

Opinnäytetyö (AMK)

Tekniikan insinööri

2021

Antti Salama

# ENERGIAVENTTIILI ILMASTOINTIKONEEN LÄMMITYSSÄÄDÖSSÄ

Antti Salama

# ENERGIAVENTTIILI ILMASTOINTIKONEEN LÄMMITYSSÄÄDÖSSÄ

Opinnäytetyössä käsitellään rakennusten energiankulutusta sekä lämmönjakojärjestelmiä. Tarkemmin syvennytään ilmastointikoneen lämmityssäätöön, sekä yleisimmin käytössä oleviin säätöventtiileihin ja niiden mitoitusperiaatteeseen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ilmastointikoneen lämmityssäädön parannusmahdollisuuksia. Työssä perehdyttiin energiaventtiiliin ominaisuuksiin, ja tutkittiin sen tuomia mahdollisuuksia ilmastointikoneen lämmityksen säätöventtiilinä. Tarkasteltavaan toimistokiinteistöön asennettiin kahteen ilmastointikoneeseen energiaventtiilit, ja testien perusteella vertailtiin ratkaisua perinteiseen paineesta riippuvaiseen säätöventtiiliratkaisuun verrattuna.

Energiaventtiililtä on luettavissa virtaus- ja energiankulutustiedot rakennusautomaatiojärjestelmään, ja tätä tietoa hyödyntämällä saadaankin huomattavaa parannusta ilmastointikoneen energiaseurantaan, ja lämmityssäädön toiminnan valvontaan. Testien perusteella, tarkasteltavassa kohteessa lämmityssäätö todettiin toimivaksi vanhallakin venttiiliratkaisulla, eikä energiaventtiilillä saatu aikaan varsinaista parannusta säädön toimivuuteen.

Kaiken kaikkiaan venttiili toimi valmistajan lupaamalla tavalla, ja sen ominaisuudet ovat varmasti hyödynnettävissä useissa eri tapauksissa.

## ASIASANAT:

Säätöventtiili, paineesta riippumaton, rakennusautomaatio, energiatehokkuus.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical engineering | HVAC

2020 | 53 pages

Instructor: Juha Leimu, Principal Lecturer (Turku University of Applied sciences)

Antti Salama

# ENERGY VALVE IN AIR-CONDITIONER HEATING CONTROL

The aim of the thesis was to research potential improvements in heating control of an air conditioner. This thesis describes the main features of the energy valve and, research the potential of it as a heating coil control valve. In the field study, two energy valves was installed at the site. Based on the results, the solution was compared to a traditional pressure-dependent control valve solution.

Flow and energy consumption data can be read out from the energy valve, which is a significant improvement to the energy monitoring, and the operation of heating control monitoring. Based on the field tests, the heating control was found to work well even with the old pressure-dependent control valve, and the energy valve did not bring actual improvement in the operation of the heating control.

Overall, the energy valve worked as promised by the manufacturer, and its features can certainly be exploited in numerous different cases.

## KEYWORDS:

Control valve, pressure independent, building automation, energy efficiency

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>6</b>
<b>2 LÄMMITYKSENSÄÄTÖ RAKENNUKSISSA</b>	<b>8</b>
2.1 Rakennusten energiankulutus	8
2.2 Rakennusten lämmönjakojärjestelmät	10
2.3 Ilmastointikoneen lämmityssäätö	13
2.4 Ilmastointikoneen lämmitysventtiilin toimintaperiaate	16
2.5 Paineesta riippuvainen säätöventtiili	18
2.6 Paineesta riippumaton säätöventtiili	20
2.7 Venttiilien vertailu (paineesta riippumaton vs. paineesta riippuvainen venttiili)	22
2.8 Lämmityspatterin delta-T	23
<b>3 IV-KONEEN LÄMMITYSSÄÄDÖN PARANTAMINEN</b>	<b>25</b>
3.1 Tarkasteltava kiinteistö ja ilmastointikoneet	26
3.2 Energiaventtiilin ominaisuudet	28
3.3 Venttiilin asennus ja käyttöönotto	37
<b>4 ENERGIAVENTTIILIN TOIMINTA KÄYTÄNNÖSSÄ</b>	<b>40</b>
4.1 Testiajot	41
<b>5 ENERGIAVENTTIILIN JA VANHAN VENTTIILIRATKAISUN VERTAILU</b>	<b>46</b>
5.1 Venttiilin virtaussäätö	47
5.2 Venttiilin energia- ja virtausmittaus	48
5.3 Energiatehokkuuden parantaminen	49
<b>6 POHDINTA</b>	<b>50</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>53</b>

## KUVAT

Kuva 1. Energian loppukäytön jakaantuminen vuonna 2019. (Motiva Oy, 2020)	8
---	---

Kuva 2. Kaukolämpösiirtimeen säätökaavio.	12
Kuva 3. Ilmastointikoneen säätökaavio.	15
Kuva 4. Ilmastointikoneen lämmityspatterin putkikytkentä.	17
Kuva 5. Säästöventtiilin virtauskaavio. (Siemens, 2006)	19
Kuva 6. Säästöpalloventtiilin toimintaperiaate. (Belimo Finland Oy, 2021)	21
Kuva 7. Paineesta riippumattoman venttiilin paine-eron ja virtauksen suhde. (Belimo Finland Oy, 2021)	22
Kuva 8. Tarkasteltavan ilmastointikoneen säätökaavio.	28
Kuva 9. Belimo EV020R+BAC energiaventtiili. (Belimo, 2021)	29
Kuva 10. Venttiilin virtausalueen asettelu. (Belimo, 2021)	31
Kuva 11. Venttiilin tehoalueen asettelu. (Belimo, 2021)	32
Kuva 12. Periaatekuva lämmityspatterin virtauksen ja tehon funkiosta. (Belimo, 2021)	34
Kuva 13. Jäähdytyspatterin tehonluovutuskäyrä Massachusettsin kenttätutkimuksesta. (Henze et al., 2013)	36
Kuva 14. Kuvat ennen ja jälkeen venttiilin asennuksen.	38
Kuva 15. Energiaventtiilin käyttöliittymän yleiskatsaus-sivu	40
Kuva 16. Tarkastelujakson energian- ja vesimääränsyöttö.	42
Kuva 17. Tarkastelujakson aikainen virtaama ja delta-T.	43
Kuva 18. Tarkastelujakson aikainen teho.	43
Kuva 19. Venttiilien reagointi paine-eron muutokseen.	45

## TAULUKOT

Taulukko 1. Tarkasteltavan ilmastointikoneen LTO:n tiedot.	27
Taulukko 2. Tarkasteltavan koneen lämmityspatterin tiedot.	27

# 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena on perehtyä uudentyyppisen venttiiliratkaisun tuomiin mahdollisuuksiin ilmastointikoneen lämmityssäädön hallittavuuden, ja energiaseurannan parantamiseksi.

Suomen viileän ilmaston takia rakennusten lämmittämiseen kuluva energiamäärä on merkittävä, ja siksi rakennusten lämmityssäädön parantamisella on suhteellisen iso merkitys energiankulutuksen vähentämisessä. Alati kiristyvät energiamääräykset myös lisäävät tarvetta energiankulutuksen mittaamiseen ja seurantaan.

Viime vuosina rakennusten automaatiojärjestelmät ovat kehittyneen huomattavasti, mutta ilmastointikoneissa yleisesti käytössä olevat venttiiliteknologiat eivät ole juurikaan kehittyneet. Vaikka venttiilivalmistajilta on jo useamman vuoden ajan ollut saatavilla kehittyneempiä venttiiliratkaisuja perinteisen paineesta riippuvaisen venttiilin lisäksi, niiden käyttö rakennusten ilmastointikoneissa on kuitenkin vielä suhteellisen vähäistä.

Rakennusten energiankulutukseen kiinnitetään tänä päivänä yhä enemmän huomiota, ja tämän takia ilmastointikoneilta pitäisi pystyä saamaan reaaliaikaista tietoa järjestelmän tilasta huoltohenkilökunnan ja energiamanagerien käyttöön. Nopea reagointi vikatilanteisiin ja kulutuspoikkeamiin on erittäin tärkeää. Yksittäisten ilmastointikoneiden energiaseurannat ovat vielä suhteellisen harvinaisia, ja suuremman massan kulutustietoja analysoitaessa on vaikeampi päästä kiinni yksittäisiin ongelmakohtiin.

Tämän työn teoriaosassa käsitellään aluksi yleisesti rakennusten energiankulutusta sekä lämmitysjärjestelmiä, jonka jälkeen perehdytään tarkemmin ilmastointikoneen lämmityssäädön toimintaan. Työssä esitellään ilmastointikoneissa yleisimmin käytettävät venttiilityypit, niiden ominaispiirteet sekä mitoitusperiaate. Teoriaosuudessa käsitellään myös patterin optimaalisen delta-T:n vaikutusta energiatehokkuuteen. Lähdeaineistona käytetystä aiemmasta tutkimustiedosta suurin osa liittyy jäähdytyssäädön parantamiseen. Jäähdytyspattereilla paineesta riippumattomalla venttiilillä, sekä optimoimalla patterin meno- paluunesteen lämpötilaeroa on pystytty parantamaan patterin energiatehokkuutta. Tässä työssä pyritään selvittämään, pystytäänkö uudella venttiiliratkaisulla säävuttamaan vastaavaa parannusta myös ilmastointikoneen lämmitysventtiilikäytössä. Työssä perehdytään tarkemmin energiaventtiiliin, jolla pitäisi olla mahdollista toteuttaa tarkka virtausmittaukseen perustuva lämmityssäätö, sekä mahdollistaa

lämmitysenergian kulutusseuranta. Venttiilissä on myös sisäänrakennettu delta-T:n hallintalogiikka, jonka avulla voisi olla mahdollista saavuttaa energiansäästöjä.

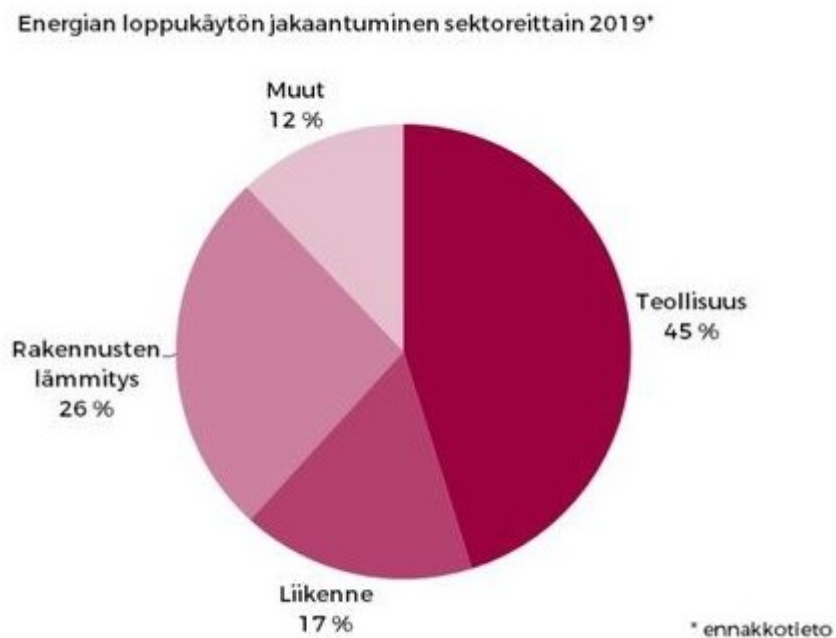
Tarkastelu rajataan yleisilmastointikoneen lämmityssäätöön. Työn edetessä toimistorakennuksen ilmastointikoneeseen asennetaan kaksi kappaletta energiaventtiileitä käytännön toiminnan testausta varten. Venttiileiltä kerätään tarkastelujakson historiatieto, jonka perusteella pyritään selvittämään, onko ilmastointikoneen lämmityssäätöä, energiatehokkuutta sekä energianseurantaa mahdollista parantaa kyseisellä venttiiliratkaisulla.

## 2 LÄMMITYKSENSÄÄTÖ RAKENNUKSISSA

### 2.1 Rakennusten energiankulutus

Rakennusten energiankulutus ja -tehokkuus on keskeisessä osassa, kun puhutaan energiankäytön ja päästöjen vähentämisestä maailmanlaajuisesti. IEA (International Energy Agency) mukaan rakennusten osuus vastaa yli kolmannesta maailman energian kokonaiskulutuksesta. Rakennusten energiankulutus on noussut vuositasona noin 1,1% vuodesta 2000. (Abergel et al., 2019)

Motiva on suomalainen kestävän kehityksen yhtiö, joka tarjoaa yrityksille, julkisille toimijoille sekä yrityksille tietoa, jonka avulla voidaan tehdä energiatehokkaita ja kestäviä valintoja. Motivan mukaan Suomessa rakennusten osuus energian loppukäytöstä on noin 40%. Suomen suhteellisen viileän ilmaston takia lämmitysenergian kulutus on merkittävässä osassa, ja Motivan mukaan vuonna 2018 pelkästään rakennusten lämmitykseen kului 26% (kuva 1) energian loppukäytöstä. Vertailun vuoksi liikenteen osuus oli 17%. (Motiva Oy, 2020b)



Kuva 1. Energian loppukäytön jakaantuminen vuonna 2019. (Motiva Oy, 2020)



Rakennuksen lämmitysenergian tarve, esimerkiksi normaalissa toimistorakennuksessa koostuu käyttöveden lämmittämisestä, ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisestä sekä tilojen suorasta lämmittämisestä (esim. patteri- ja lattialämmitysverkostot). Käyttöveden lämmittämisen energiatehokkuuteen ei teknologialla pysytä juurikaan vaikuttamaan, koska verkostoon tarvitaan vakiolämpötila kaikissa olosuhteissa vuorokauden- ja vuodenajasta riippumatta. Toki käyttöveden säädössäkin toimimattomat laitteet voivat aiheuttaa ylimääräistä kulutusta. (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon-tarpeen laskenta, D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö.2013)

Rakennuksissa ilmanvaihdon tuloilman lämmittämisen osuus kokonaisenergian kulutuksesta riippuu aina rakennustyyppistä ja käyttötarkoituksesta, mutta se on joka tapauksessa merkittävä osa kulutusta. Ilmastoinnin tuloilman toimivalla säädöllä ja oikein mitoitetuilla venttiileillä on siksi merkittävä vaikutus energiankulutukseen. Myös ilmastointikoneen tuloilman lämmittämiseen kuluvan energian mittaamisella ja analysoinnilla voidaan saavuttaa energiansäästöjä, koska vikaantuneet laitteet, esimerkiksi lämmöntalteenotto-laitteen tehottomuus tai vuotavat venttiilit pystytään havaitsemaan helpommin kulutusmuutosten perusteella. Ilmastointikoneessa pystytään automaation avulla saavuttamaan säästöjä myös tilojen tarpeenmukaisen säädön avulla. Toisin kuin käyttöveden lämmittämässä, ilmastoinnin ei tarvitse välttämättä toimia aina täysillä, eikä täydellä lämmitysteholla, vaan olosuhteista voidaan tinkiä aikoina, kun tilassa ei ole käyttöä.

Uudisrakennuksien vaikutukset rakennuskannan energiatehokkuuteen tulevat näkyviin vasta myöhemmin, ja siksi olemassa olevien laitteiden modernisointi ja ylläpito ovat keskeisessä osassa. Vanhassa rakennuksessa on usein myös kustannustehokkaampaa pyrkiä vähentämään energiankulutusta, kuin investoida esimerkiksi lämmitystavan muutokseen.

EU:n rakennusten energiatehokkuusdirektiivin (EPBD, 2018/844/EU) uusien säädösten seurauksena rakennusten lämmityksen ja ilmastoinnin seurantamahdollisuudet tulevat lisääntymään automaation ja älykkäiden teknologioiden avulla. (Ympäristöministeriö, )Rakennusten ilmastointia ja lämmitystä on ohjattu jo pitkään suhteellisen kehittyneillä rakennusautomaatiojärjestelmillä, mutta energiankulutuksen seuranta on lisääntynyt huomattavasti viime vuosina, ja tulee varmasti vielä lisääntymään.

Suomen ympäristökeskuksen selvityksessä *”Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi: Automaatiovelvoite, tekniset järjestelmät sekä lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastukset”* on

pohdittu automaatio- ja ohjausteknologioihin liittyvien direktiivimuutosten vaikutusta. Raportin tekijät toteavat automaatiojärjestelmien olevan Suomessa hyvällä tasolla, ja varsinkin suurissa rakennuksissa yleisiä jo nyt. (Kangas et al., 2019)

On totta, että esimerkiksi ilmastointikoneiden ohjausjärjestelmät toimivat kokemuksen perusteella hyvin, mutta energiankulutuksen seuranta, tai varsinkaan energiankulutuksen poikkeamista raportoivat järjestelmät eivät ole vielä kovinkaan yleisiä. Verkostoihin ja IV-koneisiin asennettujen antureiden sijoittelussa ja automaation ohjelmoinnissa pääpaino on yleisesti ottaen mielestäni prosessin säädön toimivuudessa, joka sinällään on tärkeä asia, mutta energiankäytön näkökulmasta pitäisi panostaa myös mittauksiin, jotka eivät välttämättä vaikuta suoraan prosessin toimivuuteen, vaan kertovat olosuhteista ja kokonaisuuden toimivuudesta.

Automaatiojärjestelmään liitettyjä energiankulutusmittauksia uusissa kiinteistöissä on jo lähes poikkeuksetta, mutta yksittäisten IV-koneiden lämmitysenergian mittaukset ovat vielä verrattain vähäisiä. Yleensä mitataan suurempia järjestelmiä, esimerkiksi koko IV-verkoston kulutusta. Nykyaikaiset automaatiojärjestelmät ovat niin kehittyneitä, että energiamittauksia pystytään lähes kaikissa tapauksissa toteuttamaan kustannustehokkaasti. Esimerkiksi IV-koneen lämmityspatterin teho pystytään mittaamaan suoraan automaatiojärjestelmään liitettyjen antureiden perusteella, tai erillisellä energiamittarilla.

Ympäristökeskuksen selvityksessä myös todetaan, että *”automaation osuus on noin 1 - 3% rakennuksen suunnittelu ja rakennuskustannuksista”* (Kangas et al., 2019). Vaikka automaatioinvestoinnin kustannukset koko rakennusprojektiin nähden ovat siis pienet, päästään toimivalla rakennusautomaatiolla erittäin tehokkaasti vaikuttamaan rakennuksen energiankulutukseen ja seuraamaan sitä.

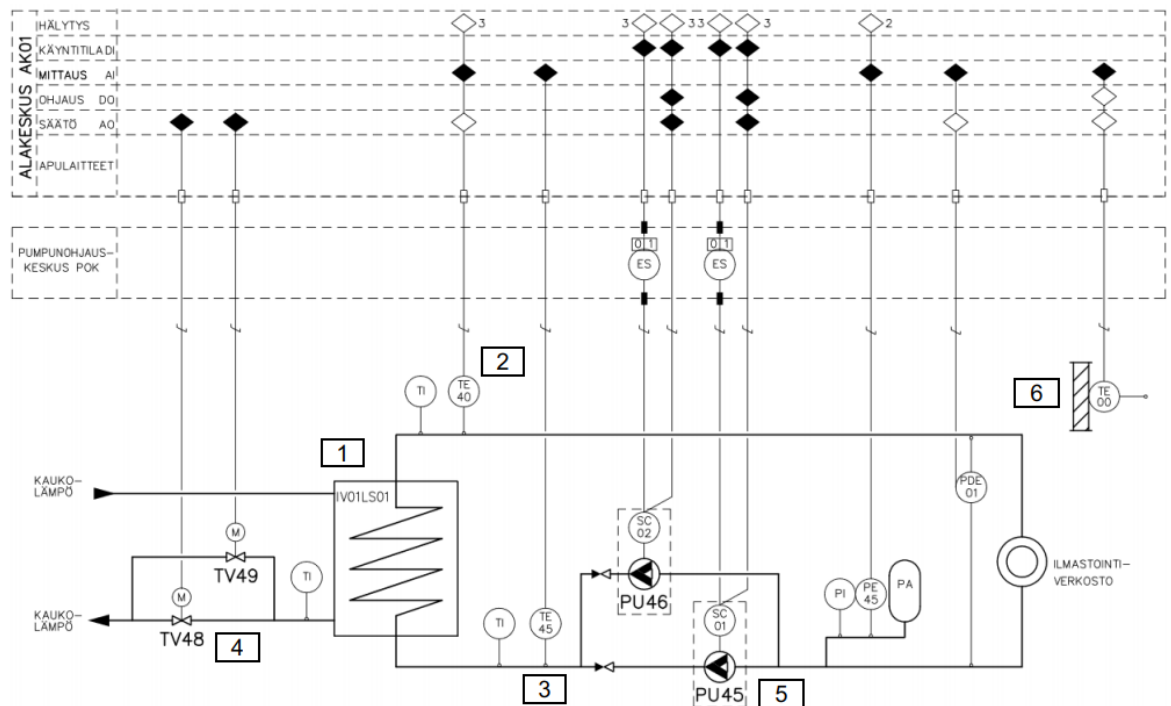
Tarkan ja energiatehokkaan lämmityssäädön toteuttamiseen tarvitaan siis toimiva rakennusautomaatiojärjestelmä ja laadukkaat kenttälaitteet ja venttiilit. Tässä työssä keskitytään yleisilmastointikoneen lämmityssäätöön ja tutkitaan, pystytäänkö kehittyneemmällä lämmitysventtiiliratkaisulla saamaan parannusta IV-koneen lämmityssäätöön, energiatehokkuuteen ja energiankulutuksen seurantaan.

## 2.2 Rakennusten lämmönjakojärjestelmät

Rakennuksen lämmitykseen käyttävä energia tuodaan yleensä ensin kiinteistön lämmönjakohuoneeseen, josta se jaetaan tiloja lämmittävälle laitteille. Isommissa

kiinteistöissä useimmiten käytössä on vesikiertoinen lämmitysjärjestelmä, jossa lämpöenergia tuodaan esim. kaukolämpöverkossa lämmönsiirtimille, josta se siirretään lämmitysverkostoihin. Nykypäivänä myös maalämpöpumput tai erilaiset vesi-ilmalämpöpumput ovat yleisiä, mutta toimintaperiaate niissä lämmönjaon näkökulmasta on sama. Lämmönsiirtimen ensiöpuolen energia siirretään toisiopuolen lämmitysverkostoille, kuten esimerkiksi lattialämmitys-, patteri- ja IV-verkostoille. Lämmitysverkostojen lämpötilansäätö perustuu ulkolämpötilakompensoituun käyrään, joka määräytyy rakennuksen lämmitystarpeen ja verkostojen mitoituksen mukaan. Lämmitysverkostojen säätö tapahtuu rakennusautomaation ja lämmitysventtiilien avulla.

Kuvassa 2 on erään toimistokiinteistön IV-verkoston kaukolämpösiirtimen säätökaavio, jossa on esitetty rakennusautomaatioon liitetyt IV-lämmitysverkoston säätölaitteet. IV-verkoston menoveden lämpötilan asetusarvo määräytyy ulkolämpötilan (kuvassa 6) perusteella. Lämpöyhtiön verkosta tuodaan kaukolämpöneste siirtimen ensiöpuolelle, ja kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyillä säätöventtiileillä TV48 ja TV49 (kuvassa 4) säädetään siirtimen läpi kulkevaa nestevirtaa tehon tarpeen mukaan. IV-verkoston pumput (kuvassa 5) PU45 ja PU46 kierrättävät lämmintä vettä verkostoon liitetyille IV-koneille, joiden avulla lämpö siirretään tuloilman mukana lämmitettäviin huoneiloihin.



1. Lämmönsiirrin IV01 LS01
2. IV-verkoston menoveden mittausanturi TE40
3. IV-verkoston paluuveden mittausanturi TE45
4. Kaukolämmön säätöventtiilit TV48 ja TV49
5. Kiertovesipumput PU45 ja PU46
6. Ulkolämpötila-anturi TE00

Kuva 2. Kaukolämpösiirtimen säätökaavio.

Lämmitysjärjestelmän tulisi toimia siten, että rakennuksen jokaisessa osassa saavutetaan tasaiset huonelämpötilat. Verkostojen tasapainotuksella on tähän suuri vaikutus, koska veden kierto pitää olla riittävä kaikissa kiinteistön osissa. Verkostojen tasapainotus tehdään putkistoon asennettujen linjasäätöventtiilien ja säätöventtiilien esisäätöjen avulla. Usein huonosti tasapainotetusta verkostosta seuraa tilanne, että jokin rakennuksen osa on viileä, ja kiinteistönhuoltoyhtiö korjaa tilannetta nostamalla verkoston menoveden lämmityskäyrää. Tämä korjaa tilanteen viileässä osassa, mutta aiheuttaa turhaa energiankulutusta ja lämpötilan nousua kiinteistön muissa osissa, joissa virtaama on riittävä.

Koska nykyään yhä useammin rakennusten lämmitykseen käytetään lämpöpumppuja, verkoston toimintalämpötiloilla ja virtauksella voi olla suuri merkitys koko lämmitysjärjestelmän hyötysuhteeseen. Lämpöpumppujen hyötysuhde saattaa huonontua, jos verkostolta palaavan veden lämpötila ei ole pumpulle mitoitettussa arvossaan.

Virtauksen ongelmiin pystyttäisiin saamaan parannusta käyttämällä paineesta riippumattomia venttiilejä. Paineesta riippumattomilla venttiileillä suunniteltu virtaamaa verkoston eri osissa saavutetaan, vaikka verkoston hydroninen tasapaino ei olisi täydellinen. Verkoston epätasapainon saattaa aiheuttaa esimerkiksi kiinteistössä tehtävät muutostyöt. Verkostoon myöhemmin lisättävät venttiilit vaikuttavat koko verkoston tasapainoon, ja näin olemassa oleva osa verkostosta ei välttämättä enää toimikaan sille alun perin suunnitellulla tavalla. Virtaamien suhteen paras lopputulos mielestäni saavuttaisiin käyttämällä paineesta riippumattomia venttiileitä ja rakennusautomaatiojärjestelmään liitettyjä virtausmittauksia, jolloin verkoston toiminta on valvottavissa ja poikkeamat pystytään toteamaan. Virtaaman ollessa suunnitellun mukainen, myös verkoston meno-, ja paluulämpötilat ovat suunnitteluarvoissaan ja patterit sekä lämpöpumput toimivat suunnitellulla tavalla.

### 2.3 Ilmastointikoneen lämmityssäätö

Yleensä rakennuksessa on siis useampi lämmitysverkosto, jolla tiloja lämmitetään, mutta tässä työssä perehdytään tarkemmin ilmastointikoneen lämmityssäätöön. Rakennus voi olla kokonaan ilmalämmitteinen, jolloin ilmastointikoneen lämmityssäätö on energiankäytön kannalta erittäin tärkeässä roolissa, mutta vaikka pääsääntöinen tilojen lämmitys tapahtuisi esim. lattia-, tai patterilämmityksellä, rakennuksissa yleensä joka tapauksessa kuitenkin on ilmastointikoneita, jotka vaativat oman lämmitysverkoston tuloilman lämmittämiseen.

Rakennuksessa ilmastoinnin tehtävänä on ylläpitää hyviä sisäilmaolosuhteita, lämmittää ja viilentää huonetiloja, huolehtia tilojen kosteustasapainosta ja poistaa ilman epäpuhtauksia. Suuri osa rakennuksen energiankulutuksesta tapahtuu siis ilmastointikoneen säätöprosesseissa. Johtuen Suomen viileästä ilmastosta, suuri osa ilmastointikoneen käyttämästä energiasta kuluu lämmitykseen. Ilmastointikoneen lämmityksen säädöllä ja energian seurannalla onkin merkittävä rooli kokonaisenergiankulutuksen vähentämisessä, ja se vaatii kehittyneitä järjestelmiä, sekä osaavaa kiinteistöjen ylläpitohenkilökuntaa.

Kirjassa Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät, Esa Sandberg tuo esiin asioita, joilla ilmastoinnin energiatehokkuutta pyritään parantamaan kohti nollaenergiarakennuksia. Toimenpiteitä ovat mitoitus tekniset ratkaisut, mm. kanavistojen ja putkistojen väljentäminen, järjestelmä tekniset ratkaisut mm. tarpeen mukainen ilmanvaihto ja

säätöjärjestelmien parantaminen sekä laitetekniset parannukset. Tämän työn pääpaino liittyy ohjaus- ja säätöjärjestelmien parantamiseen. Kaikissa energiatehokkuuden parannustoimissa oleellista mielestäni on kuitenkin kiinteistön osaava huoltohenkilökunta, ja aktiivinen energiankulutuksen valvonta, joka taas mahdollistetaan energiamittauksien riittävällä määrällä sekä säätölaitteiden kehittyneillä teknologioilla. (Sandberg, 2014)

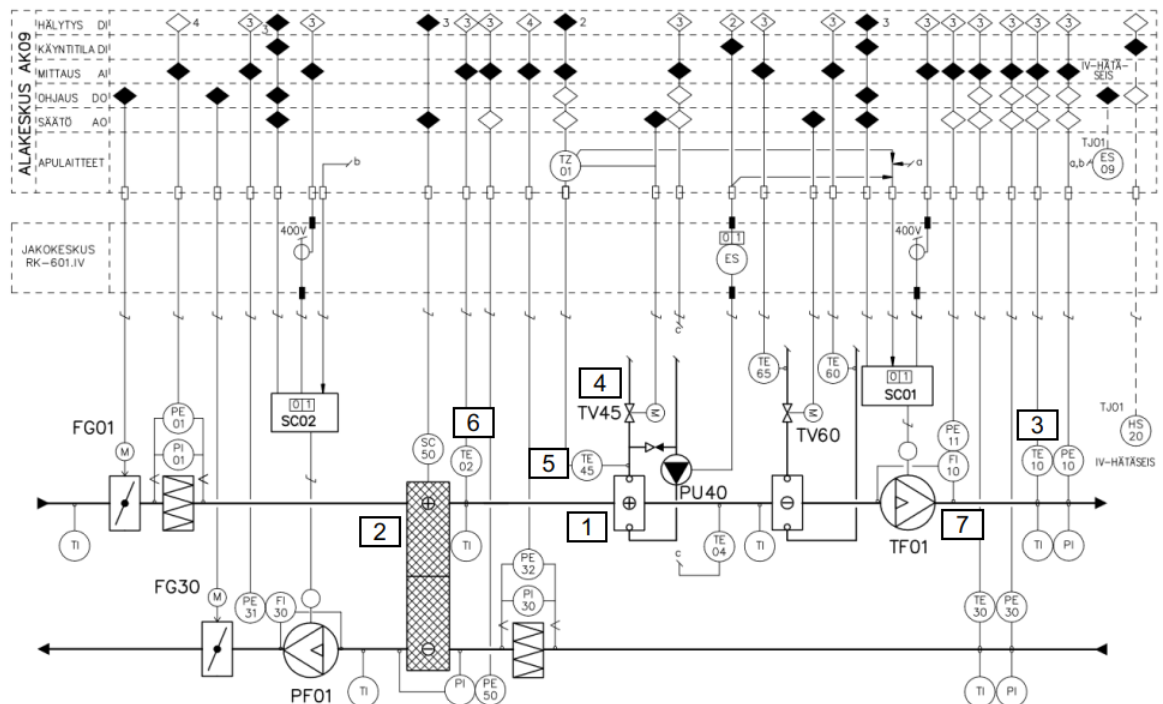
Vaikka käytännössä kaikki ilmastointikoneet nykypäivänä toimivat automaation ohjaamana, ei se välttämättä tarkoita, että IV-kone toimisi energiatehokkuuden näkökulmasta optimaalisella tavalla. Usein mielestäni edelleen ilmastointikoneen ohjausautomaatio suunnitellaan toiminta edellä, eikä energiankulutuksen seurantaan välttämättä kiinnitetä tarpeeksi huomiota. Tässä varmasti investointikustannuksilla on oma vaikutuksensa, koska esimerkiksi paineesta riippumattomat, saati energiankulutusta seuraavat venttiilit ovat tavallisia paineesta riippuvaisia perinteisiä säätöventtiileitä kalliimpia, eikä asiakas välttämättä ole edes tietoinen kaikista saatavilla olevista teknisistä ratkaisuista. Suunnittelijoiden valinnat ohjaavat kehitystä, mutta liian tarkoilla laitemäärytyksillä saatetaan taas osaltaan rajoittaa kilpailua sulkemalla jotkut laitetoimittajat pois.

Ilmastointikoneen tuloilman lämmitys voidaan toteuttaa erilaisilla lämmityspattereilla, mutta liike-, toimisto- ja julkisissa rakennuksissa yleinen tapa on vesikiertoinen lämmityspatteri. Työssä tarkastellaan nimenomaan tämän tyyppisiä ilmastointikoneita ja tällöin puhutaan tila-/ yleisilmastoinnista. Teollisuuden laitoksissa ilmastoinnin esisijainen tavoite on prosessin toimivuus, ja prosessi-ilmastoinnissa lämmityksensäädössä saateetaan käyttää erilaisia menetelmiä kuin yleisilmastoinnissa, esim. höyryä. (Sandberg, 2014)

Ilmastointikoneen tuloilman lämmittämiseen käytetään myös poistoilmasta talteen kerättyä lämpöenergiaa. Hyvällä lämmöntalteenottolaitteella voidaankin kattaa noin 50 – 80 % ilmastointikoneen lämmitysenergian tarpeesta. Poistoilman lämmöntalteenottoon käytetään pyöriviä lämmönsiirtimiä, levylämmönsiirtimiä ja nestekiertoisia lämmönsiirtimiä. Energiankulutuksen kannalta talteenoton tehokkaalla toiminnalla on iso merkitys, ja rakennusautomaation pitäisikin huolehtia hälytyksistä, jos talteenotto ei toimi sille suunnitellulla tehokkuudella. Hälytysten toteuttamiseen vaaditaan automaatiojärjestelmälle riittävät mittaus- ja energiankulutustiedot ilmastointikoneelta.

Kuvassa 3 on toimistorakennuksen IV-koneen säätökaavio, joka kertoo koneen automaatiojärjestelmään liitetyt mittaus-, tilatieto-, hälytys sekä säätöpisteet. Koneen tuloilman lämmityssäätö on toteutettu vesikiertoisella lämmityspatterilla (kuvassa 1) ja

pyörivällä lämmöntalteenottolaitteella (kuvassa 2). Tuloilman lämpötila TE10 (kuvassa 3) pyritään pitämään asetusarvossaan säätämällä lämmitystilanteessa ensimmäisenä portaana lämmöntalteenotto 100%-teholle, ja toisena säätöportana lisätään lämmityspatterin tehoa säätämällä lämmitysventtiiliä TV45 (kuvassa 4). Jäähdytystilanteessa toiminta on päinvastainen. Patterin jäätymissuoja-anturi TE45 (kuvassa 5) huolehtii, ettei patterilta palaava vesi laske liian alhaiselle tasolle jäätymisvaaran välttämiseksi. Ulko-  
lämpötila- ja TE02-lämpötila-anturilla (kuvassa 6) pystytään laskemaan LTO:n hyötysuhde ja teho. Koneessa olevat anturit ovat riittävät myös lämmityspatterin tehon mittaamiseen, joka voidaan laskea ilmamäärämittauksen FI10 (kuvassa 7) ja antureiden TE04 ja TE02 erotuksen perusteella.



Kuva 3. Ilmastointikoneen säätökaavio.

Voidaan todeta, että automaatiojärjestelmään liitetyillä antureilla pystytään kuvan 3 tapauksessa toteuttamaan koneen lämpötilansäätö hyvin, sekä valvomaan koneen energiankulutusta suhteellisen hyvin, tosin jäähdytyspatterin tehoa ei pystytä luotettavasti pelkillä ilman lämpötila-antureilla mittaamaan. Koneen säätöventtiilit ovat paineesta riippuvaisia, kiinteä kvs-arvoisia venttiileitä, eikä pattereiden aktiivista virtausta näin ollen pystytä mittaamaan. Ilman lämpötila-antureilla pystytään tuottamaan hälytykset LTO:n

tai pattereiden toimimattomuudesta, mutta kattavan raportointiohjelman tuottamiseksi paras lopputulos saataisiin patterikohtaisilla, vesiputkistoon liitetyillä energiamittauksilla. Paineesta riippumattomalla venttiiliratkaisulla pattereiden toiminta optimaalisella virtauksella ja lämpötila-alueella saataisiin varmistettua.

Aina kuitenkin ilmastointikoneessa ei välttämättä ole kaikkia kuvan 3 mukaisia mittauksia, koska toimiakseen kone ei niitä välttämättä vaadi. Kustannussyistä voidaan osa antureista jättää pois, mutta tällöin, vaikka koneen lämmityssäätö saadaankin toimimaan, ei energiaranseurainta välttämättä pystytä toteuttamaan. Kuvan 3 tapauksessa tällaisia antureita ovat esim. ilmamäärämittaukset (FIE10 ja FIE30) ja pattereiden jälkeiset lämpötilamittaukset (TE02 ja TE04).

## 2.4 Ilmastointikoneen lämmitysventtiilin toimintaperiaate

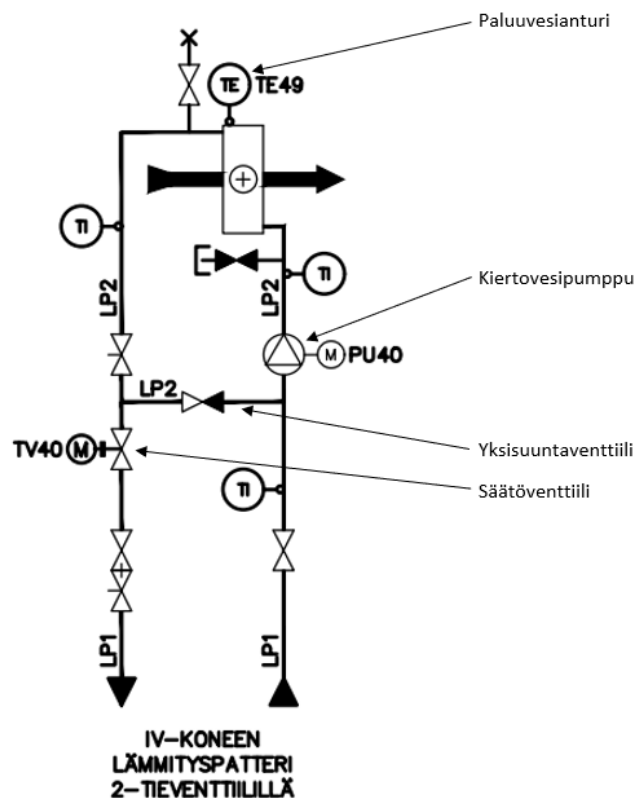
Ilmastointikoneen lämmitysventtiilin tehtävänä on säätää lämmityspatterilla kiertävän nesteen virtausta. Lämmityspatterilla virtaava neste lämmittää tuloilmaa, ja siten ylläpitää koneen vaikutusalueella halutut lämpötilaolosuhteet. Venttiilin asentoa säädetään siihen liitetyn elektronisen toimilaitteen avulla, joka on kytketty kiinteistön rakennusautomaatiojärjestelmään. Rakennusautomaatiojärjestelmä antaa toimilaitteelle viestin avautua tai sulkeutua IV-koneeseen liitettyjen antureiden mittaustuloksen perusteella. Lähes aina lämmitysventtiiliä säädetään tuloilmakanavaan asennetun mittausturin perusteella, pyrkien pitämään tuloilman lämpötila asetusarvossaan. Tuloilman asetusarvoa voidaan kompensoida poistoilman, tai ulkoilman lämpötilan perusteella, tai asetus voi olla kiinteä. Säättötapaa määräytyy aina kohteen käyttötarkoituksen perusteella.

Koska useimmiten lämmitysverkostossa kiertävä neste on vettä, tuloilma-anturin lisäksi, toinen suoraan lämmitysventtiiliin säätöön vaikuttava anturi on lämmityspatterin paluuviesiputkeen asennettu vesianturi. Tämän anturin tehtävänä on mitata patterilta palaavan veden lämpötilaa ja estää patterin jäätyminen avaamalla tarvittaessa venttiiliä, vaikka tuloilman lämpötilasäätö ei sitä pyytäisikään.

Yleisimmin käytössä oleva tuloilmakoneen lämmityspatterin putkikytkentä koostuu patterin paluuputkeen asennetusta kaksitiesäätöventtiilistä, kiertovesipumpusta, yksisuuntaventtiilistä ja paluuviesianturista. Kuvassa 4 on esitetty lämmityspatterin kytkentä ja oleelliset lämmityssäätöön vaikuttavat osat. Lämmitystarpeen kasvaessa venttiili TV40 avautuu, ja päästää patterille lämmintä nestettä verkostosta. Kun lämmitystarvetta ei ole,



ja venttiili on kiinni, kiertovesipumppu PU40 kierrättää nestettä patterilla yksisuuntaventtiilin läpi. Paluuviesianturi TE49 mittaa jatkuvasti patterilta palaavan nesteen lämpötilaa, ja avaa tarvittaessa venttiiliä nesteen lämpötilan ollessa liian alhainen. Jäätymisen estämiseksi viimeisenä varotoimena jäätymissuojatermostaatti pysäyttää tuloilmapuhaltimen paluunesteen laskiessa alle jäätymisriskin. Patterilla virtaavan nesteen ollessa vettä, käytetään jäätymissuojauksen rajana 7 – 8 °C:een lämpötilaa.



Kuva 4. Ilmastointikoneen lämmityspatterin putkikytkentä.

Markkinoilla on tarjolla useiden eri valmistajien venttiilejä erilaisiin käyttötarkoituksiin (esim. kaksitie-, ja kolmitieventtiilit, istukka- ja säätöpalloventtiilit, laippa- ja kierreventtiilit, paineesta riippumattomat venttiilit, älykkäät energiaventtiilit).

## 2.5 Paineesta riippuvainen säätöventtiili

IV-koneen patterin ja venttiilin mitoitus tehdään lämmitystehon tarpeen mukaan. Kun patterilta haluttu teho on tiedossa, säätöventtiilin valintaan vaikuttavat kriteerit ovat: venttiilin läpi virtaavan nesteen tilavuusvirta, venttiilin yli mitoitettu paine-häviö sekä patterille tulevan nesteen meno- ja paluulämpötilat. Näiden perusteella pystytään laskemaan venttiilin kvs-arvo kaavalla 1, jonka perusteella valitaan tietty venttiili. Koska paineesta riippuvaisissa venttiileissä kvs-arvot ovat yleensä kiinteitä, juuri sopivaa venttiiliä harvoin on saatavilla. Siksi valitaan venttiili, jonka kvs-arvo on tilanteeseen sopivin mahdollinen, ja venttiilin yli vaikuttava paine-ero mitoitetaan siten, että haluttu virtaama toteutuu. Toteutuva paine-ero huomioidaan koko verkoston tasapainotuksessa. Venttiilivalmistajat ilmoittavat saatavilla olevat kvs-arvot tuotetiedoissaan.

### KVS arvo, eli kapasiteettikerroin

Venttiilin kvs-arvo kertoo vesimäärän, joka virtaa venttiilistä läpi yhden tunnin aikana, venttiilin ollessa täysin auki, kun virtauksen aiheuttama paine-ero venttiilin yli on 1 bar. (Rakennustieto Oy, 1989)

$$kvs = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta P}} \quad (\text{Kaava 1})$$

$kvs$                       kapasiteettikerroin [ $m^3/h$ ]

$q_v$                       venttiilin läpi virtaavan nesteen tilavuusvirta [ $m^3/h$ ]

$\Delta P$                       venttiilin yli vaikuttava paine-ero [bar]

LVI-tekniikassa yleisti käytössä olevilla yksiköillä kaava saa muodon.

$$kvs = \frac{36 * q_v}{\sqrt{\Delta P}}$$

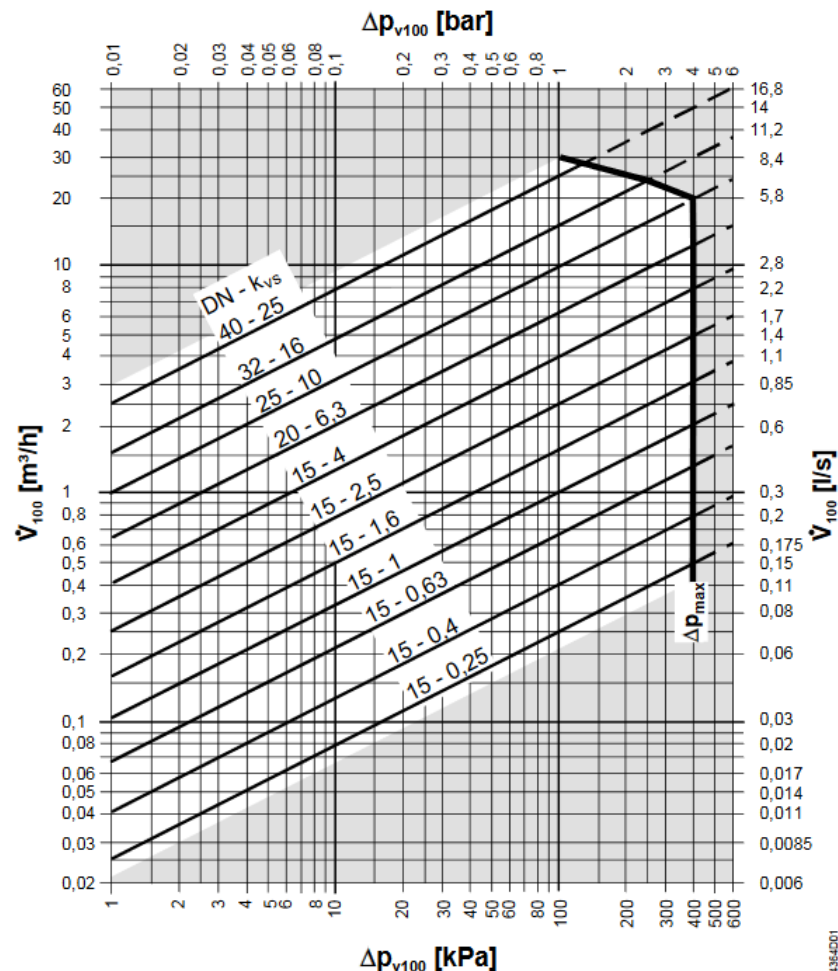
$kvs$                       kapasiteettikerroin [ $m^3/h$ ]

$q_v$                       venttiilin läpi virtaavan nesteen tilavuusvirta [ $l/s$ ]

$\Delta P$                       venttiilin yli vaikuttava painehäviö [kPa]

Venttiilin virtaaman määrittäminen ja mittaus perustuu siis kvs-arvon ja venttiilin yli vaikuttavan paine-eron suhteeseen. Kuvan 5 virtauskaaviossa on esitetty Siemensin VVG44-sarjan kvs 0,25 – kvs 25 kokoisten venttiilien virtauksen suhde painehäviöön.

Kaavion y-akselilta on luettavissa venttiilin läpi toteutuva virtaus, kun venttiilin yli mitataan x-akselilta sitä vastaava paine-ero. Eli kaaviosta on luettavissa, paljonko venttiilin vaikuttavan paine-eron on oltava, jotta venttiilille suunniteltu virtaama toteutuu.



Kuva 5. Säästöventtiilin virtauskaavio. (Siemens, 2006)

Kun venttiili, tietyllä kvs-arvolla on valittu, saadaan venttiilin yli toteutuva painehäviö mitoitusvirtaamalla, venttiilin ollessa täysin auki laskettua kaavalla 2.

$$\Delta P = \left( \frac{36 \cdot q_v}{kvs} \right)^2 \quad (\text{Kaava 2})$$

Venttiilin yli toteutuva paine-ero vaikuttaa koko muun verkoston toimintaan, ja kunkin venttiilin painehäviö huomioidaan verkoston tasapainotuksessa.

## Vaikutusaste

Käytettäessä paineesta riippuvaisia säätöventtiileitä, on venttiilin valinnassa otettava huomioon myös venttiilin vaikutusaste, eli auktoriteetti. Auktoriteetti määrittelee venttiilin painehäviön suhteen venttiilin vaikutusalueen kokonaispainehäviöön maksimivirtaamalla. Venttiilin hyvän säädettävyyden mahdollistamiseksi, tulisi auktoriteetin olla vähintään yhtä suuri, kuin sen verkoston vaikutuspiirissä olevan osan painehäviö maksimivirtaamalla. Eli auktoriteetin tulisi aina olla vähintään 0,5. Auktoriteetti laskentaan kaavalla 3. (Rakennustieto Oy, 1989)

$$\beta = \frac{\Delta P_{tv}}{\Delta P_{tv} + \Delta P_{sp}} \quad (\text{Kaava 3})$$

$\beta$                       *venttiilin auktoriteetti*

$\Delta P_{tv}$                 *venttiilin yli vaikuttava painehäviö [kPa]*

$\Delta P_{sp}$                 *muun säädettävän piirin painehäviö [kPa]*

### 2.6 Paineesta riippumaton säätöventtiili

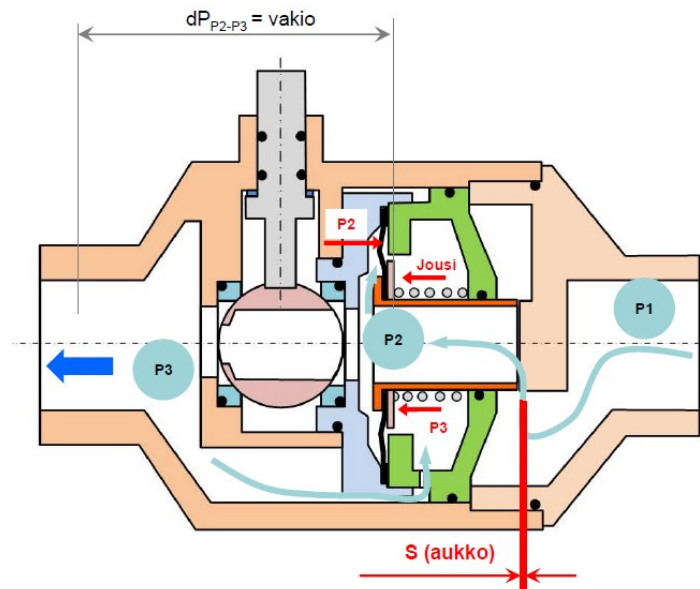
Paineesta riippumattoman säätöventtiilin toiminta perustuu sisäänrakennettuun painesäätimeen, joka ylläpitää halutun virtaaman venttiilin läpi, venttiilin yli vaikuttavasta paine-erosta riippumatta. Paine-erosäädin voi olla mekaaninen, esim. jousivoimalla toimiva, tai elektroninen virtausmittaukseen perustuva säädin.

Paineesta riippumattoman venttiilin mitoituksessa ei tarvitse huolehtia kvs-arvosta, vaan määräävänä tekijänä on ainoastaan nimellisvirtaus, sekä venttiin toimiakseen vaatima laitekohtainen paine-eroalue. Kunkin venttiilityypin vaatima paine-eroalue riippuu venttiilistä, ja on tarkistettava laitteen tiedoista.

Lyhyesti sanottuna venttiili toimii siis niin, että kun virtaama ja paine-ero venttiilin yli kasvaa liian suureksi, sisäänrakennettu painesäädin rajoittaa virtausaukkoa, jolloin virtaama pysyy vakiona paine-erosta huolimatta. Jos taas paine-ero venttiilin yli ei ole riittävä, eikä haluttua virtaamaa saavuteta, virtausaukko suurenee halutun virtauksen mahdollistamiseksi.

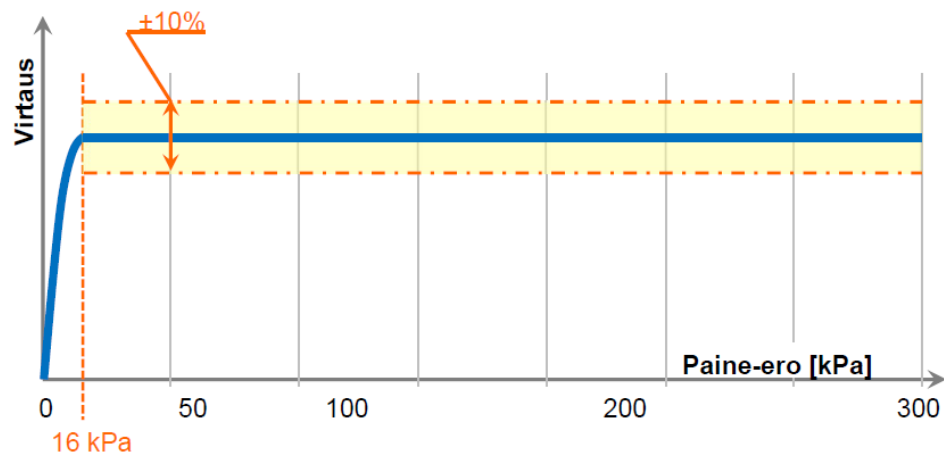
Kuvassa 6 on esitetty Belimon paineesta riippumattoman säätöpalloventtiilin toimintaperiaate. Paine-eron ja virtaaman kasvaessa yli määritellyn arvon, oranssi holkki liikkuu

oikealle, ja virtausaukko (S) pienenee. Paine-eron ja virtaaman taas ollessa alle asetetun arvon, holkki liikkuu vasemmalle, ja virtausaukko suurenee. Venttiilin sisällä pisteiden P2 ja P3 välillä paine-ero pysyy vakiona.



Kuva 6. Säätopalloventtiilin toimintaperiaate. (Belimo Finland Oy, 2021)

Kuvassa 7 on esitetty painealueella 16 – 350 kPa toimivan paineesta riippumattoman venttiilin virtauksen suhde venttiilin yli vaikuttavaan paine-eroon. Kuten nähdään virtauksen pitäisi pysyä  $\pm 10\%$ :n sisällä nimellisvirtaamasta, kun venttiilin yli vaikuttava paine-ero on yli 16 kPa. Alle 16 kPa:n paine-erolla venttiili toimii kuten normaali säätoventtiili. Verkoston tasapainotuksella ei siis ole niin suurta merkitystä venttiilin, ja säädön toimivuuteen kuin paineesta riippuvaista venttiiliä käytettäessä.



Kuva 7. Paineesta riippumattoman venttiilin paine-eron ja virtauksen suhde. (Belimo Finland Oy, 2021)

Vaikka paineesta riippumattomien venttiilien hankintahinta on yleensä hieman korkeampi, verrattuna normaaliin säätöventtiiliin, pitäisi kustannussäästöjä kuitenkin olla saavutettavissa käyttöönottovaiheessa, verkoston tasapainotustyön ollessa helpompi. Paineesta riippumattomia venttiileitä käytettäessä kustannussäästöjä voidaan myös saada, koska osa linjasäätöventtileistä voidaan jättää pois. Joidenkin tutkimusten mukaan (Fan et al., 2020) käytettäessä paineesta riippumatonta venttiiliä, toimilaitteelle voi olla mahdollista saavuttaa pidempi käyttöikä, koska pienillä kuormilla venttiilillä saadaan tarkempi säätö, ja näin ollen huojuntaa säätöpiirissä on vähemmän. Tällöin venttiilin toimilaitteen mekaaninen rasitus on pienempi, koska venttiin ei tarvitse ajaa edes takaisin yhtä paljon. Kustannussäästöjä haettaessa tällä on kuitenkin kokonaisuuteen suhteellisen pieni merkitys, ja tutkimustietoa aiheesta on vähän.

Paineesta riippumattomia venttiilejä on markkinoilla useilta eri valmistajilta. Niiden rakenne ja toimintaperiaate ovat valmistajakohtaisia.

## 2.7 Venttiilien vertailu (paineesta riippumaton vs. paineesta riippuvainen venttiili)

Paineesta riippumattomien venttileiden käyttö talotekniikan sovelluksissa on vielä suhteellisen vähäistä, vaikka niistä laitevalmistajien mukaan usein olisikin hyötyä. Tämä voi osin johtua paineesta riippumattoman venttiilin hieman korkeammasta hinnasta, ja suuremmasta valikoimasta normaaleihin säätöventtileihin verrattuna, vaikka nykyään melkein kaikilta venttiilivalmistajilla jo onkin paineesta riippumattomat venttiilit saatavilla. Osaltaan voi myös vaikuttaa suunnittelijoiden, ja LVI-alalla työskentelevien ihmisten tiedon puute. Helposti päädytään tekemään samalla tavalla, ja samoilla laitteilla kuin ennenkin on tehty.

Laitevalmistajien esittämiä paineesta riippumattomien venttiileiden etuja ovat mm:

- Helpompi ja nopeampi venttiilien mitoitus.
- Verkoston tasapainotustyö on helpompi.
- Helpottaa myöhempien muutoksien suunnittelua ja toteutusta.
- Energiansäästö, optimaalinen paine-ero verkostossa. Säästöä pumpun kuluttamassa sähköenergiassa.
- Patterin toiminta optimaalisella virtauksella ja delta-T:llä.
- Nopea asennus, linjasäätöventtiileitä ei tarvita.

Paineesta riippumattomien venttiileiden haittapuolista voidaan mainita:

- Korkeampi hinta.
- Elektronisissa venttiileissä ongelmana saattaa olla, että virtausmittaajalla ei ole tarpeeksi tietoa venttiilin toiminnasta.
- Urakkarajoissa voi ilmetä ristiriitoja, jos elektronisten venttiileiden ohjelmointi on automaatiourakassa, ja verkoston mittaus ja säätö putkiurakassa.

## 2.8 Lämmityspatterin delta-T

Venttiilin toiminnalla on siis suora vaikutus lämmityspatterin toimintaan. Lämmityspatterin tehoon vaikuttavat tekijät ovat: patterin nesteen massavirta, nesteen ominaislämpökapasiteetti ja patterin läpi virtaavan nesteen delta-T, eli patterille menevän ja palvaan nesteen lämpötilaero. Lämmityspatterin teho lasketaan kaavalla 4.

$$\dot{Q} = \dot{m} * C_p * \Delta T \quad (\text{Kaava 4})$$

$\dot{Q}$                       *Lämmityspatterin teho [kW]*

$\dot{m}$                       *Patterin läpi virtaavan nesteen massavirta [kg/s]*

$C_p$                       *Nesteen ominaislämpökapasiteetti [kJ/(Kg\*K)]*

$\Delta T$                       *delta-T, meno-paluunesteen lämpötilaero*

Ominaislämpökapasiteetin ollessa suhteellisen vakio, tiedetään että patterin tehoon vaikuttavat tekijät ovat: patterin meno-paluunesteen lämpötilaero, ja nesteen massavirta.

Useimmat patterit mitoitetaan olettamalla, että patterin delta-T on vakio, jolloin tehoon vaikuttavaksi tekijäksi jää massavirta. Käytännössä virtaamaa kasvattamalla patterin delta-T kuitenkin pienenee, eli tehon suhde virtaukseen ei ole lineaarinen. (Taylor, 2002)

Virtaamaa kasvattamalla, delta-T:n ollessa pieni, jossain vaiheessa saavutetaan satu-raatiopiste, jossa patterin teho ei enää kasva, vaan ainoastaan tuhlaamaan energiaa turhaan veden pumppaamiseen. Tätä ilmiötä kutsutaan ”alhaisen delta T:n syndroomaksi”. Ongelmasta on löydettävissä paljon tutkimustietoa, joskin suurin osa liittyy jäähdytyspatterin delta-T:n rajoittamiseen. Muun muassa Gregor P. Henze, Walter Henry ja Marc Thuillard osoittivat Massachusettsin yliopistolla tehdyssä tutkimuksessaan, että paineesta riippumattomalla venttiilillä ja rajoittamalla delta-T:tä pystytään löytämään

patterille optimaalinen lämpötilaero, jonka jälkeen virtaaman kasvattaminen ei enää tuota patterilta suurempaa tehoa. Eli vähemmällä pumpattavalla vesimäärällä pystytään tuottamaan joissain tapauksissa sama teho patterilta. Syndrooman mahdollisia aiheuttajia voivat olla esimerkiksi väärin mitoitetut venttiilit, verkoston puutteellinen tasapainotus tai likaantuneet lämmönvaihtimet. (Henze et al., 2013)

Energiatehokkuuden kannalta ongelma on merkittävä, koska verkoston painehäviö kasvaa neliöön suhteessa nesteen tilavuusvirtaan, lisättäessä virtaamaa verkostoon. Pumpun sähkötehon kasvu on siis huomattava virtausta kasvatettaessa, ja patterin saturatiopisteen ylittävällä alueella pumppaustehon lisäämisellä ei saada lämmitystehoa patterille lisättyä, vaikka sähköenergiankulutus pumpulla lisääntyykin. Verkoston painehäviön muutos, suhteessa tilavuusvirran muutokseen lasketaan kaavalla 5.

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \left( \frac{qv_1}{qv_2} \right)^2 \quad (\text{Kaava 5})$$

$\Delta P_1$  Verkoston painehäviö virtaamalla  $qv_1$

$\Delta P_2$  Verkoston painehäviö virtaamalla  $qv_2$

$qv_1$  Virtaama 1

$qv_2$  Virtaama 2

Vaikka suurin osa tutkimuksista liittyykin jäähdytyspattereiden optimointiin, ongelma käyttäytyy samalla tavalla lämmityspattereilla. Lämmitysverkostoissa energiaa hukataan myös putkien paluupuolen lämpöhäviöinä, tuotaessa liian lämmintä nestettä patterilta takaisin lämmönlähteelle. Vaikka mitoituksien ollessa oikein patterit toimisivatkin optimi lämpötila-alueella millä tahansa venttiilillä, olisivat paineesta riippumattomat venttiilit kuitenkin mielestäni selkeä parannus asiaan, koska tällöin voidaan olla varmoja, että asia todella on näin. Henze, Henry ja Thuillard raportissaan toteavatkin, että paras lopputulos saavutettiin ratkaisulla, jossa käytettiin paineesta riippumatonta venttiiliä ja delta-T:n rajoitusohjelmaa.



### 3 IV-KONEEN LÄMMITYSSÄÄDÖN PARANTAMINEN

Työn tarkoituksena on etsiä vaihtoehtoinen lämmitysventtiiliratkaisu IV-koneeseen perinteisen paineesta riippuvaisen säätöventtiilin tilalle. Luvussa 2 käsiteltyjä aiheita, kuten venttiileille suunniteltujen virtaamien toteutuminen, pattereiden optimaalinen delta-T, sekä energiamittauksien lisätarve ovat asioita, joihin on mahdollista saada parannusta useilla eri ratkaisuilla. Paineesta riippumattomat venttiilit ovat varmasti paras ratkaisu virtauksen hallitsemiseksi, jonka seurauksena taas patterit saadaan toimimaan mitoitetulla lämpötilaerolla. Toki paineesta riippumaton venttiili saattaa vikaantua, ja siksi tarvitaan luotettava virtausmittaus, jonka avulla pystytään varmistumaan venttiilin toiminnasta, ja vertailemaan venttileitä keskenään. Delta-T:n rajoitus on toteutettavissa helposti automaation avulla millä tahansa säätöventtiilillä varustettuun IV-koneeseen, kunhan vaan patterin meno- ja paluuviesiputkien lämpötila-anturit on liitetty automaatiojärjestelmään.

Energiamittauksia pystytään ohjelmoimaan automaatiojärjestelmään käyttämällä järjestelmään liitettyjä lämpötila- ja virtausmittauksia, mutta varmin tapa lienee kuitenkin perinteinen energiamittari. Energiamittarin etuna on riippumattomuus automaatiojärjestelmän toimivuudesta, koska kumulatiivinen mittarilukema on aina luettavissa mittarin näytöltä. Automaatiojärjestelmään ohjelmoitujen, antureiden mittausarvoihin perustuvassa energiankulutusmittauksessa inhimillisen ohjelmointivirheen tai anturivikojen aiheuttamien virhetilanteiden mahdollisuus on suurempi kuin tehdasvalmisteisissa mittareissa. Tiettyyn seurantajaksoon perustuvan graafisen energiaraportoinnin esittämiseen tarvitaan kuitenkin aina automaatiojärjestelmä, tai muu vastaava käyttöliittymä josta raportit ovat luettavissa.

Voidaan siis todeta, että IV-koneen lämmityssäätöä on mahdollista kehittää usealla yksittäisellä toimenpiteellä ja laitteella. Tässä työssä kuitenkin tarkastellaan energiaventtiiliä, jonka avulla pitäisi olla mahdollista parantaa ilmastointikoneen lämmityssäätöä sekä pystyä toteuttamaan lämmitysenergian kulutusseuranta. Suomessa rakennuksien LVIA-sovelluksiin tarkoitettujen venttiilien markkinat ovat muutenkin harvojen laitevalmistajien hallussa, eikä energiaventtiili tee tähän poikkeusta. Kahden eri venttiilivalmistajan vastaavaa tuotetta vertailtaessa, voidaan todeta, että ne ovat ominaisuuksiltaan suhteellisen samanlaisia, mutta työn toteutukseen valittiin Belimon energiaventtiili (Belimo Energy

Valve). Tällä ratkaisulla saadaan toteutettua yhdellä laitteella paineesta riippumaton virtauksensäätö sekä patterin energiamittaus.

### 3.1 Tarkasteltava kiinteistö ja ilmastointikoneet

Venttiilin toiminnan testausta varten uusitaan Turussa sijaitsevan toimistorakennuksen kahden IV-koneen lämmitysventtiilit. Vanhojen paineesta riippuvaisten säätöventtiilien tilalle asennetaan energiaventtiilit. Kaikkiaan kiinteistössä on 26 kpl. ilmastointikoneita, ja lämmitysmuotona on kaukolämpö. Kiinteistöön on tehty vuonna 2012 mittava talotekniikan peruskorjaus, jonka yhteydessä rakennuksen kaikki IV-koneet ja LVIAS-järjestelmät uusittiin. Suunnitelmien ollessa suhteellisen tuoreita, oli IV-koneiden teknisten tietojen selvittäminen helppoa. IV-koneet joihin energiaventtiilit asennetaan ovat toisiinsa nähden identtisiä. Kiinteistössä ne sijaitsevat 5.- ja 6. kerroksessa päällekkäin, ja palvelevat saman kokoisia toimistoalueita.

Ilmastointikoneiden mitoitusilmamäärä on  $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , jolla koneet käyvät arkipäivisin virka-aikaan. Muina käyttöaikoina, sekä ulkolämpötilan ollessa alle  $-15^\circ\text{C}$  koneet käyvät puolella ilmamäärällä.

IV-koneet on varustettu pyörivällä LTO-laitteella, jonka hyötysuhde IV-konevalmistajan koneajon mukaan on 79,8%. Lämmityspatteri on mitoitettu taulukon 2 mukaisesti 40 kW teholle, joka on määritetty siten, että LTO:n jälkeinen tuloilman lämpötila mitoitustilanteessa (ulkolämpötila  $-26^\circ\text{C}$ ) on  $-0,1^\circ\text{C}$ , ja maksimi sisäänpuhalluslämpötila  $27,5^\circ\text{C}$ . Vaikka LTO:n jälkeisen lämpötilan pitäisikin teknisten tietojen mukaan olla  $12,3^\circ\text{C}$ , on lämmityspatterille tulevan ilman mitoituslämpötilana käytetty  $-0,1^\circ\text{C}$ . Tämä  $12,4^\circ\text{C}$  limitys toimii turvarajana, jos LTO-laite ei pysty tuottamaan suunniteltua lämpötilannostoa. Poistoilman lämpötilana mitoituksessa on käytetty  $22^\circ\text{C}$ , jota mielestäni voidaan pitää hieman korkeana toimistorakennuksen IV-koneelle. LTO:n mitoitus tiedot on esitetty taulukossa 1.

Lämmityspatterin pitäisi siis pystyä lämmittämään ilmaa  $22,5^\circ\text{C}$ . Patterin mitoitus perustuu veden lämpötiloille: meno  $60^\circ\text{C}$ , paluu  $37,5^\circ\text{C}$ . Patterin veden mitoitusvirtaama on  $0,43 \text{ l/s}$ .

Taulukko 1. Tarkasteltavan ilmastointikoneen LTO:n tiedot.

Pyörivä LTO-laite	Tuloilma	Poistoilma
Ilmamäärä	1,2 m <sup>3</sup> /s	1,2 m <sup>3</sup> /s
Ilman lämpötila, ennen / jälkeen	-26,0 / +12,3 °C	+22,0 / -14,3 °C
Suhteellinen kosteus, ennen / jälkeen	90 / 38 %RH	30 / 97 %RH
Lämpötilahyötysuhde	79,8%	
Kosteushyötysuhde	65,0%	
Teho	66,48 kW	

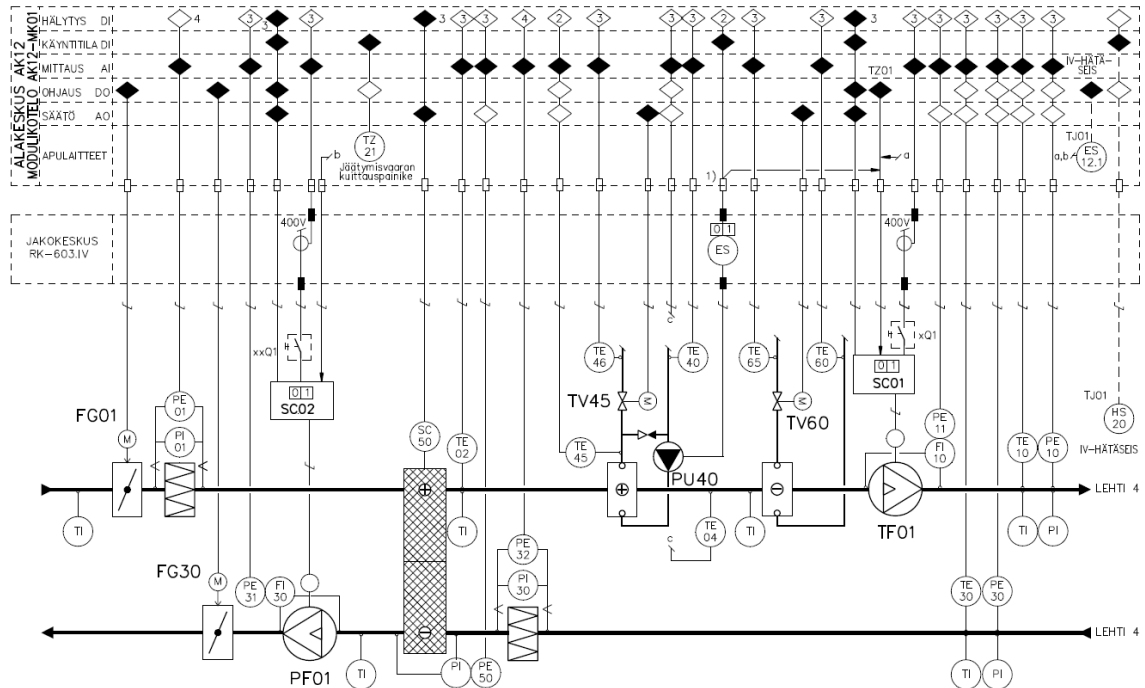
Taulukko 2. Tarkasteltavan koneen lämmityspatterin tiedot.

Lämmityspatteri, vesi	Tuloilma
Ilmamäärä	1,2 m <sup>3</sup> /s
Ilman lämpötila ennen / jälkeen	-0,1 / +27,5 °C
Veden lämpötila, meno / paluu	+60,0 / +37,5 °C
Tilavuusvirtaus	0,43 l/s
Teho	40 kW

Kuvassa 8 on tarkasteltavien koneiden säätökaavio, jossa on esitetty ilmastointikoneen periaatteellinen rakenne, ja siihen liitetyt anturit sekä säätölaitteet. Lämmitystilanteessa tuloilman lämpötila (TE10) pyritään pitämään asetusarvossaan säätämällä LTO-roottorin kierrosnopeutta (SC50) sekä lämmityuventtiilin (TV45) asentoa. Tarkasteluhetkellä kummankin koneen tuloilma-asetukseksi oli määritetty +20 °C. Kuvassa uusittavat lämmityuventtiilit on esitetty tunnuksella TV45.

Rakennuksen lämmitysmuotona on kaukolämpö, ja toisiopuolen väliaineena vesi. IV-verkoston kaukolämpösiirtimen mitoitusarvot ovat: virtaama 12 l/s, menovesi 70 °C ja paluuvesi 40 °C. Koko IV-verkoston virtaama on siis iso, ja näin ollen veden pumppaukseen kuluva energia on merkittävä. Delta-T:n hallinnalla saattaisi siis olla saavutettavissa energiansäästöjä siinä tapauksessa, että verkosto ei toimi optimaalisella lämpötilaerolla. Rakennusautomaatiojärjestelmän keräämän trenditiedon perusteella IV-verkosto näyttäisi kuitenkin toimivan delta-T: suhteen hyvin, lämpötilaeron pysyessä yli 20 °C:ssa.

Yhdelläkään kohteen IV-koneista ei ollut tarkastelujakson aikana vaikeuksia saavuttaa tuloilman asetusarvoa, joka viittaisi siihen, että venttiilit on mitoitettu oikein, IV-verkoston tasapainotustyö on tehty hyvin ja kaikilla venttiileillä saavutetaan suunniteltu virtaama. Todellista mitoitustilannetta ei kuitenkaan päästy toteamaan, koska ulkolämpötila ei tarkastelujakson aikana kertaakaan laskenut  $-26^{\circ}\text{C}$ :een mitoituspisteeseen.

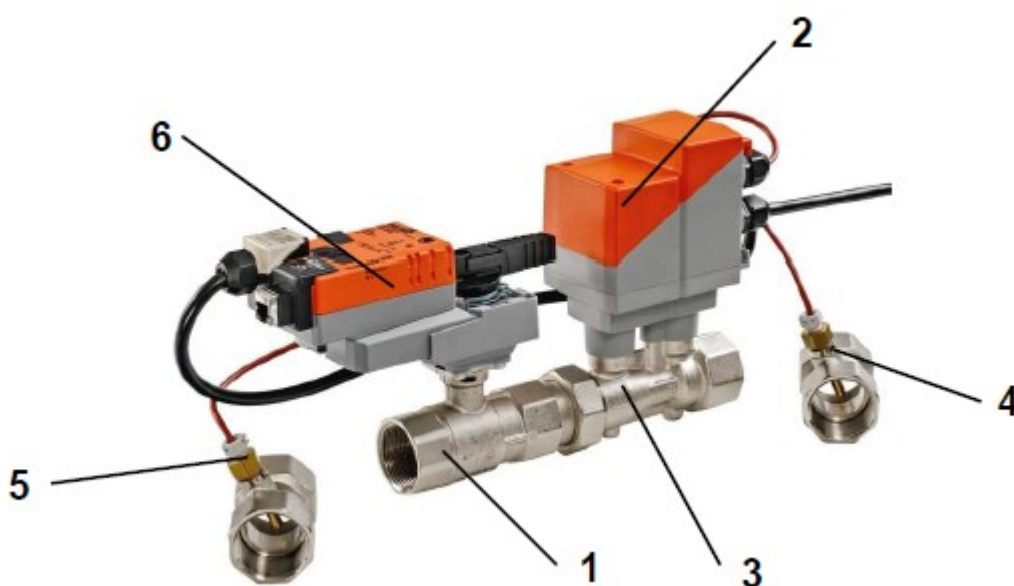


Kuva 8. Tarkasteltavan ilmastointikoneen säätökaavio.

### 3.2 Energiaventtiilin ominaisuudet

Energiaventtiilin merkittävimmät erot normaaliin säätöventtiiliin verrattuna ovat: virtaus- ja energiamittaus sekä sisäänrakennettu web-palvelin, jonka käyttöliittymän kautta venttiilin asetusarvot ovat muutettavissa. Venttiilissä ei ole mekaanista painesäädintä, vaan paineriippumattomuus on toteutettu ultraäänivirtausmittarin mittaustulokseen perustuvalla säädöllä. Kuvassa 9 on esitetty venttiilin keskeiset komponentit. Virtausmittausta, sekä kahta toimilaitteeseen kytkettävää lämpötila-anturia käytetään lämmityksen-, tai jäähdytyksen tehon mittaamiseen. Lämpötila-anturit asennetaan mitattavan verkoston meno- ja paluuputkiin. Virtausmittauksen tarkkuus on datalehden mukaan  $\pm 2\%$  mittaustulosta, kun virtaus on 25 –

100% nimellisvirtaamasta, ja veden lämpötila on 20°C. Mittatarkkuutta voidaan pitää riittävänä energiankulutuksen seurantaan, mutta MID-hyväksyntää mittarilla ei vielä ole, joten laskutusperusteisena mittarina sitä ei suositella käytettäväksi. Venttiilin vuoto-luokka on standardin EN 12266-1 mukainen, A ilmakuplatiivis. Energiatehokkuuden kannalta, on erittäin tärkeää, että venttiili ei vuoda, koska kaikki lämmitystarpeen ulkopuolella tapahtuva vuoto on energiantuhlausta, ja ylimääräinen lämpö joudutaan pahimmillaan jäähdyttämään ilmastointikoneen jäähdytyspatterilla pois. Eli vuotava lämmitysventtiili lisää todennäköisesti myös jäähdytysenergiankulutusta. Työssä tarkasteltavat venttiilit asennetaan verkostoon, jossa väliaineena on vesi, mutta datalehden mukaan venttiiliin saa asentaa myös verkostoon, jossa on enintään 50%:nen vesi-glykoliliuos. Sallittu väliaineen lämpötila on -10 °C – 120°C, joka on käytännössä rakennusten LVIA-järjestelmissä riittävä lähes kaikkiin lämmitysovelluksiin.



1 Säätpalloventtiili

4 Lämpötila-anturi T1

2 Virtausanturi

5 Lämpötila-anturi T2

3 Mittaputki

6 Venttiilin toimilaite

Kuva 9. Belimo EV020R+BAC energiaventtiili. (Belimo, 2021)

Koska venttiilin yli vaikuttava painehäviö ei vaikuta paineesta riippumattoman venttiilin virtaukseen, energiaventtiiliä mitoitettaessa valintaperusteena toimii ainoastaan lämmityspatterin mitoitusvirtaama. Belimon valikoimassa venttiilikoot 0,35 – 4,8 l/s ovat kierrelliitoksellisia säätöpalloventtiileitä, ja koot 8 – 45 l/s ovat laippaliitoksellisia istukkaventtiilejä. Työssä käytettävät venttiilit ovat mitoitusvirtaamaltaan 0,43 l/s, eli tarkasteluun päätyi 2-tie palloventtiilimalli. Vanhat korvattavat venttiilit olivat kokoa kvs 4, ja mitoitusvirtaama 0,43 l/s saavutettiin 15 kPa:n paine-erolla.

Energiaventtiiliä on mahdollista säätää kolmella eri säätösovelluksella: asennonsäädöllä, virtauksensäädöllä tai tehonsäädöllä. Kunkin sovelluksen säätöviestinä voidaan käyttää analogista 0,5 / 2 – 10 V DC jänniteviestiä, tai venttiiliä voidaan ohjata väylän kautta.

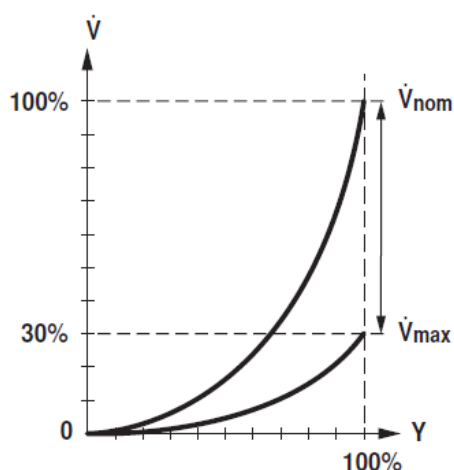
### **Asennonsäätö**

Asennonsäätösovelluksella venttiili toimii kuin normaali paineesta riippuvainen venttiili. Säätöviesti vaikuttaa siis suoraan venttiilin asentoon, ja virtausmittaus ja lämpötilat ovat luettavissa ainoastaan informatiivista tietoa. Tässä sovelluksessa venttiilille asetettava maksimivirtaaman rajoitus ei ole käytössä, vaan toimilaite kääntyy maksimiasentoon 100%:n säädön tilanteessa, jolloin virtaus riippuu venttiilin yli vaikuttavasta paine-erosta. Asennonsäätösovellus on todennäköisesti vähiten käytetty sovellus, koska venttiilillä virtauksensäätökin on mahdollista, niin miksi jättää se käyttämättä. Ehkä jossain harvoissa tapauksissa, jolloin venttiili pitää esimerkiksi väliaikaisesti pakottaa syystä tai toisesta täysin auki tai kiinni, voisi asennonsäätö olla tarpeellinen. Tällöin venttiili pitää olla kytkettynä väylän kautta rakennusautomaatiojärjestelmään, jolloin venttiilin tila pystytään muuttamaan halutuksi ajaksi asentosäädölle, ja palautamaan taas tilanteen normalisoiduttua takaisin virtaussäädölle.

### **Virtauksensäätö**

Virtauksensäätö, on energiaventtiilillä normaalissa ilmastointikoneen lämmityssäädössä varmasti yleisimmin käytetty säätösovellus. Tällöin venttiili toimii paineesta riippumattomasti, ja säätöviesti vaikuttaa suoraan venttiilin virtaukseen. Niin kuin mekaanisissakin paineesta riippumattomissa venttiileissä, säätöviesti ei ole suoraan verrannollinen toimilaitteen asentoon, vaan venttiili aukeaa tarvittavan määrän saavuttaakseen halutun virtaaman.

Virtaussäätöä käytettäessä venttiilille asetetaan  $V_{\max}$ -arvo, joka vastaa venttiilille haluttua maksimivirtaamaa.  $V_{\max}$ -arvo on aseteltavissa 30 – 100%:n alueelle venttiilin  $V_{\text{nom}}$ -arvosta, joka taas on kiinteä, venttiilikokoon sidoksissa oleva nimellisvirtaama-arvo. Kuvasssa 10, on esitetty, miten säätöviesti skaalautuu 0 l/s ja  $V_{\max}$ -arvon välillä, eikä säätöviestin arvolla ole suoraa korrelaatiota venttiilin mekaaniseen asentoon. X-akselilla venttiilin säätöviesti, y-akselilla virtaama. Säätöasetuksissa on valittavana tasaprosenttinen tai lineaarinen virtauksensäätö.



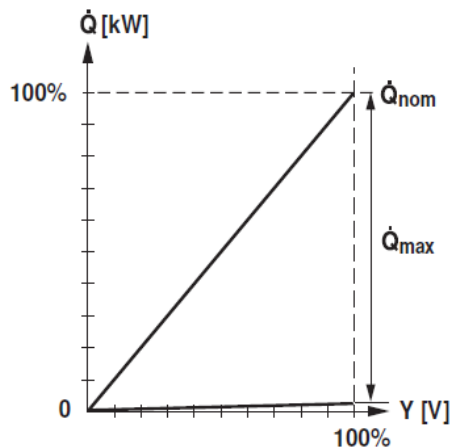
Kuva 10. Venttiilin virtausalueen asettelu. (Belimo, 2021)

Virtauksensäätösovellusta käytettäessä ilmastointikoneen patterin virtausta rajoittavaa linjasäätöventtiiliä ei tarvita, ja verkoston perinteinen mekaaninen tasapainotustyö on helpompia. Näin rakennetussa järjestelmässä, verkoston toimivuus, tai toimimattomuus on helposti tarkistettavissa, koska kaikilta venttiileiltä pystytään näkemään virtaukset keskitetysti samanaikaisesti. Paine-eroon perustuvassa verkostojen mittauksessa tätä mahdollisuutta ei yleensä ole. Toki monimutkaisessa verkostossa edelleen tarvitaan varmasti muutamia linjasäätöventtiilejä, mutta patterikohtaisille ei ole tarvetta.

### Tehonsäätö

Kolmas venttiilin säätösovelluksista on tehonsäätö. Tässä sovelluksessa säätöviesti voidaan määrittää lämmönsiirtimen tehon mukaan. Venttiilille asetetaan maksimitehon  $P_{\max}$  asetus ja säätöviestin ulostulona toimii venttiilin aktiivinen teho, 0 kW:n ja  $P_{\max}$ -parametrin välillä.  $P_{\max}$ -asetus on aseteltavissa 1 - 100%:n alueelle venttiilin  $P_{\text{nom}}$ -arvosta, joka on vastaavasti kiinteä venttiilikokoon sidoksissa oleva arvo kuin  $V_{\text{nom}}$ :kin

Kuvassa 11 on esitetty, miten patterin teho muuttuu säätöviestin suhteessa 0 kW ja  $P_{\max}$ -parametrin välillä. X-akselilla venttiilin säätöviesti, y-akselilla patterin teho.



Kuva 11. Venttiilin tehoalueen asettelu. (Belimo, 2021)

Samoin kuin virtaussäätösovelluksessa, venttiilillä on edelleen maksimivirtauksen asetus, joka rajoittaa virtauksen asetettuun maksimiarvoon, vaikka tehon asetus pyytäisikin enemmän. Tällä pystytään varmistamaan koko verkoston toimivuus ja tasapaino. Eli yksinkertaistettuna, sovelluksessa on patterin tehonsäätö 0-100 % ja maksimivirtauksen rajoitus.

Ilmastointikoneen lämmityksensäädössä tehonsäätösovellusta on vaikea nähdä normaalissa käytössä kovinkaan tarpeellisenä, mutta esimerkiksi tietyissä kysyntäjoustotapauksissa tehonsäätö saattaisi olla hyvinkin toimiva ratkaisu. Jos halutaan rajoittaa kiinteistön tehoa hetkellisesti kysyntäjoustoperusteella, tällä sovelluksella saadaan varmatoiminen ratkaisu. Ilmastointikoneen lämmitysteho saadaan rajoitettua haluttuun maksimumiin, eikä erillistä rajoitussäätöohjelmaa automaatiojärjestelmään tarvita.

Toki patterin tehoa rajoitettaessa, pitää automaatiojärjestelmän ohjelman toimia siten, että ilmastointikoneen ilmamäärää rajoitetaan tarvittaessa, että olosuhteet koneen vaikutusalueella pysyvät haluttuina, eikä patterille tule jäätymisvaaraa. Tässäkin tapauksessa venttiilin tulisi kommunikoida väylän kautta rakennusautomaatiojärjestelmän kanssa, jotta tehonsäätösovellus saadaan kytkettyä käyttöön ainoastaan, kun kysyntäjousto sitä pyytää. Tilanteen palauduttua normaaliksi kannattaa taas palata takaisin virtaussäätöön. Muita hyödyllisiä käyttökohteita tehonsäädölle voisivat olla esimerkiksi



lämpöpumppujen energiakaivojen tehonrajoitukset, ja lämmitettävien / sulatettavien pihojen kiinteät tehosäädöt.

### **Käyttöliittymä**

Venttiilissä on RJ-45-liitin, sekä integroitu 10/100 Mb/s web-palvelin, jonka kautta laitteen käyttöönotto, ja asetusten muutokset tehdään normaalin internetselaimen avulla. Laitteen aktiivisten mittausravojen, sekä muiden tietojen lukeminen onnistuu myös käyttöliittymän kautta. Web-palvelimen manuaalissa (Belimo Energy Valve™ web server manual) sanotaan, että PC:llä pitäisi olla viimeisin Java-versio ja Adobe Flash Player asennettuna grafiikan näyttämiseksi, mutta todellisuudessa näin ei ole, vaan web-palvelin näyttäisi toimivan HTML5-tekniikalla. Android-mobiililaitteella, käyttöliittymä toimi myös moitteetta.

### **Tiedonsiirtoprotokollat**

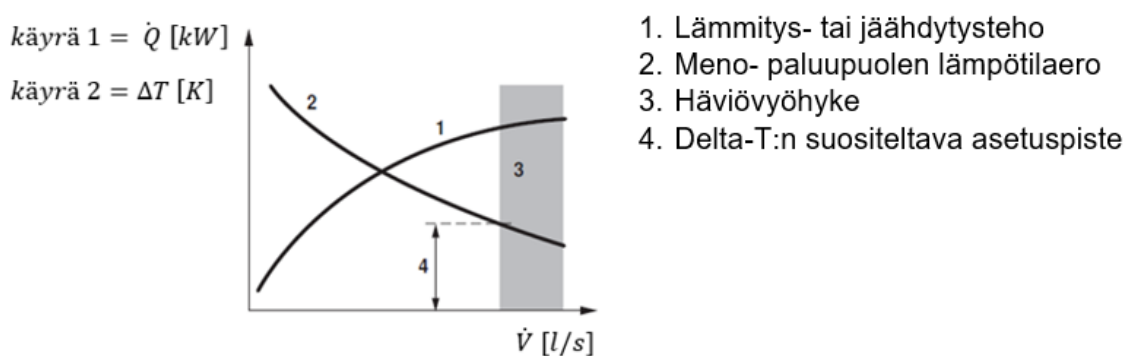
Nykypäivänä yhä useammasta rakennusautomaatiojärjestelmään liitetyistä laitteesta halutaan kerätä suuri määrä tietoa, ja siksi tarvitaan erilaisia tiedonsiirtoprotokollia, joiden avulla kommunikointi laitteiden välillä on mahdollista. Väylätekniikalla saavutetaan huomattavia etuja nimenomaan silloin kun väylään liitettävältä laitteelta on luettavissa paljon hyödyllistä tietoa, esimerkkinä mainittakoon, vaikka energiankulutus. Jos puhutaan yksittäisen laitteen säätämisestä, esimerkiksi normaali lämmitysventtiili, ei väyläliitoksesta saada etua, vaan säätö on edullisempi ja toimintavarmempi toteuttaa perinteisellä I/O-liitoksella.

Rakennusautomaatioalalla yleisimmin käytössä olevat protokollat ovat BACnet, Modbus ja Mbus, joista viimeisenä mainittu pääasiassa kulutusmittareiden tiedonsiirtoon. Belimon energiaventtiilistä löytyy oikeastaan kaikki nykypäivänä tarvittavat tiedonsiirtoprotokollat. Mahdollisia ovat, BACnet IP ja Modbus/TCP, jotka kommunikoivat fyysisellä tasolla Ethernet-verkossa, sekä BACnet MS/TP ja Modbus RTU jotka käyttävät fyysisenä tasona RS-485 mukaista parikaapelointia. Lisäksi laitteessa on Belimon oma MP-Bus-protokolla. Tässä työssä venttiilit liitettiin rakennusautomaatiojärjestelmään BACnet IP:n välityksellä, jota käytetään ainoastaan tiedon lukemiseen, ja venttiilin säätö toteutettiin 2 – 10 VDC analogiviestillä.

### **Delta-T manager**

Yksi venttiilin mielenkiintoisista ominaisuuksista on Delta-T manager, joka on kehitetty pitämään patterin meno- ja paluunesteen lämpötilaero optimaalisella tasolla patterin

tehontuottoon nähden. Venttiilin sisäinen logiikka siis rajoittaa virtaamaa, kun lämpötila-ero laskee alle asetetun arvon. Tilanne voi esiintyä esimerkiksi silloin kun, venttiili on täysin auki, mutta patterilla ei ole mitoitusarvon mukaista täyttä kuormaa. Patterin virtausta kasvatettaessa, ja vastaavasti delta-T:n pienentyessä, jossain vaiheessa saavutetaan saturaatiopiste, jonka jälkeen lisätyllä nesteen virtauksella ei enää saavuteta tehonlisäystä patterilta. Kuvassa 12 nähdään yksinkertaistettuna patterin tehon ja nesteen tilavuusvirran funktio. Kuvassa havainnollistetaan ilmiötä, jossa teho (käyrä 1) ei enää juurikaan kasva virtaaman ylittäessä tietyn pisteen, patterin delta-T:n (käyrä 2) samalla laskiessa. Kuvan harmaalla merkitty alue (3) on häviövyöhykettä, jolla tuhlaataan energiaa liiallisen veden pumppaamiseen. Kuvassa taso 4, on piste johon delta T kannattaa rajoittaa, jotta patteri toimii parhaalla mahdollisella tehokkuudella.



Kuva 12. Periaatekuva lämmityspatterin virtauksen ja tehon funktiosta. (Belimo, 2021)

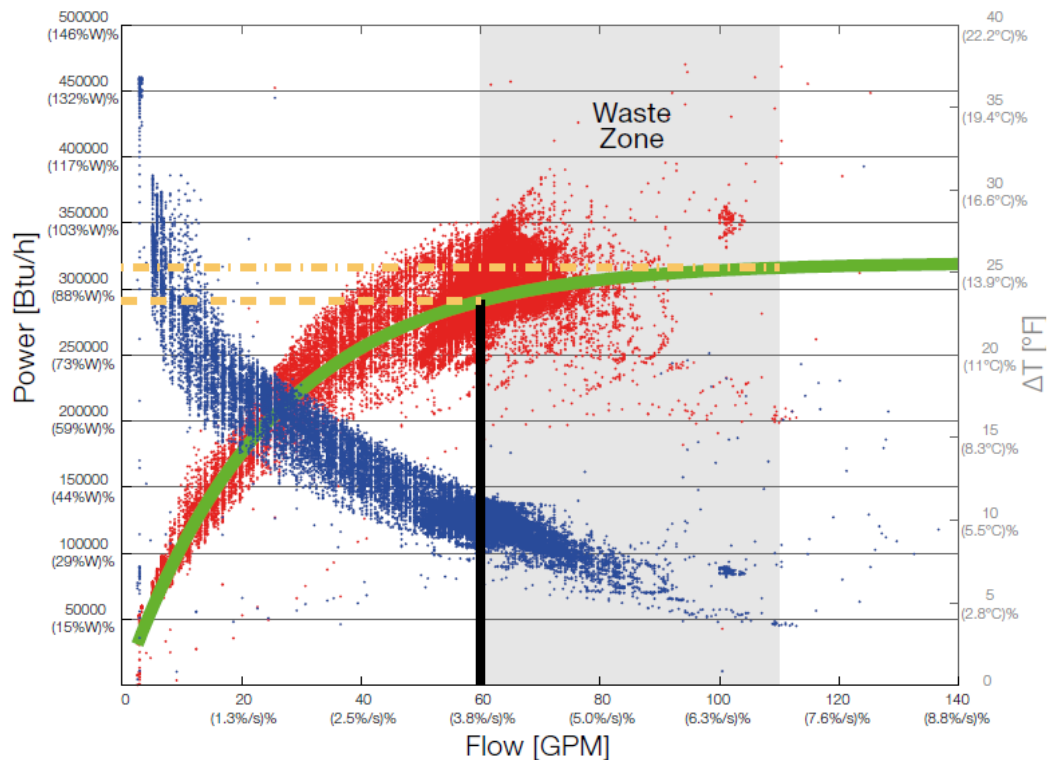
Vuonna 2013 julkaistussa raportissa, Improving Campus Chilled Water Systems With Intelligent Control Valves: A Field Study, Gregor P. Henze, Walter Henry ja Marc Thuillard tutkivat jäähdytyspatterin alhaisen delta-T:n aiheuttamia ongelmia, ja saivat delta-T:n rajoituksella parannusta tutkittavan kohteen jäähdytysjärjestelmään. Tutkimuksen perusteella optimaalisella delta-T:llä saavutetaan energiansäästöjä ainakin laitoksen toimiessa osatehokuormalla. Turhan pumppausenergian lisäksi säästöjä on saavutettavissa siten, että lämmönlähteelle tai jäähdytyskoneelle palaava vesi pystytään pitämään mitoitusarvossaan, jolloin laitteen hyötysuhde on parempi. Tutkimuksessa keskityttiin jäähdytysjärjestelmän parantamiseen, mutta mainitaan, että samalla periaatteella olisi saavutettavissa parannusta myös lämmitysjärjestelmissä. Esimerkkinä lämmöntuotto-laitteista, joissa verkostosta palaavan veden lämpötilalla on keskeinen merkitys hyötysuhteeseen, mainitaan lauhdutuskattilat. Suomessa näitä ei juurikaan ole normaaleiden

asuin- tai liikerakennusten lämmitysmuotona käytössä, mutta nykyaikana lämpöpump-  
pujen lisääntyessä, verkoston paluuveden lämpötilalla voi olla vaikutusta laitteiden hyö-  
tysuhteeseen. Vaikka lämpöpumpuilla toteutetuissa lämmitysjärjestelmissä delta-T  
yleensä pidetään tarkoituksellisesti suhteellisen pienenä, energiaventtiilistä saattaisi kui-  
tenkin olla hyötyä siten, että lämpötilaero olisi helposti hallittavissa ja seurattavissa.

Tutkimusryhmän kenttätutkimuksessa perehdyttiin Massachusettsin yliopistorakennuk-  
sen jäähdytysjärjestelmään, joka toimi kesimäärin 3,3 K:n vuotuisella delta-T:llä. Laskel-  
mien perusteella arvioitiin, että nostamalla delta-T 6,7 K:n tasolle, pystyttäisiin saavutta-  
maan vuotuiset 1,5 miljoonan dollarin säästöt jäähdytykseen kuluvaan energiassa. Tar-  
kastelussa oli 107 MW:n jäähdytysjärjestelmä. Taloudellisesta näkökulmasta säästö  
kuulostaa isolta, mutta raportista ei kuitenkaan käy toteutuivatko laskelmien mukaiset  
säästötavoitteet. Oletettavasti kustannussäästöt ovat saatavissa jäähdytyskoneiden pa-  
remmasta hyötysuhteesta, ja kiertovesipumppujen sähköenergian vähentämisestä ve-  
den virtaamaan rajoittamisen takia.

Henze, Henry ja Thuillard vertailivat IV-koneita niin, että osaan asennettiin paineesta  
riippumattomat energiaventtiilit delta-T:n rajoitusohjelmalla, ja osaan normaalit paineesta  
riippuvaiset venttiilit delta-T:n rajoitusohjelmalla. Kummassakin tapauksessa delta-T  
saatiin nostettua tavoitellulle 6,7 K:n tasolle ilman että patterilta saatava jäähdytysteho  
laski. Paineesta riippumattomalla venttiilillä saavutettiin kuitenkin parempi säätötarkkuus  
ja vähemmän huojuntaa, eli paras lopputulos saavutettiin delta-T:n hallintaohjelmalla yh-  
distettynä paineesta riippumattomaan venttiiliin.

Kuvassa 13 on nähtävissä mittaustulokset yhdestä Massachusettsin testin IV-koneen  
jäähdytyspatterista. Kaaviossa teho merkitty punaisella ja delta-T sinisellä. Datasta on  
havaittavissa, että patterin luovuttama tehokäyrä loivenee delta-T:n pienentyessä. Vir-  
tauksen kasvaessa nolasta 3,8 litraan sekunnissa (60 GPM) teho patterilla kasvaa nol-  
lasta 88 kW:iin (300 kBtu/h). Ensimmäinen 0 – 1,3 l/s (20 GPM) tuottaa patterilta 53kW:n  
tehonlisäyksen (180 kBtu/h), kun taas 2,6 – 3,8 l/s (40 - 60 GPM) tuottaa enää 12 kW:n  
(40 kBtu/h) tehonlisäyksen. Tämän pisteen jälkeen tehon kasvu suhteessa virtaaman  
kasvattamiseen on niin vähäistä, ettei se ole enää taloudellisesti järkevää.



Kuva 13. Jäähdytyspatterin tehonluovutuskäyrä Massachusettsin kenttätutkimuksesta. (Henze et al., 2013)

Henze, Henry ja Thuillard toteavat, että saturaatioefekti patterissa ei suinkaan käyttäydy aina samalla tavalla, vaan on riippuvainen tuloilman lämpötilasta, ilmamäärästä ja putkiston veden lämpötilasta. He kuitenkin päätyivät siihen lopputulokseen, että tutkimalla tehon ja delta-T:n suhdetta pystytään määrittämään, joko delta-T:n rajoitus, tai maksimivirtaaman rajoitus, jolla patteri saadaan toimimaan optimaalisella tehoalueella. (Henze et al., 2013)

Delta-T manageria arvioitaessa on kuitenkin hyvä huomioida, että energiansäästö on saavutettavissa nimenomaan nesteen pumppaamiseen kuluvassa sähköenergiassa, putkiston paluupuolen lämpöhäviöissä sekä lämpöä tuottavan laitteen hyötysuhteen parantamisessa. IV-koneen patterin delta T:n ollessa suurempi, ja verkostosta lämmönjakohuoneen lämmönsiirtimelle palaavan nesteen lämpötila alhaisempi, vaaditaan siirtimellä taas korkeampi lämmönkorotus menovedelle. Tehon kaava  $\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T$  pätee kaikilla verkoston lämmönsiirtimillä, eli lämmitysteho on edelleen sama, vaikka massavirran ja delta-T:n arvot muuttuvat.

Energiaventtiin käyttöliittymästä Delta-T Managerin saa haluttaessa kytkettyä käyttöön tai pois, ja lämpötila-asetusarvot ovat vapaasti määritettävissä. Jos venttiili liitetään pilvipalveluun, Belimon asiantuntijoilta on saatavissa apua datan tulkintaan.

### 3.3 Venttiilin asennus ja käyttöönotto

IV-koneiden vanhojen venttiilien korvaamisessa energiventtiileillä, asennusvaiheessa haasteita toi uuden venttiilin pituus, joka on hyvä ottaa huomioon arvioitaessa vaihtotyön kustannuksia. Saman venttiilivalmistajan korvattavan venttiilin pituus oli 67 mm, ja uuden energiventtiin pituus virtausantureineen 291 mm. Tämän lisäksi ennen virtausanturia vaaditaan vielä 5 \* DN-koko suojaetäisyys, jolloin energiventtiili kokonaisuudessaan vaati 391 mm:n suoran putkiosuuden johon venttiili pystytettiin asentamaan. Haasteita toi myös se, että vanha venttiili oli DN15, ja uusi venttiili DN20 kokoinen. Energiaventtiileiden valikoimassa DN15-kokoisen venttiin virtausalue on ainoastaan 0,35 l/s asti, ja näin ollen työssä tarkasteltavan patterin mitoitusvirtaamalle 0,43 l/s se ei riittänyt. Venttiilit saatiin kyllä asennettua, mutta putkiston muutostöitä jouduttiin tekemään aika paljon. Tämä on hyvä ottaa huomioon, jos venttiileitä asennetaan kohteeseen, jossa esimerkiksi hitsaustöitä on hankala toteuttaa, tai IV-koneen vaikutusalueella on kriittisiä toimintoja, eikä pitkäkestoinen IV-koneen seisonta-aika ole mahdollista.

Virtausmittauksen vaatiman suojaetäisyyden takia supistuksia tai laajennuksia ei pystytä vanhoissa liitoskohdissa välttämättä hyödyntämään, jotta putkikoko pysyy samana koko suojaetäisyyden matkalla, ja käytännössä hitsaustöitä vaaditaan aina kun venttiin DN-koko muuttuu. Energiaventtiin mukana tulevat lämpötila-anturit pitää myös asentaa putkistoon meno ja paluupuolelle. Tässä tapauksessa paluupuolen anturi pakattiin valmiiksi venttiin ja virtausanturin väliin, ja menopuolen anturi asennettiin suojataskussa suoraan putkeen ilman venttiin mukana tulevaa DN20 liitososaa.

Kuvassa 14, vasemmalla alkuperäinen venttiili, joka on korvattu oikealla näkyvässä kuvassa olevalla energiventtiilillä. Paketin kokonaispituus on huomattavasti pidempi alkuperäiseen verrattuna.



Kuva 14. Kuvat ennen ja jälkeen venttiilin asennuksen.

Tässä työssä venttiilit liitettiin automaatiojärjestelmään BACnet IP:n kautta, ja venttiilin säätöviestinä käytettiin olemassa olevaa 2-10V analogiviestiä. Koska rakennusautomaatiokeskus ja venttiilit sijaitsivat samassa tilassa, oli uusi kaapelointi helposti toteutettavissa ja venttiileille tuotiin uudet CAT6 Ethernet-kaapelit. Jos kaapelointia ei haluta lähteä uusimaan, ja se on toteutettu yleisimmin käytetyllä nelijohtimisella kaapelilla (esim. Nomak 2x2x0,5+0,5), järkevin tapa toteuttaa venttiilin liitos on käyttää joko BACnet MS/TP- tai Modbus RTU-protokollaa myös venttiilin säätöön. Tällöin uutta kaapelointia ei tarvita, ja kaikki tiedot ovat luettavissa automaatiojärjestelmään väylän kautta. Kun venttiilin säätö toteutetaan väylän kautta ei saavuteta aivan yhtä hyvää toimintavarmuutta kuin IO-pistettä käytettäessä, ja siksi kaapelointiin ja kytkentään on syytä kiinnittää erityisen paljon huomiota. Venttiilin omaan käyttöliittymään ei myöskään ole keskitettyä pääsyä, ilman Ethernet-yhteyttä.

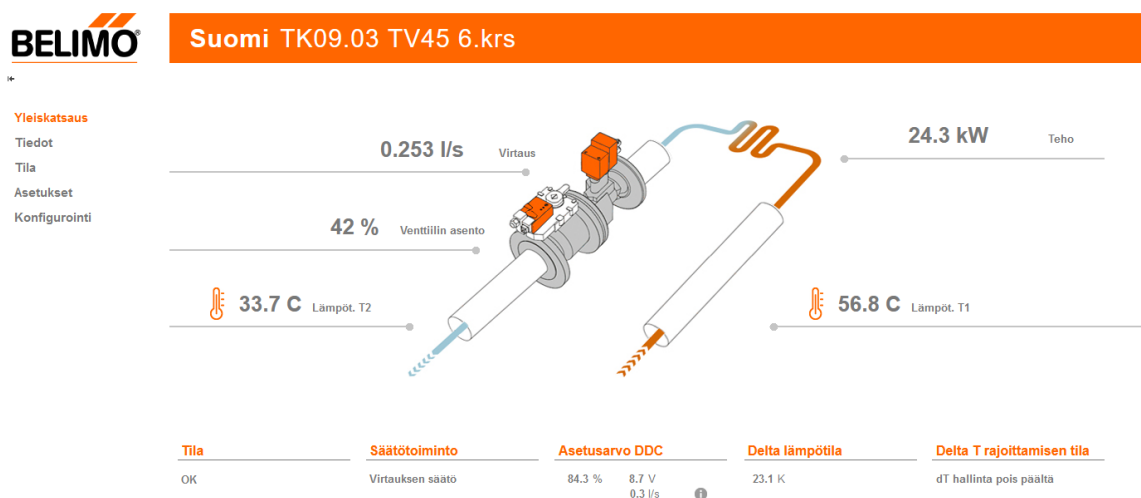
Käyttöönottaessa venttiileitä, toimilaitteen hitaus aiheutti myös omat ongelmansa. Datalehdessä toimilaitteen 90° liikerataan kuluvaa ajoaikaa ei ollut ilmoitettu, mutta testin perusteella se on EV020R+BAC-venttiilillä noin 150 s. Yleensä IV-koneissa käytettävät

venttiilit ajavat koko säätöalueensa alle 40 s:ssa. Käyttöönottilanteessa ulkolämpötila oli reilusti pakkasen puolella, ja siksi ongelma tulikin heti esiin, jäätymissuojauksen laulettessa. Lämmityksen viritysparametreja muuttamalla, ja IV-koneen käynnistyksen ohjelmaa parantamalla, venttiilit saatiin kuitenkin toimimaan, mutta ajoaika on hyvä ottaa huomioon nopeutta vaativissa lämmityssäädöissä. Lämpimän käyttöveden säätämiseen venttiiliä ei voi missään tapauksessa käyttää hitauden takia.

Kaikkiaan venttiilin käyttöönotto web-palvelimen välityksellä on kuitenkin helppoa ja nopeaa. Venttiililtä pystytään lataamaan konfiguraatiotiedosto, jonka avulla samat asetukset pystytään viemään toiselle venttiilille. Jos ohjelmoidaan useita samanlaisia venttiileitä, kannattaa ominaisuutta hyödyntää työn nopeuttamiseksi ja virheiden minimoimiseksi. Samalla asetustiedostolla pystytään myös varmuuskopioimaan venttiilin tiedot. Jos venttiili hajoaa, tai muusta syystä korvataan uudella, asetukset ovat helposti palautettavissa tiedoston avulla. Venttiililtä saa ladattua myös käyttöönottoraportin pdf-muodossa, jossa kaikki venttiilin sovellusasetukset, verkkoasetukset, kulutustiedot ja aktiiviset mittausarvot on esitetty selkeässä muodossa. Käyttöönottoraportti kannattaa liittää urakoitsijan luovutusaineistoon.

## 4 ENERGIAVENTTIILIN TOIMINTA KÄYTÄNNÖSSÄ

Liittytessä PC:llä venttiilin web-palvelimeen, aloitussivuna toimii kuvan 15 venttiilin yleiskatsaus, josta on nähtävissä aktiiviset mittaus- ja säätöarvot. Aloitussivun grafiikka on selkeä, ja siitä saa helposti hyvän yleisvaikutelman venttiilin tilasta. Trenditietoihin, asetuksiin ja hälytyksiin pääsee käsiksi vasemman laidan valikon kautta.



Kuva 15, Energiaventtiilin käyttöliittymän yleiskatsaus-sivu

Venttiili kerää trenditiedot muistiin 13 kuukauden ajalta kaikista mittaus-, säätö-, ja kulutustiedoista, ja tätä dataa hyödynnettiin venttiilin toiminnan analysoimisessa.

Kohteeseen asennettiin energiaventtiilit kahteen ilmastointikoneeseen, jotta pystyttiin vertailemaan venttiileitä identtisillä ilmastointikoneilla. Koska ulkolämpötila ei vertailujakson aikana ollut -26°C:een mitoitusasteessa, riittävän kuorman saavuttamiseksi lämmityspattereille rajoitettiin LTO-laitteiden tehoa. Koneajojen perusteella lämmityspatterin maksimiteho on mitoitettu siten, että tuloilman lämpötila ennen lämmityspatteria on -0,1°C ja tuloilma patterin jälkeen +27,5°C, patterin tehon ollessa 40 kW.



#### 4.1 Testiajot

Kummankin tarkasteltavan koneen LTO-laitteet kytkettiin pois käytöstä, jolloin patterille tulevan ilman lämpötila on esilämmittämätöntä ulkoilmaa, joka tarkastelujakson aikana vaihteli  $+2,1$  ja  $+8,3^{\circ}\text{C}$ :een välillä. Koska lämmönjakohuoneesta lähtevä IV-verkoston menoveden lämpötila ei ollut tällä ulkolämpötilalla lämmityspatterille mitoitettun tehon mukaisessa pisteessä, nostettiin lämpötilakäyrä väliaikaisesti pisteisiin: ulkolämpötila  $0^{\circ}\text{C}$ , menoveden lämpötila  $+60^{\circ}\text{C}$ , ulkolämpötila  $+5^{\circ}\text{C}$ , menoveden lämpötila  $+50^{\circ}\text{C}$ . Näin pystyttiin luomaan patterille tarkastelujakson ajaksi lämmityskuormaa. Koneiden tuuloilma-asetukset asetettiin  $+22^{\circ}\text{C}$ :een. Olosuhteet eivät kuitenkaan vastaa täydellisesti talviolosuhteita, eikä testin aikana saatu lämmityspattereille maksimitehon mukaista kuormaa.

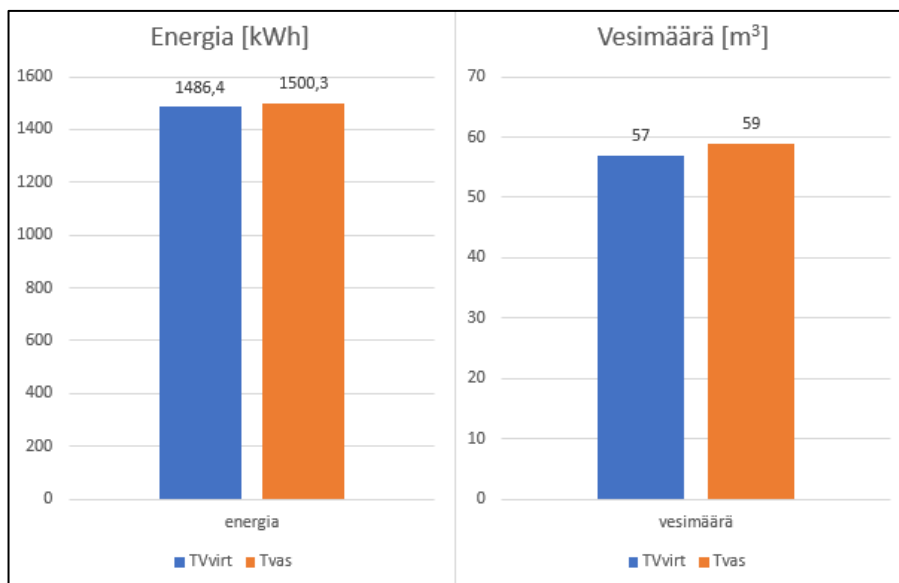
Testiajo suoritettiin siten, että toinen venttiileistä asetettiin virtaussäädölle, ja toinen asentosäädölle. Asentosäätöisellä venttiilillä simuloidaan normaalin paineesta riippuvaisen säätöventtiilin toimintaa. Virtaussäädöllä ajettavan venttiilin  $V_{\max}$ -arvoksi asetettiin suunnitteluarvojen mukainen  $0,43$  l/s maksimivirtaama. Virtaussäädöllä ajettavaa venttiiliä kuvataan tunnuksella  $TV_{\text{virt}}$ , ja asentosäädöllä ajettavaa venttiiliä tunnuksella  $TV_{\text{as}}$ . Tarkastelujakson pituus oli  $56$  h.

Testiajolla on tarkoitus selvittää, toimiiko virtaussäädöllä oleva venttiili valmistajan lupamalla tavalla, ja onko mittaustuloksissa havaittavissa eroa asentosäädöllä ajettavaan venttiiliin verrattuna.

#### Tulokset

Tarkastelujakson aikana kummankin ilmastointikoneen kuluttamat lämmitysenergiat olivat hyvin lähellä toisiaan, josta voidaan päätellä, että ilmastointikoneet ovat vertailukelpoisia keskenään. Pattereiden saavuttama maksimiteho oli  $31,8$  kW.

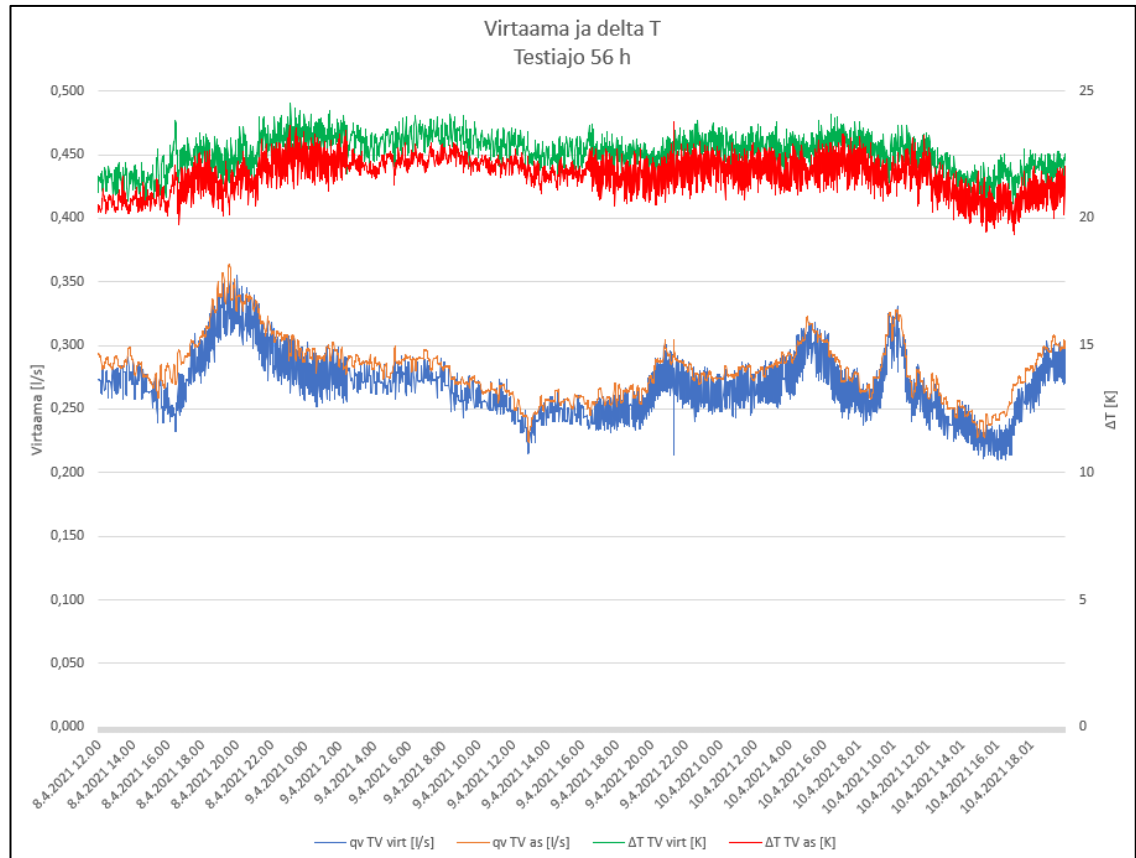
Kaaviosta 1 nähdään, että virtaussäätöisellä venttiilillä kokonaisenergiankulutus ja vesimäärä olivat hieman alhaisemmat kuin asentosäätöisellä venttiilillä, mutta kuitenkin niin lähellä toisiaan, että ero tuskin johtuu venttiilistä. Vesimäärän ero johtuu todennäköisesti siitä, että kumulatiivisen vesimäärän mittaustulos on luettavissa ainoastaan  $1\text{ m}^3$ :n tarkkuudella.



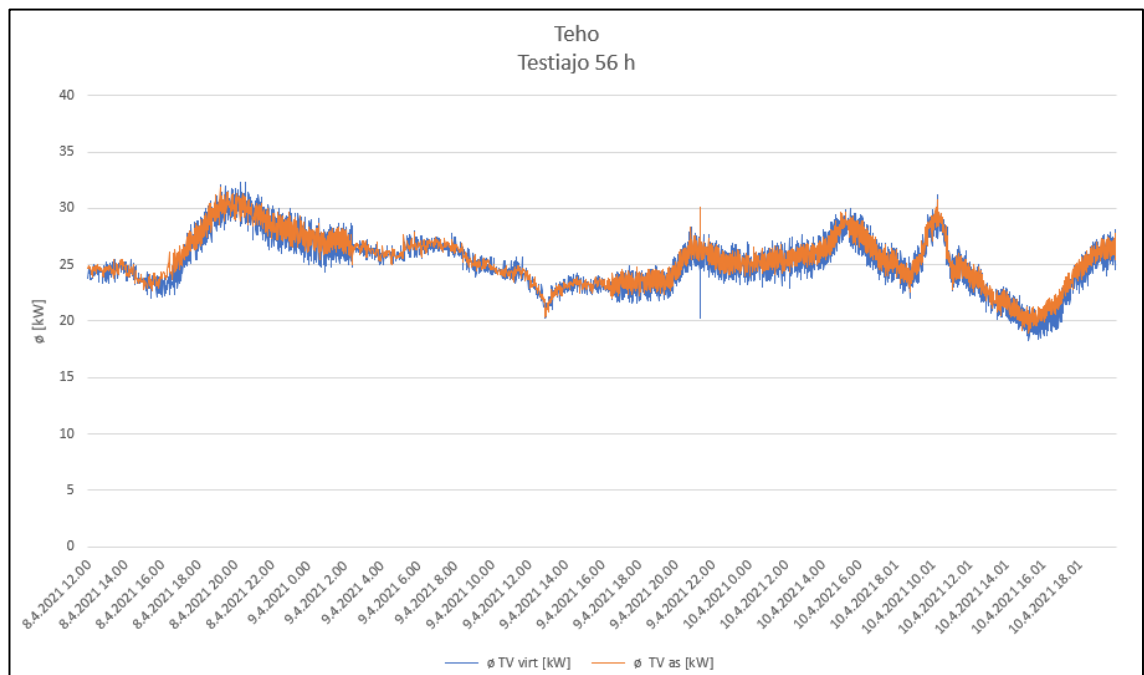
Kuva 16. Tarkastelujakson energian- ja vesimääränkulutus.

Kaaviosta 2 nähdään trendiajot virtaamasta, delta-T:stä ja tehosta 56 h ajalta. Käyrissä ei ole havaittavissa juurikaan eroa venttiileiden välillä. Yllättävää on, että virtaussäätöinen venttiili vaikuttaisi huojuvan hieman enemmän kuin asentosäätöinen venttiili. Molempia venttiileitä ajettiin samoilla lämmityssäätimen viritysparametreilla, ja huojuunta olisi todennäköisesti korjattavissa virittämällä venttiilin säätö uudestaan. Kaaviossa kolme, on tehon mittaustulokset, jotka ovat myös hyvin lähellä toisiaan.

Kumpikin ilmastointikone saavutti tuloilman asetuspisteen mukaisen lämpötilan, patterin delta-T:n ollessa melkein koko jakson ajan yli 20 K. Venttiilin delta-T managerin analytiikan mukaan kummallakaan patterilla ei havaittu saturaatiota, ja molemmat patterit toimivat hyvällä lämpötila-alueella.



Kuva 17. Tarkastelujakson aikainen virtaama ja delta-T.



Kuva 18. Tarkastelujakson aikainen teho.

Testiajon tuloksista voidaan päätellä, että kohteen IV-verkosto on hyvin tasapainossa, patterit ja venttiilit toimivat suunnitellulla virtausalueella ja delta-T on riittävä ilman paineesta riippumattomasta säätöäkin. Tulokset kuitenkin perustuvat lyhyelle tarkasteluajalle, ja pienelle ulkolämpötila-alueelle. Tarkempien tulosten saamiseksi pitäisi venttiileitä ajaa pidemmän aikaa, mielellään koko lämmityskausi.

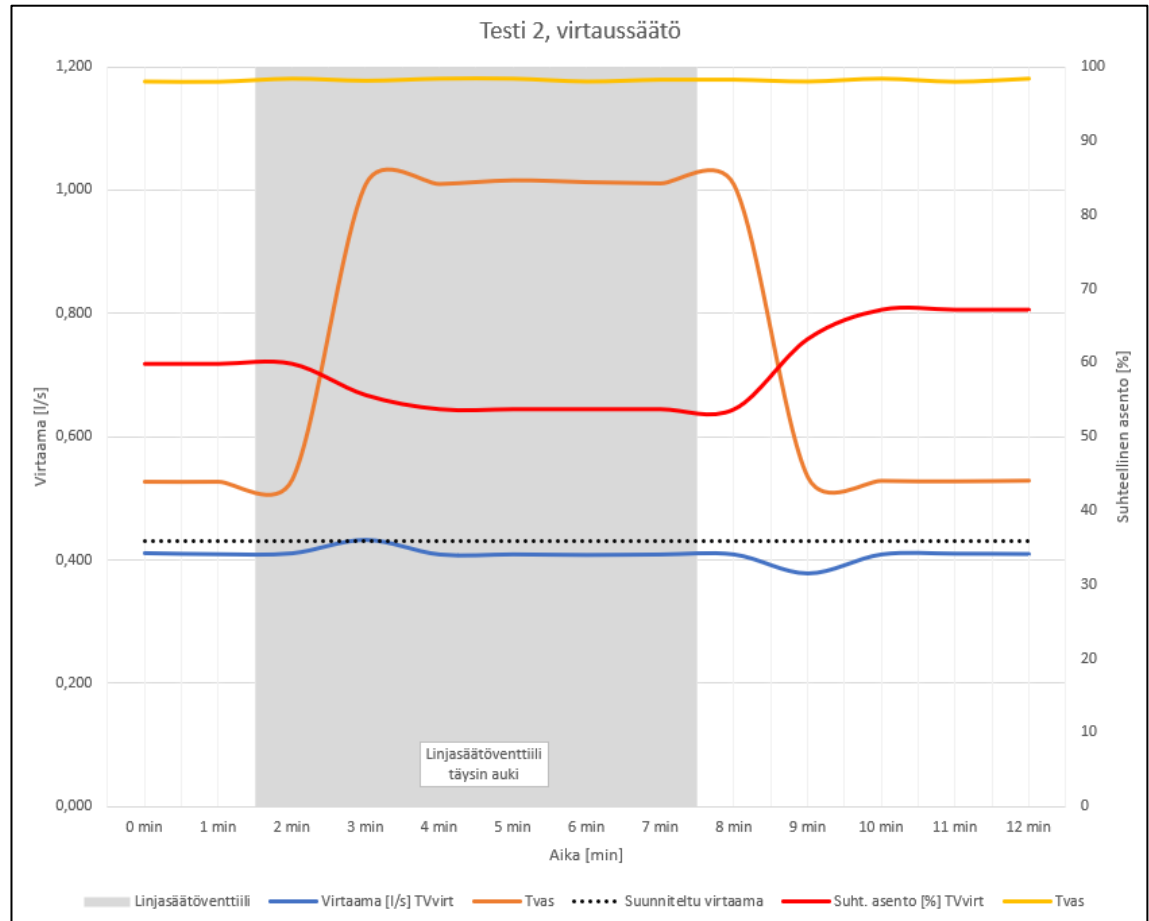
Tämän testijakson jälkeen yritettiin testata venttiilin delta-T managerin toimintaa nostamalla koneiden tuloilma-asetukset  $+26^{\circ}\text{C}$ :een. Pyrkimyksenä oli saavuttaa patterien nimellisteho, tutkia saavuttaako  $\text{TV}_{\text{as}}$ -venttiilillä varustettu patteri saturaatiopisteen, ja olisiko delta-T managerilla saavutettavissa energiansäästöä. Ulkolämpötila oli testin aikana kuitenkin niin korkea, että talviolosuhteiden simulointia ei pystytty luotettavan testin mahdollistamiseksi järjestämään. Delta-T manageri kuitenkin toimi niin kuin pitikin, eli rajoitti lämpötilaeron asetettuun  $22,5\text{ K}$  pisteeseen, mutta tämän seurauksena tuloilma ei enää saavuttanut asetuspistettä, koska venttiili rajoitti virtaamaa. Toiminnan testaus luotettavasti pitäisi siis järjestää silloin kun ollaan lähellä todellista mitoituspistettä. Ulkolämpötilan perusteella muuttuva IV-verkoston menoveden lämpötila myös auttaa tehokkaasti patteria toimimaan suunnitellulla lämpötila-alueella, ja delta-T managerista olisi varmasti saavutettavissa merkittävämpää etua vakiolämpöisissä verkostoissa.

Lähemmässä tarkastelussa testattiin vielä, miten venttiilit reagoivat paine-eron muutokseen venttiilin yli. Koska virtaussäätöinen venttiili toimii paineesta riippumattomasti, pitäisi venttiilin reagoida, kun putkistosta venttiilille tulevaa virtausta muutetaan. Testissä asentosäädöllä ajettava venttiili kuvastaa normaalin paineesta riippuvaisen säätöventtiilin toimintaa. Testi suoritettiin siten, että venttileille tulevaa virtaamaa rajoitettiin ja lisättiin venttiiliä syöttävässä putkessa olevalla linjasäätöventtiilillä. Kumpikin säätöventtiili asetettiin automaatiojärjestelmästä 100%:n arvoon. Asetelmalla simuloidaan tilannetta, jossa lämmitysverkosto ei ole tasapainossa ja venttiilillä ei ole mitoitettua paine-eroa.

Kuvaajasta 4 nähdään, että asentosäädöllä ajettava  $\text{TV}_{\text{as}}$ -venttiili ei reagoi linjasäätöventtiilin toimintaan, vaan virtaama muuttuu venttiilin yli vaikuttavan maksimipaine-eron mukaiseen arvoon. Paineesta riippuvaisen venttiilin virtaama on siis riippuvainen verkoston säädöstä, ja jotta venttiilille mitoitettu virtaama toteutuu, pitää paine-eron venttiilin yli olla täysin oikea.

Paineesta riippumaton  $\text{TV}_{\text{virt}}$ -venttiili taas reagoi nopeasti virtaamaan kasvuun, ja alkaa sulkea venttiiliä. Vastaavasti taas suljettaessa linjasäätöventtiiliä, säätöventtiili avautuu, ja koko jakson ajan virtaama pysyy hyvin lähellä aseteltua  $0,43\text{ l/s}$  arvoa. Voidaan siis

todeta, että jos venttiilin yli toteutuva paine-ero on mitoitusarvoa suurempi, tämä ei aiheuta ongelmia paineesta riippumatonta venttiiliä käytettäessä, vaan patteri toimii siitä huolimatta oikealla virtaamalla.



Kuva 19. Venttiilien reagointi paine-eron muutokseen.

## 5 ENERGIAVENTTIILIN JA VANHAN VENTTIILIRATKAISUN VERTAILU

Pystytäänkö energiaventtiilillä siis vastaamaan työn alussa käsiteltyihin ongelmiin? Luvuissa kaksi ja kolme käsiteltiin ilmastointikoneen lämmityssäätöön liittyviä aiheita, kuten venttiileille suunniteltujen virtaamien toteutuminen, pattereiden optimaalinen delta-T sekä energiaseurannan parantaminen. Työn edetessä kävi ilmi, että tarkastelun kohteena olevien ilmastointikoneiden virtaamat toteutuivat suunnitellusti vanhallakin venttiiliratkaisulla, eikä varsinaista parannusta virtauksiin saatu aikaan. Ominaisuuksiltaan energiaventtiili on kuitenkin huomattavasti edistyneempi kuin tavanomaiset säätöventtiilit, ja siksi niiden vertaaminen keskenään ei ehkä ole tarpeenmukaista. Jos halutaan saada kattavaa tietoa lämmityssäädön toimivuudesta, seurata energiankulutusta ja parantaa järjestelmän muuntojoustavuutta, energiaventtiili sopii tähän tarkoitukseen hyvin.

Työssä testattiin venttiilin delta-T managerin toimintaa sen verran, että se voidaan todeta toimivan, niin kuin teknisessä esitteessä luvataan. Sitä, että pystytäänkö ominaisuudella saavuttamaan energiansäästöä käytännössä, ei pytytty tässä työssä toteamaan. Voidaan kuitenkin olettaa, että kohteissa joissa on ongelmia alhaisen patterien delta-T:n kanssa, ominaisuudella voisi olla löydettävissä optimaalinen lämpötila-ero, ja sitä kautta energiansäästöäkin.

Jos ollaan uusimassa joka tapauksessa käyttöikänsä päähän tulleita säätöventtiileitä, kannattaa mielestäni energiaventtiiliä ainakin harkita yhtenä vaihtoehtona, vaikka hinta normaaliin säätöventtiiliin nähden onkin hieman kalliimpi.

## 5.1 Venttiilin virtaussäätö

Testien perusteella voidaan todeta, että ajettaessa energiaventtiiliä virtaussovelluksella, pystytään hyvin luotettavasti varmistamaan suunnitelmien mukainen virtaama. Venttiili reagoi hyvin paine-eron muutokseen, ja säätyy siten, että venttiilille asetettu maksimivirtaama ei ylitä, vaikka paine-ero venttiiliin yli olisikin suurempi kuin suunniteltu. Vaikka verkoston tasapaino ei olisi täydellinen, pystytään energiaventtiilillä silti varmistamaan, että jokaisella patterilla on suunniteltu virtaama. Järjestelmää pystytään myös aktiivisesti valvomaan, ja poikkeamista saadaan hälytykset.

Ongelmakohteissa, esimerkiksi ilmastointikoneissa tai verkostoissa, joissa lämpötilansäätö ei saavuta asetusarvoaan johtuen liian vähäisestä virtauksesta, on ongelma helpposti todettavissa energiaventtiilin avulla, koska kaikki oleellinen tieto on laitteelta luettavissa. Tällöin vältetään turhalta koko verkoston lämpötilan nostolta, ja ongelma pystytään yksilöimään tiettyyn verkoston osaan, ja venttiiliin, jota se koskee. Jälkiasennuksissa suurimman hyödyn energiaventtiilistä varmasti saa siis kohteissa, joissa on tiedossa olevia ongelmia venttiilien virtauksien kanssa. Todennäköisesti ongelmat korjaantuvat jo pelkästään käyttämällä venttiileillä paineesta riippumatonta virtauksensäätöä, mutta jos eivät, ongelmakohdat ovat ainakin helposti selvitettävissä venttiilien datan avulla.

Jos verkostoa muutetaan, tai siihen lisätään laitteita, pitäisi paineesta riippuvaisia venttiileitä käytettäessä tasapainotus suorittaa uudestaan, ja varmistaa että jokaisella venttiilillä on sen vaatima paine-ero. Energiaventtiiliä käytettäessä uutta tasapainotusta ei kuitenkaan tarvita, vaan on vain varmistettava, että jokaisella venttiilillä on käytettävissä paine-ero, jolla suunniteltu maksimivirtaama virtaama toteutuu.

Asennettaessa energiaventtiiliä uudiskohteeseen pystytään varmistamaan, että ongelmia virtauksien kanssa ei ole luvassa tulevaisuudessakaan. Hintaero normaaliin venttiiliin verrattuna pitäisi tasoittua hieman, verkoston tasapainotustyön ollessa normaalia helpompaa, eikä sitä tarvitse tehdä enää käyttöönoton jälkeen uudestaan. Koska energiaventtiili toimi testin perusteella hyvin linjasäätöventtiilin ollessa täysin auki, voidaan todeta, että tässä tapauksessa ilmastointikoneen lämmityspatterikohtainen linjasäätöventtiili on täysin turha, ja se voitaisiin ihan hyvin jättää kustannussyistä asentamatta.

Tässä työssä tarkasteltavissa koneissa ei siis ollut alun perinkään ongelmaa virtausten suhteen, mutta voidaan todeta, että energiaventtiilin virtaussäädöllä on saavutettavissa kaikki paineesta riippumattoman venttiilin edut, ja näiden lisäksi toiminnan valvonta ja

tarvittaessa virtaaman asetuksen muuttaminen on huomattavasti helpompaa kuin mekaanisissa paineesta riippumattomissa venttiileissä.

Toisaalta, jos järjestelmä on suunniteltu ja tasapainotettu hyvin, toimii varmasti paineesta riippuvainen säätöventtiilikin hyvin, eikä virtaussäädöllä saavuteta parannusta lämmityssäädön toimivuuteen.

## 5.2 Venttiilin energia- ja virtausmittaus

Koska rakennusten energiatehokkuutta pyritään parantamaan kohti nollaenergiaraken- tamista, on energiankulutuksen mittaamisella tärkeä rooli jo nyt, ja varmasti tulevaisuu- dessa vielä enemmän. Kuten luvussa kaksi todettiin, ovat yksittäisten ilmastointikonei- den lämmitys- tai jäähdytysenergianmittaukset vielä suhteellisen harvinaisia. Kiinteistön- omistajalla ei välttämättä ole suurta intressiä sijoittaa rahaa energiamittareihin, varsin- kaan jälkikäteen asennettuna, koska järjestelmä toimii ilman-kin. Energiaventtiilillä pysty- tään toteuttamaan energiamittaus kustannustehokkaasti, koska se sisältyy samaan pa- kettiin venttiilin kanssa. Kumulatiivisen energia- ja virtausmittauksen lisäksi pystytään jat- kuvasti valvomaan venttiilin ja ilmastointikoneen lämmityksen tilaa, ja poikkeamista saa- daan hälytykset automaatiojärjestelmään. Esimerkiksi vikaantunut lämmöntalteenotto- laite lisää lämmitysenergiankulutusta, jonka seurauksena taas rahalliset lämmitykseen kuluvat kustannukset kasvavat. Havaitsemalla kulutuspoikkeamat ja vialliset laitteet no- peasti pystytään pitämään energiaan kuluvat kustannukset kurissa.

Uskaltaisin väittää, että tulevaisuudessa energiamääräykset tuskin tulevat ainakaan löystymään, ja siksi mielestäni kannattaisi jo tässä vaiheessa sijoittaa järjestelmään, jota pystytään valvomaan ja mittaamaan tehokkaasti. Kysyntäjoustopalvelut ovat tulossa koko ajan yleisimmiksi, ja kaikkia tulevia teknologioita emme vielä voi edes tietää, mutta energiaventtiililtä saatavat tiedot tuovat varmasti lisäarvoa myös tulevaisuudessa.

Toki energiaventtiilin, kuin ihan minkä tahansa energiaseurannan kanssa tarvitaan ka- nava, jonne tieto syötetään, ja henkilö, joka osaa tietoa tulkita. Energiaventtiililtä kaikki tieto on saatavissa yleisimpien tiedonsiirto-rajapintojen kautta automaatiojärjestelmään, ja tätä kautta kiinteistön omistajien käyttöön. Saatu informaatio pitää siis myös saada tehokkaasti käyttöön, ja tätä varten tarvitaan asiantuntevaa henkilöstöä, ettei saavutettu informaatio jää pelkäksi tietomassaksi, jolla ei loppujen lopuksi saatu mitään konkreet- tista aikaan.



### 5.3 Energiatehokkuuden parantaminen

Venttiilin valmistajan mukaan energiaventtiilillä on mahdollista saavuttaa energiansäästöä hyödyntämällä laitteeseen sisäänrakennettua delta-T manageria, joka rajoittaa patterin meno- ja paluulämpötilaeron asetettuun pisteeseen rajoittamalla virtausta. Alhaisesta delta-T:stä johtuvaa turhaa energiankulutusta pattereilla on tutkittu jonkin verran, ja rajoittamalla lämpötilaero optimaaliselle tasolle on saatu ongelmaan parannusta. Suurin osa aiemmista tutkimuksista liittyy jäähdytyspattereiden ongelmiin. Koska jäähdytysverkoston delta-T on yleensä jo mitoitusvaiheessa huomattavasti pienempi, sekä virtaama usein isompi kuin lämmitysverkostossa, on todennäköistä, että alhaisen delta-T:n ongelmia esiintyy enemmän nimenomaan jäähdytyspattereilla. Jäähdytysverkostojen lämpötila ei useinkaan ole ulkolämpötilakompensoitu, toisin kuin lämmitysverkostoissa, joka varmasti myös vaikuttaa asiaan.

Tässä työssä testattiin delta-T managerin toimintaa, ja se voidaan todeta sinänsä toimivaksi, vaikka tarkasteltavissa koneissa sillä ei energiankulutukseen pystyttykään vaikuttamaan. Kohteessa, jossa ilmastointikoneen patteri toimii mitoitusarvonsa yläpäässä, voisi mielestäni olla hyvinkin mahdollista, että energiaventtiilin avulla saataisiin patteri toimimaan energiatehokkaammin delta-T:tä rajoittamalla. Venttiilin käyttöliittymän kautta päästään käsiksi analytiikkaan, joka kerää tietoa patterin tehosta ja virtaamasta, ja piirtää näiden perusteella patterin todellisen tehonluovutuskäyrän. Tämän perusteella pystytään tutkimaan kannattaako delta-T:tä rajoittaa, ja jos kannattaa, niin mihin pisteeseen.

## 6 POHDINTA

Insinööriyön tavoitteena oli tutkia, pystytäänkö kehittyneemmällä lämmitysventtiiliratkaisulla parantamaan ilmastointikoneen lämmityssäätöä. Työssä testattiin Belimon energia-venttiilin toimintaa, ja tutkittiin, mitä lisäarvoa sillä saadaan verrattuna yleisimmin ilmastointikoneissa käytettäviin normaaleihin paineesta riippuvaisiin säätöventtiileihin verrattuna.

Voidaan todeta, että perinteisellä tavalla toteutettu venttiilimitoitus, jossa venttiilien virtaama perustuu paine-eroon, on ihan toimiva tapa, mutta tällöin verkoston tasapainotus on todella tärkeässä roolissa. Venttiilien virtaama perustuu siis mitoituslaitteeseen, jossa jokaisella venttiilillä on tietty paine-ero, jolla mitoitusvirtaama toteutuu. Energia-venttiiliä käytettäessä, venttiilin virtaama perustuu todelliseen mittausarvoon, eikä ole riippuvainen paine-erosta, kunhan minimivaatimukset täyttyvät. Kun halutaan varmistaa oikeat virtaamat venttiilillä, on mielestäni jatkuva todelliseen mittausarvoon perustuva säätö huomattavasti parempi kuin laskennallinen arvio toteutuvasta tilanteesta. Työstä saadun tiedon perusteella voidaan todeta, että paineesta riippumaton venttiili olisi erittäin helppo ja tehokas tapa varmistaa mitoitusvirtaaman toteutuminen lämmityspatterilla. Tällöin myös lämmitysjärjestelmästä saadaan muuntojoustavampi, koska lisättäessä esimerkiksi ilmastointikoneita lämmitysverkostoon, ei olemassa olevan osan venttiileiden painehäviöitä tarvitse huomioida lisättävän venttiilin mitoituksessa. Energiaventtiiliä käytettäessä venttiilin jatkuva valvonta on myös mahdollista, ja tätä kautta pystytään tuottamaan hälytykset nopeasti ongelmatilanteissa.

Koska rakennusten energiatehokkuutta pyritään jatkuvasti parantamaan kohti nollaenergiarakentamista, energiankulutuksen seurantaan tarvitaan myös jatkuvasti lisää. Energiaventtiilissä on sisäänrakennettu energiamittaus, jonka keräämät kulutustiedot ovat siirrettävissä rajapintojen kautta kiinteistöautomaatiojärjestelmän hyödynnettäväksi. Vaikka energiaventtiili on kalliimpi verrattuna normaaliin säätöventtiiliin, on se kuitenkin kustannustehokas ratkaisu, verrattaessa sitä paineesta riippumattoman venttiilin ja ulkoisen energiamittarin yhdistelmään. Mielestäni säädettävän piirin energianseuranta onkin yksi merkittävimmistä eduista, joita energiaventtiilillä on saavutettavissa. Tulevaisuudessa energiatehokkaampien lämmitysjärjestelmien kehittyessä, ja niitä arvioitaessa, pitää myös toteutunutta mittaustietoa olla riittävästi tarjolla kehityksen tueksi.

Yksi energiaventtiilin mielenkiintoisimmista ominaisuuksista on patterin delta-T manageri, jonka tarkoituksena on rajoittaa venttiilin virtausta siten, että patteri saataisiin toimimaan energiatehokkaammin optimaalisella lämpötilaerolla. Lähdeaineiston perusteella, aiemmissa tutkimuksissa on saatu parannusta jäähdytyspattereiden toimintaan, ja pystytty saavuttamaan energiansäästöä väliaineen pumppaamiseen kulutetussa sähköenergiassa. Tässä työssä delta-T manageria testattiin pintapuolisesti, mutta sen hyötyä ei pystytty osoittamaan. Tarkasteltava verkosto toimi hyvällä delta-T:llä alunperinkin, eikä ulkolämpötila tarkastelujakson aikana ollut todellisessa  $-26^{\circ}\text{C}$ :een mitoituspisteessä. Patterit toimivat siis hyvällä lämpötilaerolla, niin että sitä ei ollut tarvetta rajoittaa, ja ne itse asiassa toimivat hyvin jopa alkuperäisellä paineesta riippuvaisella virtaussäädöllä.

Jatkotutkimuksen aiheena voisinkin suositella tarkempaa perehtymistä energiatehokkuuden parantamiseen energiaventtiilin avulla. Tutkimusta varten kannattaisi tarkastella patteria, joka toimii tehoalueensa ääripäässä, ja mahdollista saturaatiota patterilla olisi havaittavissa. Todennäköisesti ulkolämpötilakompensoimattomaan jäähdytysverkkoon kytketty patteri sopisi paremmin tarkastelun kohteeksi kuin lämmityspatterit. Jos patterin meno- paluulämpötilaa optimoimalla pystyttäisiin tuottamaan patterilta sama energiamäärä pienemmällä virtaamalla, olisi venttiilille myös helposti laskettavissa hankinnan takaisinmaksuaika.

Tarkasteltavassa kiinteistössä ei siis pystytty saavuttamaan varsinaista parannusta lämmityssääntöön, mutta saatiin kuitenkin hyvä käsitys venttiilin ominaisuuksista ja mahdollisuuksista. Lisäksi saatiin toimiva ilmastointikonekohtainen lämmitysenergiaraportointi. Energiaventtiilillä on varmasti saavutettavissa parannusta järjestelmän toimivuuteen kohteissa, joissa on tiedossa olevia ongelmia virtausten kanssa. Kiinteistössä voi esimerkiksi olla yksi ongelmallinen viileä osa, jonka takia kiinteistönhoitaja joutuu nostamaan koko lämmitysverkoston käyrää. Jos viileys johtuu riittämättömästä virtaamasta, pystytään energiaventtiilillä todennäköisesti korjaamaan ongelma. Uudisasennuksissa energiaventtiileillä saavutetaan helppo verkoston tasapainotustyö, ja järjestelmän myöhempi muuntojoustavuus.

Toisaalta taas energiaventtiilin hankintahinta on normaaliin säätöventtiiliin verrattuna jonkin verran kalliimpi, joka taas pitää huomioida investoinnin kannattavuutta arvioitaessa. Jälkiasennettaessa venttiiliä myös putkitöiden osuus on merkittävä, joka tuo lisäkustannuksia vaihtotyölle, ja muutaman tunnin käyttökatkoksen ilmastointikoneelle, jos

asennus suoritetaan lämmityskaudella. Energiaventtiilin pitkä ajoaika tuo myös omat haasteensa, ja rajaa nopeutta vaativat säätöpiirit pois mahdollisina käyttökohteina.

Kaiken kaikkiaan energiaventtiiliä voi mielestäni pitää erittäin varteenotettavana vaihtoehtona normaalin paineesta riippuvaisen venttiilin korvaajana kohteissa, joissa ei ole tarkoituksena täyttää määräysten minimitasoa, vaan panostaa laadukkaisiin automaattioratkaisuihin, jotka palvelevat kiinteistöä vielä tulevaisuudessakin.

## LÄHTEET

Abergel, T., Delmastro, C., Janoska, P., Lane, K. & Prag, A. (2019). Perspectives for the Clean Energy Transition – Analysis. IEA. <https://www.iea.org/reports/the-critical-role-of-buildings>

Belimo. (2021). Belimo EV020R+BAC tekninen tuote-esite. [https://www.belimo.com/mam/Datasheets/fi-fi/belimo\\_EV..R\\_BAC\\_datasheet\\_fi-fi.pdf](https://www.belimo.com/mam/Datasheets/fi-fi/belimo_EV..R_BAC_datasheet_fi-fi.pdf)

Belimo Finland Oy. (2021). Belimo 2021. Belimo, henkilöstön intranet

Fan, Y. L., Lei, Y., Zhang, J. W., Wang, J., & Li, Z. (2020). Flow Force of Pressure Independent Control Valve with Different Valve Core Structural. Journal of Physics: Conference Series, 1634, 012149. 10.1088/1742-6596/1634/1/012149

Henze, G. P., Henry, W., & Thuillard, M. (2013). Improving campus chilled water systems with intelligent control valves: a field study. [https://blog.belimo.com/hs-fs/hub/87971/file-235618146-pdf/docs/energy\\_valve\\_field\\_study.pdf](https://blog.belimo.com/hs-fs/hub/87971/file-235618146-pdf/docs/energy_valve_field_study.pdf)

Kangas, H., Turunen, T., Karhinen, S., Kotilainen, A., Piikkilä, V., Pihlajamaa, P., Harsia, P., Vainio, T., Vesanen, T., Mattinen-Yuryev, M., & Ohrling, T. (2019). Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin muutosten kansallisen toimeenpanon vaikutusten selvitys ja arviointi: Automaatiovelvoite, tekniset järjestelmät sekä lämmitys- ja ilmastointijärjestelmien tarkastukset. <https://www.ym.fi/download/noname/%7B069B79BA-48AE-4D78-B9BB-E995B7F0E06A%7D/146152>

Motiva Oy. (2020). Energian loppukäyttö. Motiva. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto-suomessa/energian\\_loppukaytto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/energian-kaytto-suomessa/energian_loppukaytto)

Motiva Oy. (2020). Rakentaminen ja rakennukset. Motiva. [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sek-tori/kestavat\\_julkiset\\_hankinnat/tietopankki/rakentaminen\\_ja\\_rakennukset](https://www.motiva.fi/julkinen_sek-tori/kestavat_julkiset_hankinnat/tietopankki/rakentaminen_ja_rakennukset)

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon-tarpeen laskenta, D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma Ympäristöministeriö. (2013). <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>

Rakennustieto Oy. (1989). LVI 12-10126, Lämmitysverkoston säätöventtiilien mitoitus. Rakennustieto Oy.

Sandberg, E. (2014). Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikka-Julkaisut Oy.

Siemens. (2006). Siemens VVG44.15-1.6 tekninen tuote-esite. [https://hit.sbt.siemens.com/RWD/modules/kernel/UI/slow/GetBinData.aspx?DTP=Data+Sheet+for+Product&SID=29069&EXT=.pdf&VALUE=Assets%5c29069\\_Kaksitieventtiilit%2520ulkokier-tein%2520PN16\\_fi.pdf&KEY=3&RT=1619346238846](https://hit.sbt.siemens.com/RWD/modules/kernel/UI/slow/GetBinData.aspx?DTP=Data+Sheet+for+Product&SID=29069&EXT=.pdf&VALUE=Assets%5c29069_Kaksitieventtiilit%2520ulkokier-tein%2520PN16_fi.pdf&KEY=3&RT=1619346238846) [https://hit.sbt.siemens.com/RWD/modules/kernel/UI/slow/GetBinData.aspx?DTP=Data+Sheet+for+Product&SID=29069&EXT=.pdf&VALUE=Assets%5c29069\\_Kaksitieventtiilit%2520ulkokier-tein%2520PN16\\_fi.pdf&KEY=3&RT=1619346238846](https://hit.sbt.siemens.com/RWD/modules/kernel/UI/slow/GetBinData.aspx?DTP=Data+Sheet+for+Product&SID=29069&EXT=.pdf&VALUE=Assets%5c29069_Kaksitieventtiilit%2520ulkokier-tein%2520PN16_fi.pdf&KEY=3&RT=1619346238846)

Taylor, S. T. (2002). Degrading Chilled Water Plant Delta-T: Causes and Mitigation. [https://www.taylor-engineering.com/wp-content/uploads/2020/04/ASHRAE\\_Symposium\\_AC-02-6-1\\_Degrading\\_Delta-T.pdf](https://www.taylor-engineering.com/wp-content/uploads/2020/04/ASHRAE_Symposium_AC-02-6-1_Degrading_Delta-T.pdf)

Ympäristöministeriö. Rakennusten energiatehokkuus. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus>