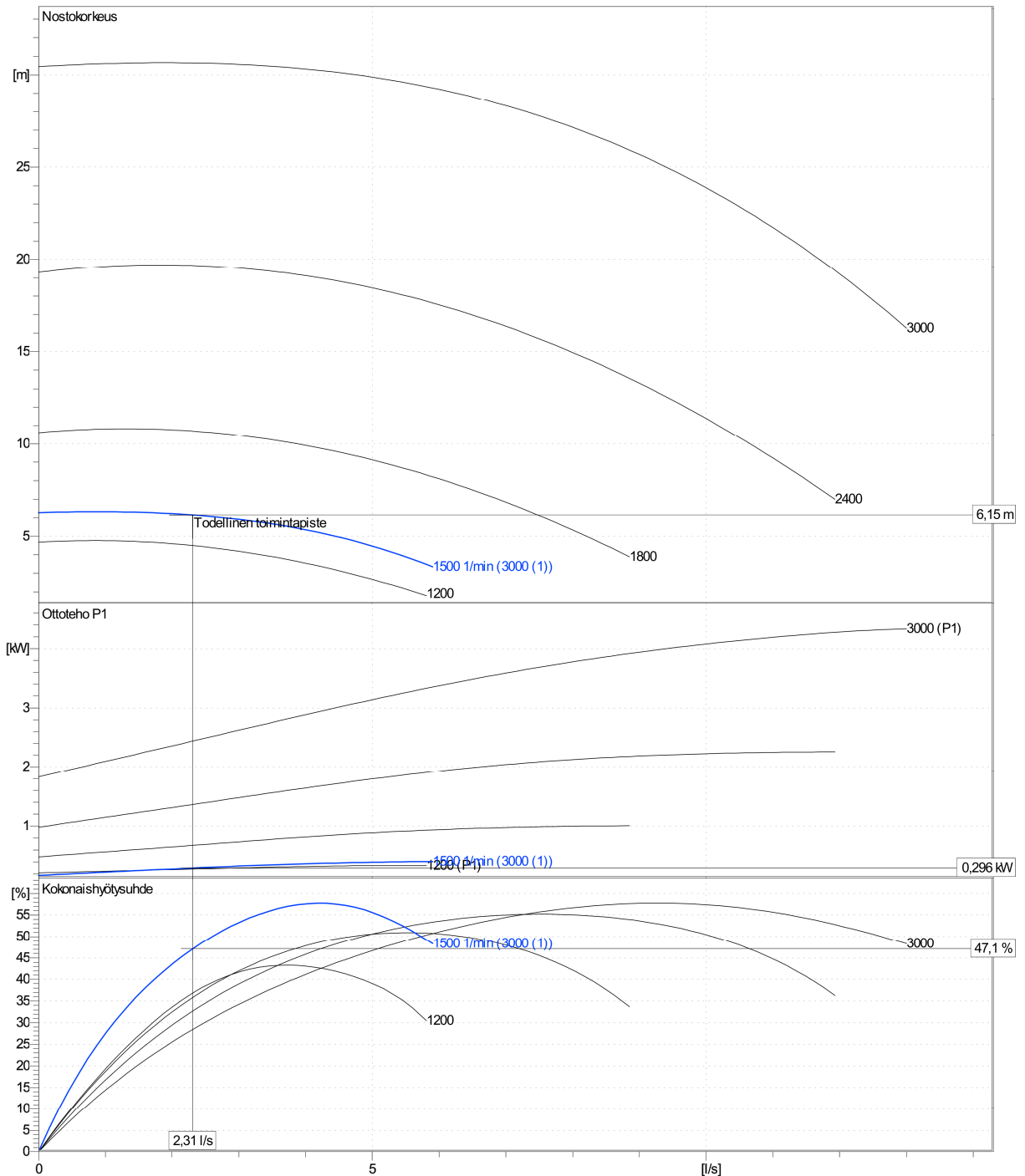
Tehotiedot perustuvat at: Vesi [100%] ; 12,5°C; 0,999kg/dm³; 1,22mm²/s





Juoksupyörä										Juoksupyörän tyyppi	
Tosiarvo	Ø mm	Virtaus			Nostokorkeus		Akseliteho P2			Juoksupyörän rakenne	
		Min. l/s	Max. l/s	η l/s	H(Q=0) m	η m	P2(Q=0) kW	Max. kW	η kW	Pyöräntäsuunta	Myötäpäivään (käyttöpäästä)
	158	0	5,9	4,21	6,28	5,2	0,147		0,32	Lähtöliitännän koko	mm 0
Min.	158	/	/	3,72	4,68	3,75	0,184	0,289	0,28	Taajuus	Hz 50 Hz
Max.	158	/	/	9,27	30,5	25,2	1,57	3,72	2,52	Kierrosluku	1/min 3000

Tehotiedot perustuvat: Vesi [100%]; 12,5°C; 0,999kg/dm³; 1,22mm²/s



## Kaukolämmityksen ensiöpuolen säätöventtiilien mitoitus



Tällä taulukolla voidaan mitoittaa kaukolämpösiirtimen ensiöpiirin säätöventtiili(t). Mitoituksessa sovelletaan Energiäteollisuus ry:n Rakennusten kaukolämmityksen yhtenäisiä laatuvaatimuksia ja suosituksia (K1/2013).

[Tästä "Rakennusten kaukolämmityksen yhtenäisiä laatuvaatimuksia ja suosituksia \(K1/2013\)" -dokumenttiin](#)

### Lähtötiedot:

#### Virtaama ja lämpöteho:

Laskennan peruste (mitoitettava lämmitysteho / mitoitettava virtaama)	Laskenta perustuu tunnettuun tehoon ▼	
Mitoittava kaukolämmön menoveden lämpötila	$T_{vm}$	115,0 °C
Mitoittava kaukolämmön paluuv veden lämpötila	$T_{vp}$	33,0 °C
Mitoittava kaukolämpösiirtimen lämmitysteho	$\Phi$	600,00 kW
Keskimääräinen kaukolämpöveden lämpötila	$T_{vkm}$	74 °C
Kaukolämpöveden ominaislämpökapasiteetti keskim. lämpötilassa	$C_{pv}$	4,193 kJ/kgK
Kaukolämpöveden ominaispaino keskim. lämpötilassa	$\rho_v$	0,975 kg/dm <sup>3</sup>
Mitoittava kaukolämpösiirtimen tilavuusvesivirta (ensiö)	$q_v$	1,789 dm <sup>3</sup> /s
Mitoittava kaukolämpösiirtimen lämmitysteho	$\Phi$	600,0 kW

#### Käytössä oleva paine ja venttiilien lukumäärä

Lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva normaali paine-ero	$\Delta p_{ilm.min}$	100 kPa
Lämmönsiirtimen ensiöpuolen painehäviö (täydellä virtaamalla)	$\Delta p_{lsiirrin}$	10 kPa
Ensiöputkiston painehäviö (täydellä virtaamalla)	$\Delta p_{putki}$	5 kPa
Muu vaikuttava ensiöpuolen painehäviö (täydellä virtaamalla)	$\Delta p_{muu}$	0 kPa
Säätöventtiilien lukumäärä	$l_{km.vent}$	2 ▼ kpl.
Säätöventtiili(e)n mitoituspaine-ero	$\Delta p$	85 kPa
Yhteenlaskettu mitoitettava $k_v$ -arvo	$K_{v.yht}$	6,99 m <sup>3</sup> /h

#### Mitoitusrajoitukset:

Säätöventtiilin todellinen maksimipainehäviö mitoitustilanteessa	$\Delta p_{sv1.max}$	55 kPa
Säätöventtiilin max. $k_{vs}$ -arvo	$k_{vs.vent.max}$	6,3 ▼ m <sup>3</sup> /h
Säädön minimi vaikutusaste	$a_{v.min.}$	0,50 -
Selvitys mitoitusrajoituksista:	Helenin mitoitusrajoitukset.	

### Säätöventtiilien mitoitus:

Säätöventtiili 1	Ehdotettu säätöventtiili	$k_{vs.ehdotettu}$	6,3 m <sup>3</sup> /h
	Valittu säätöventtiili	$k_{vs.valittu}$	DN 20, $k_{vs} = 6,3$ ▼ DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiilin osuus virtaamasta	$k_{vs.sv1\%}$	72 %
	Valitun venttiilin todellinen painehäviö	$\Delta p_{sv}$	54 kPa
Säätöventtiili 2	Ehdotettu säätöventtiili	$k_{vs.ehdotettu}$	2,5 m <sup>3</sup> /h
	Valittu säätöventtiili	$k_{vs.valittu}$	DN 15, $k_{vs} = 2,5$ ▼ DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiilin osuus virtaamasta	$k_{vs.sv2\%}$	28 %
	Valitun venttiilin todellinen painehäviö	$\Delta p_{sv}$	54 kPa
Tulokset	Säätöventtiili 1	1,28 dm <sup>3</sup> /s	DN 20, $k_{vs} = 6,3$ DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiili 2	0,51 dm <sup>3</sup> /s	DN 15, $k_{vs} = 2,5$ DN/m <sup>3</sup> /h
	Valittujen säätöventtiilien yht. lask. todellinen painehäviö	$\Delta p_{saato}$	54 kPa
	Valittujen säätöventtiilien yht.lask. auktoriteetti	$a_{v.saato}$	0,54 -

Lisää venttiililuetteloon

## Kaukojäähdytyksen ensiöpuolen säätöventtiilien mitoitus



Tällä taulukolla voidaan mitoittaa kaukojäähdytyksen lämmönsiirtimen ensiöpiirin säätöventtiili(t). Mitoituksessa sovelletaan Energiateollisuus ry:n Rakennusten kaukojäähdytyksen yhteinisiä laatuvaatimuksia ja suosituksia (J1/2014).

[Tästä "Rakennusten kaukojäähdytyksen yhteinisiä laatuvaatimuksia ja suosituksia \(J1/2014\)" -dokumenttiin](#)

### Lähtötiedot:

#### Virtaama ja jäähdytysteho:

Laskennan peruste (mitoitettava jäähdytysteho / mitoitettava virtaama)	Laskenta perustuu tunnettuun tehoon ▼
Mitoitettava kaukojäähdytyksen menoveden lämpötila	$T_{vm}$ 8,0 °C
Mitoitettava kaukojäähdytyksen paluuveden lämpötila	$T_{vp}$ 14,0 °C
Mitoitettava kaukojäähdytyslaitteen jäähdytysteho	$\Phi$ 1500,0 kW
Keskimääräinen kaukojäähdytysveden lämpötila	$T_{vkm}$ 11 °C
Kaukojäähdytysveden ominaislämpökapasiteetti keskim. lämpötilassa	$C_{pv}$ 4,193 kJ/kgK
Kaukolämpöveden ominaispaino keskim. lämpötilassa	$\rho_v$ 1,000 kg/dm <sup>3</sup>
Mitoitettava kaukojäähdytyslaitteen tilavuusvesivirta (ensiö)	$Q_v$ 59,6 dm <sup>3</sup> /s
Mitoitettava kaukojäähdytyslaitteen jäähdytysteho	$\Phi$ 1500,0 kW

#### Käytössä oleva paine ja venttiilien lukumäärä

Lämmönmyyjän ilmoittama käytettävissä oleva mitoituspaine-ero	$\Delta p_{ilm.}$ 100 kPa
Lämmönsiirtimen ensiöpuolen painehäviö (mitoitusvirtaamalla)	$\Delta p_{siirrin}$ 30 kPa
Ensiöputkiston painehäviö (täydellä virtaamalla)	$\Delta p_{putki}$ 15 kPa
Muu vaikuttava ensiöpuolen painehäviö (täydellä virtaamalla)	$\Delta p_{muu}$ 0 kPa
Säätöventtiili(e)n mitoituspaine-ero	$\Delta p$ 55,0 kPa
Yhteenlaskettu mitoitettava $k_v$ -arvo	$k_{v\_yht}$ 289,5 m <sup>3</sup> /h
Jäähdytyslaitteiston kokonaisteholuokka (J1/2014)	300...2000 kW
Säätöventtiilien lukumäärä	$l_{km_{vent}}$ 3 kpl.

#### Mitoitusrajoitukset:

Säätöventtiili[e]n minimi vaikutusaste	$a_v$ 0,33 x/1
Selvitys mitoitusrajoituksista:	Helenin mitoitusrajoitukset.

**Säätöventtiilien mitoitus:**

Säätöventtiili 1	Ehdotettu säätöventtiili	<b>k<sub>vs_</sub> ehdotettu</b>	<b>160 m<sup>3</sup>/h</b>
	Valittu säätöventtiili	k <sub>vs_</sub> valittu	DN 100, kvs = 160 ▾ DN/m <sup>3</sup> /h
	Valitun säätöventtiilin osuus virtaamasta	k <sub>vs_</sub> sv1%	52 %
	Valitun venttiilin todellinen painehäviö	✓ Δp <sub>sv</sub>	48 kPa
Säätöventtiili 2	Ehdotettu säätöventtiili	<b>k<sub>vs_</sub> ehdotettu</b>	<b>100 m<sup>3</sup>/h</b>
	Valittu säätöventtiili	k <sub>vs_</sub> valittu	DN 80, kvs = 100 ▾ DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiilin osuus virtaamasta	k <sub>vs_</sub> sv2%	32 %
	Valitun venttiilin todellinen painehäviö	✓ Δp <sub>sv</sub>	48 kPa
Säätöventtiili 3	Ehdotettu säätöventtiili	<b>k<sub>vs_</sub> ehdotettu</b>	<b>50 m<sup>3</sup>/h</b>
	Valittu säätöventtiili	k <sub>vs_</sub> valittu	DN 65, kvs = 50 ▾ DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiilin osuus virtaamasta	k <sub>vs_</sub> sv3%	16 %
	Valitun venttiilin todellinen painehäviö	✓ Δp <sub>sv</sub>	48 kPa
Säätöventtiili 4	Ehdotettu säätöventtiili	k <sub>vs_</sub> ehdotettu	m <sup>3</sup> /h
	Valittu säätöventtiili	k <sub>vs_</sub> valittu	DN 65, kvs = 63 ▾ DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiilin osuus virtaamasta	k <sub>vs_</sub> sv4%	
	Valitun venttiilin todellinen painehäviö	Δp <sub>sv</sub>	kPa
Tulokset	Säätöventtiili 1	30,78 dm <sup>3</sup> /s	DN 100, kvs = 160 DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiili 2	19,24 dm <sup>3</sup> /s	DN 80, kvs = 100 DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiili 3	9,62 dm <sup>3</sup> /s	DN 65, kvs = 50 DN/m <sup>3</sup> /h
	Säätöventtiili 4	-	- DN/m <sup>3</sup> /h
	Valittujen säätöventtiilien yht. lask. todellinen painehäviö	✓ Δp <sub>säätö</sub>	48 kPa
Valittujen säätöventtiilien yht.lask. auktoriteetti	✓ a <sub>v_</sub> säätö	0,48 -	

Lisää venttiililuetteloon

## Säätöventtiilin mitoitus kiinteistön toisioverkostoon



Tällä taulukolla voidaan mitoittaa kiinteistön toisioverkostojen 2- ja 3-tiesäätöventtiilit. Esimerkiksi ilmanvaihdon lämmitys-, jäähdytys sekä lämmöntalteenottopatterien säätöventtiilit sekä lämmitys- ja jäähdytysverkostojen shunttipiirien säätöventtiilit. Mitoituksessa sovelletaan LVI-kortin LVI-12-10126 mitoitusohjetta.

### Lähtötiedot:

#### Virtaama ja teho:

Laskennan peruste (teho / virtaama)	Laskenta perustuu tunnettuun tehoon	▼
Säätöpiirissä virtaava liuos	Vesi, H2O	▼
Liuoksen seossuhde (massaprosentti)	$m_{seos}$	40 % %
Mitoittava virtaavan liuoksen menolämpötila	$T_{vm}$	10,0 °C
Mitoittava virtaavan liuoksen paluulämpötila	$T_{vp}$	16,0 °C
Mitoittava säätöpiirin lämpöteho	$\Phi$	240,0 kW
Keskimääräinen säätöpiirin liuoksen lämpötila	$T_{vkm}$	13 °C
Säätöpiirin liuoksen ominaislämpökapasiteetti keskim. lämpötilassa	$c_{pv}$	4,190 kJ/kgK
Säätöpiirin liuoksen ominaispaino keskim. lämpötilassa	$\rho_v$	0,999 kg/dm <sup>3</sup>
Mitoittava säätöventtiilin tilavuusliuosvirta (ensiö)	$q_v$	9,6 dm <sup>3</sup> /s
Mitoittava säätöpiirin lämpöteho	$\Phi$	240,0 kW

#### Käytössä oleva paine ja mitoitusrajoitukset

Painehäviö siinä putkiston osassa jossa vesivirtaa säädetään	$\Delta p_{100}$	30 kPa
Säätöventtiilin minimi vaikutusaste	$a_v$	0,25 x/1
Selvitys painehäviöistä ja mitoitusrajoituksista	-	

### Säätöventtiilien mitoitus:

Säätöventtiili 1	Säätöventtiilin mitoituspaine-ero	$\Delta p$	30 kPa
	Ehdotettu säätöventtiili	$k_{vs\_ehdotettu}$	63 m <sup>3</sup> /h
	Valittu säätöventtiili	$k_{vs\_valittu}$	DN 80, kvs = 80 ▼ DN/m <sup>3</sup> /h
	Valitun venttiilin todellinen painehäviö	$\Delta p_{sv}$	18 kPa
Tulokset	Säätöventtiili 1	DN 80, kvs = 80 DN/m <sup>3</sup> /h	
	Valitun säätöventtiilin todellinen painehäviö	$\Delta p_{säätö}$	18 kPa
	Valitun säätöventtiilin auktoriteetti	$a_v$ säätö	0,38 x/1

Lisää venttiililuetteloon

**Säätöventtiilien vertailu****RAMBOLL**

Tällä taulukolla voidaan tutkia ilmanvaihdon lämmityspatterin liuosverkoston säätöventtiilin painehäviötä, auktoriteettia ja lämmönsiirtimen suhteellista tehoa säätöventtiilin säätöosan eri asennoilla. Laskenta on tehty LVI-kortin LVI 12-10126 laskentaa mukaillen.

**Lähtötiedot:****Lämmönsiirtimen (lämmönlvovuttimen) ilmapuolen mitoitustiedot**

Mitoittava lämmönsiirtimestä lähtevän ilman tilavuusvirta	$q_{vi}$	836	dm <sup>3</sup> /s
Mitoittava lämmönsiirtimeen saapuvan ilman lämpötila	$t_{iu}$	-26	°C
Mitoittava lämmönsiirtimeltä lähtevän ilman lämpötila	$t_{isp}$	18	°C

**Lämmönsiirtimen (lämmönlvovuttimen) nestepuolen mitoitustiedot**

Lämmönsiirtimen säätötapa	Sekoitus säätö (vakiovirtaama siirtimessä) ▼		
Lämmönsiirtoneste	Vesi, H2O ▼		
Jäänestoaineen pitoisuus liuoksessa (massaprosentti)	$m_{liuos}$		%
Mitoittava virtaavan liuoksen menolämpötila (verkosto)	$T_{vvm}$	60,0	°C
Mitoittava virtaavan liuoksen menolämpötila (patteri)	$T_{vmp}$	50,0	°C
Mitoittava virtaavan liuoksen paluulämpötila	$T_{vvp}$	30,0	°C
Tarvittava säätöpiirin lämpöteho	$\Phi$	44,0	kW
Keskimääräinen säätöpiirin liuoksen lämpötila	$T_{vkm}$	45	°C
Säätöpiirin liuoksen ominaislämpökapasiteetti keskim. lämpötilassa	$c_{pv}$	4,179	kJ/kgK
Säätöpiirin liuoksen ominaispaino keskim. lämpötilassa	$\rho_v$	0,990	kg/dm <sup>3</sup>
Tarvittava säätöventtiilin tilavuusliuosvirta (ensiö)	$q_v$	0,4	dm <sup>3</sup> /s

**Säätöpiirin painehäviö**

Painehäviö siinä putkiston osassa jossa vesivirtaa säädetään	$\Delta p_{100}$	30	kPa
Mitoittava kv-arvo	$k_v$	2,33	m <sup>3</sup> /h

### Venttiilien vertailu:

#### Säätöventtiilin vertailun lähtötiedot

Kvs-arvo johon verrataan muita vaihtoehtoja

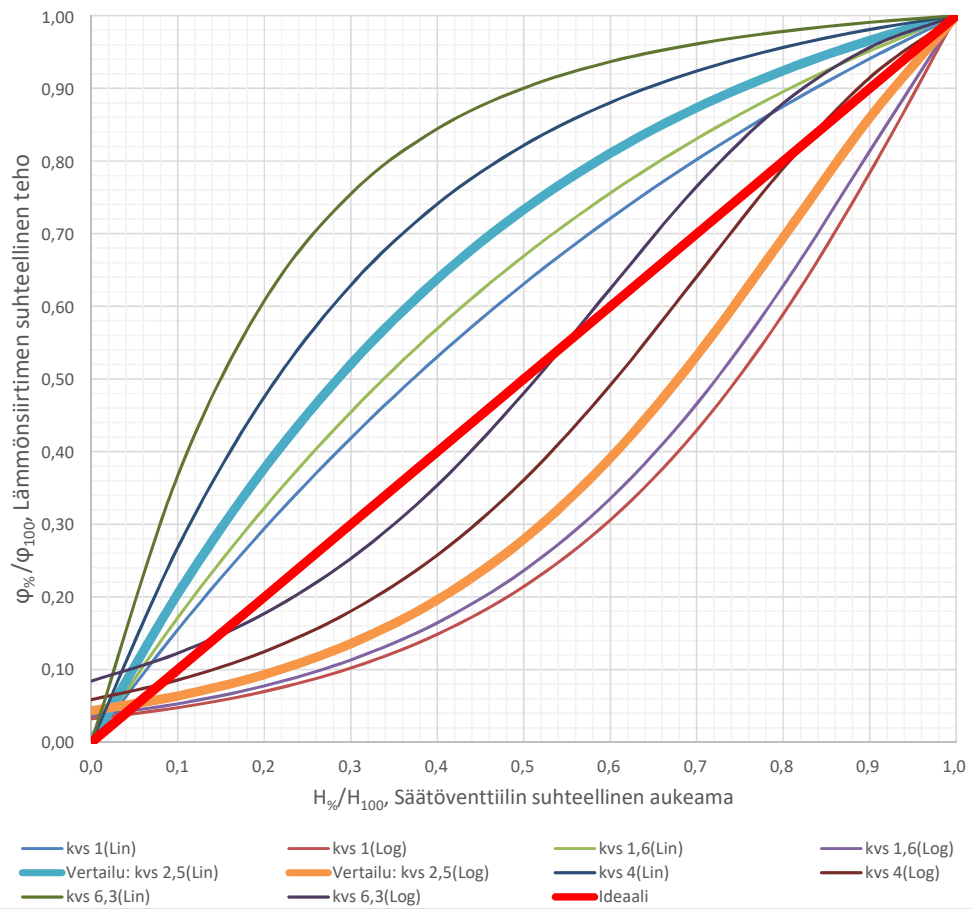
k <sub>vs_valittu</sub>	2,5	▼	m <sup>3</sup> /h
S	50:1	▼	-

Vertailussa käytettävä venttiilin säätösuhde

#### Vertailu

Venttiilin k <sub>vs</sub>	k <sub>vs</sub>	Δp <sub>sv</sub>	a <sub>v_säättö</sub>	a	Φ <sub>min</sub> /Φ <sub>100</sub>	Φ <sub>min</sub>	(P <sub>vert</sub> / P)
#	m <sup>3</sup> /h	kPa	x/1	-	%	kW	%
kvs 1	1	163	↑ 0,84	0,714	2,96 %	1,30	344 %
kvs 1,6	1,6	64	↑ 0,68	0,714	3,29 %	1,45	167 %
<b>Vertailu: kvs 2,5</b>	<b>2,5</b>	<b>26</b>	→ <b>0,46</b>	<b>0,714</b>	<b>3,95 %</b>	<b>1,74</b>	<b>100 %</b>
kvs 4	4	10	↓ 0,25	0,714	5,27 %	2,32	72 %
kvs 6,3	6,3	4	↓ 0,12	0,714	7,47 %	3,29	61 %


Lämmönsiirtimen suhteellinen teho säätöventtiilin eri aukeamilla



## TOTEUTUSTA VARTEN

2	Ks. Muutoslehti 2	VSi	16.03.2018
1	Toteutusta varten; ks. Muutoslehti 1	VSi	16.03.2018
C	Lisäkirje 2; ks. Lisäkirje 2	VSi	02.02.2018
B	Lisäkirje 1; ks. Lisäkirje 1	VSi	25.01.2018

Muutos Kuvaus Suunn. Päiväys

K-osa/Kylä <b>1</b>	Kortteli/Tila <b>001</b>	Tontti/Rn:o <b>01</b>	Viranomaisen arkistointimerkintöjä varten -
Rakennuksen numero/Rakennusten numerot/Rakennustunnus/Rakennustunnukset <b>RATU 12345</b>			Koordinaattijärjestelmä/Korkeusjärjestelmä -
Rakennustoimenpide <b>UUDISRAKENNUS</b>			Piirustuslaji <b>YHTEISET PIIRUSTUKSET (LVIA)</b>
Rakennuskohteen nimi ja osoite <b>YAMK -OPINNÄYTETYÖ TESTIKATU 1 00100 HELSINKI</b>			Piirustuksen sisältö <b>SÄÄTÖVENTTIILILUETTELO</b>
 Ramboll Finland Oy Säterinkatu 6 02601 Espoo puh. 020 755 611			Työ n:o <b>12345</b>
Suunn. Vsi			Tiedosto <b>Säätöventtiilin valintaxlsx_2_6_8_Ville_Sipola.</b>
Tark. Vsi			Suunn.ala Pii.nro
Hyv. Vsi			Muutos
Vastuullinen suunnittelija: Nimi, tutkinto, allekirjoitus ja päiväys <b>Ville Sipola Ins. (AMK)</b>			<b>LVI -0104</b>
21.01.2018			<b>2</b>

**YAMK -OPINNÄYTETYÖ**  
**TESTIKATU 1**  
**00100 HELSINKI**  
**12345**

**LVI-0104**  
**SÄÄTÖVENTTIILILUETTELO**  
**TOTEUTUSTA VARTEN**

Revisio 2  
 Laatiija VSi  
 Pvm. 16.03.2018

Rivi no.	Rev. #	Positio #	Vaikutusalue / säädettävä laite #	Mitoitusvirtaama dm <sup>3</sup> /s	Todellinen painehäviö kPa	kvs-arvo m <sup>3</sup> /h	Venttiilin koko DN (mm)	Paine- luokka PN, Bar	Venttiili- tyyppi #	Toimilaitetyyppi #	Huom / lisätiedot #	Urakka	
												toimittaa #	asentaa #
1	1	101FV01	Lämmitysverk. / 101LS01	1,28	53,6	6,3	25	16	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU
2	1	101FV02	Lämmitysverk. / 101LS01	0,51	53,6	2,5	15	16	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU
3	2	102FV01	<b>IV-lämmitysverk. / 102LS01</b>	<b>0,84</b>	<b>56,9</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>2-tie</b>	<b>24 V, 0-10 V</b>	<b>Tasapros. ominaiskäyrä</b>	<b>RAU</b>	<b>PU</b>
4	2	102FV02	<b>IV-lämmitysverk. / 102LS01</b>	<b>0,52</b>	<b>56,9</b>	<b>2,5</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>2-tie</b>	<b>24 V, 0-10 V</b>	<b>Tasapros. ominaiskäyrä</b>	<b>RAU</b>	<b>PU</b>
5	1	201FV01	Lämmin käyttöv. / 201LS01	0,8	52,4	4	15	16	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU
6	1	401FV01	Jäähdytysverk. / 401LS01	30,78	48	160	100	16	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU
7	1	401FV02	Jäähdytysverk. / 401LS01	19,24	48	100	80	16	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU
8	1	401FV03	Jäähdytysverk. / 401LS01	9,62	48	50	65	16	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU
9	1	301FV04	301LTO / 301GP01	1,37	61,4	6,3	25	10	3-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. omin. / Laippaliitok	RAU	PU
10	1	301FV02	301TK01 / 301LP02	3,62	17,2	31,5	50	6	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU
11	1	301FV04	301TK01 / 301JP04	9,55	18,5	80	80	16	2-tie	24 V, 0-10 V	Tasapros. ominaiskäyrä	RAU	PU