



# **Reglering av värmesystem och dess energieffektivisering**

En jämförelse av användningen av statiska och dynamiska ventiler i värmesystemen

**Erik Ekqvist**

Examensarbete  
Distribuerade energisystem  
2017

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem 2013
Identifikationsnummer:	16503
Författare:	Erik Mikael Sebastian Ekqvist
Arbetets namn:	Reglering av värmesystem och dess energieffektivisering En jämförelse av användningen av statiska och dynamiska ventiler i värmesystemen
Handledare:	Ali Aaltonen Kaj Karumaa
Uppdragsgivare:	Teknocalor Oy, Frese Ab
<p>Sammandrag:</p> <p>I detta examensarbete har jag på uppdrag av Frese As och Teknocalor Oy jämfört skillnaderna mellan statiska och så kallade dynamiska reglerventiler som används för att balansera vattenflödena i värmesystemen i fastigheter. I Finland planeras största delen av fastigheterna baserat på statiska ventiler. Jag har beskrivit hur rörsystemen är uppbyggda och ventilernas inverkan på hur man injusterar och reglerar systemen. Jag har teoretiskt beräknat skillnaderna i cirkulationspumpens energibehov samt uppskattat skillnaderna i installations- och injusteringskostnaderna.</p> <p>Jag strävar till att jämföra hur man kan reducera cirkulationspumpens energibehov på detta sätt och hur installationen av dynamiska regleringsventiler sparar på installationskostnaderna genom mindre behov av ventiler och installationstid. Dessutom undersöker jag hur man kan spara på injusteringskostnaderna av värmesystemet.</p> <p>Syftet med arbetet är att få en teoretisk analys om hur installationen av dynamiska ventiler procentuellt inverkar på skillnaderna i kostnader. Jag har utvärderat att skillnaden i pumpens energibehov på årsnivå ligger mellan 15 % till 35 % och inbesparningen i material och installationskostnader ligger vid ca. 15 %. Inbesparningen i injusteringskostnader ligger vid ca. 67 %.</p>	
Nyckelord:	Dynamisk, Statisk, reglerventil, cirkulationspump, installation kostnader, injusteringskostnader, energieffektivisering
Sidantal:	43
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	29.5.2017

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Hajautetut energiajärjestelmät 2013
Tunnistenumero:	16503
Tekijä:	Erik Ekqvist
Työn nimi:	Reglering av värmesystem och dess energieffektivisering En jämförelse av användningen av statiska och dynamiska ventiler i värmesystemen
Työn ohjaaja:	Ali Aaltonen Kaj Karumaa
Toimeksiantaja:	Teknocalor Oy Frese Ab
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tässä opinnäytteessä olen tarkastellut staattisten ja dynaamisten säätöventtiilien eroja. Näitä venttiilejä käytetään kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien vesimäärien säätämiseksi ja tasapainottamiseksi. Suomessa käytetään pääosin staattisia venttiilejä. Olen selvittänyt putkijärjestelmien rakenteita ja miten venttiilit vaikuttavat järjestelmien tasapainottamiseksi ja säätämiseksi.</p> <p>Olen teoreettisesti laskenut, miten venttiilien erot vaikuttavat kiertovesipumpun tehontarpeeseen ja arvioin erot sekä asennus, että tasapainotus kustannuksia. Tavoitteeni on ollut vertailla miten venttiilit vaikuttavat kiertovesipumpun vuosittaiseen tehontarpeeseen ja miten dynaamiset säätöventtiilit vaikuttavat asennus kustannuksiin pienemmän venttiilimäärän ja lyhyemmän asennusajan muodossa. Samalla olen vertaillut lämmitysjärjestelmän tasapainotuskustannuksia.</p> <p>Työn tavoitteena on ollut tehdä teorettinen vertailu miten dynaamisten venttiilien asentaminen prosentuaalisesti vaikuttaa kustannuksiin. Olen arvioinut, että säästö pumpun energiakulutuksessa vaihtelee vuosittain 15 prosentista 35 prosenttiin. Säästöt materiaali- ja asennuskustannuksissa ovat noin 15 % ja säästö tasapainotus kustannuksissa on 67 %.</p>	
Avainsanat:	Dynaaminen,staattinen,säätöventtiili,kiertovesipumppu,asennus,tasapainotus
Sivumäärä:	43
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	29.5.2017

## Innehållsförteckning

<b>Sammandrag:</b> .....	<b>2</b>
<b>Tiivistelmä:</b> .....	<b>3</b>
<b>Figurer</b> .....	<b>5</b>
<b>1. Inledning</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Beskrivning av värmeväxlare i ett värmesystem</b> .....	<b>7</b>
2.1 Fläktkonvektorer.....	7
2.2 Värmeelement .....	8
2.2 Termostatventilen .....	8
2.3 Luftuppvärmningsbatteri.....	9
2.4 Kylbatterier .....	9
<b>3. Uppbyggnaden av ett värmesystem som regleras med statiska ventiler</b> .....	<b>10</b>
3.1 Regleringsprincipen och funktionen av statiska ventiler .....	10
3.2 Beskrivning av ett rörsystem med statiska ventiler.....	14
3.3 Injusteringen av ett värmesystem med statiska ventiler .....	16
<b>4. Beskrivning av dynamiska ventiler</b> .....	<b>17</b>
4.1 Beskrivning av funktionen och reglerprincipen av en dynamisk ventil .....	17
4.2 Beskrivning av ett rörsystem med dynamiska ventiler .....	21
4.3 Injustering av ett värmesystem med dynamiska ventiler .....	23
<b>5. Cirkulationspumpen</b> .....	<b>23</b>
5.1 Allmänt om pumpen.....	23
5.2 Bestämmande av driftpunkt.....	24
5.3 Pumpens energiförbrukning .....	25
5.4 Affinitetslagarna.....	27
5.5 Volymflödets inverkan på pumpens energiförbrukning. ....	28
<b>6. Skillnader i inbesparningar och driftkostnader</b> .....	<b>31</b>
6.1 Investeringskostnader .....	31
6.2 Driftkostnader .....	33
6.3 Injusterings- och installations tidsinbesparningar. ....	37
<b>7. Case: Canary Wharf Tower, London</b> .....	<b>38</b>
<b>8. Avslutning</b> .....	<b>41</b>
<b>9. Källförteckning</b> .....	<b>42</b>

## Figurer

Figur 1 Fläktkonvektorns uppbyggnad [14] .....	7
Figur 2 Termostat ventilens delar [6] .....	8
Figur 3 Ventilationsaggregat med kylningsbatteri [23].....	9
Figur 4 Inställning av förhandsvärde [7] .....	11
Figur 5 Statisk ventil [7].....	11
Figur 6 Ett tryckfallsdiagram [7].....	12
Figur 7 Noggrannheten beroende på antal varv i förhandsinställningen [7].....	13
Figur 8 Ventilens mätningssäkerhetsavstånd [7].....	13
Figur 9 Exempel på fastighet med statiska ventiler [23] .....	14
Figur 10 Stap-Stad installation [8] .....	15
Figur 11 Itererings processen för injustering av statiskt värmesystem [25] .....	17
Figur 12 Tryckskillnaden i förhållande till volymflöde [24].....	19
Figur 13 Frese Alpha Reglerventil [12] .....	20
Figur 14 Kartouchens funktionsprincip [24].....	20
Figur 15 Ventilerna som bortfaller vid användningen av dynamiska ventiler [21] .....	22
Figur 16 Exempel på fastighet med dynamiska ventiler [23] .....	22
Figur 17 Pumpens arbetspunkt som funktion av flödet och tryckhöjd. [9].....	25
Figur 18 Givna verkningsgrader för standard våta pumpar och torra pumpar. [9] .....	26
Figur 19 Pumpdrift under hela året enligt EU- direktiv 2005/32/EG [19].....	33
Figur 21 Temperaturskillnader mellan användningen av statisk och dynamisk ventil [18] .....	40
Figur 22 Skillnader i effekten på kylbatterierna mellan användningen av statisk och dynamisk ventil [18].....	40
Figur 23 Skillnader i flödet mellan användningen av statisk och dynamisk ventil [18].	40

## 1. Inledning

Arbetet behandlar en jämförelse mellan traditionell balansering av ett värmesystem i olika fastigheter och hur man med användningen av ny utvecklade dynamiska ventiler kan spara på energi- och investeringskostnader.

Jag strävar till att jämföra hur man kan reducera cirkulationspumpens energibehov på detta sätt och hur installationen av dynamiska regleringsventiler sparar på installationskostnaderna genom mindre behov av ventiler och installationstid. Dessutom undersöktes det hur man kan spara på injusteringskostnaderna av värmesystemet.

Syftet med arbetet är att få en teoretisk analys om hur installationen av dynamiska ventiler istället för statiska ventiler inverkar på pumpens energibehov samt injusteringskostnaderna.

Dynamiska reglerventiler har installerats redan en längre tid i olika länder i Europa. De tillverkas idag av alla betydande leverantörer i Europa.

I Finland har vi traditionellt använt statiska reglerventiler för att balansera värmesystem men på senare tid har användningen av dynamiska ökat och det beror på att de flesta leverantörer har i sina produkturval dynamiska ventiler. Inom varvsindustrin där installations- och injusteringsstiden är en kritisk faktor används idag dynamiska ventiler.

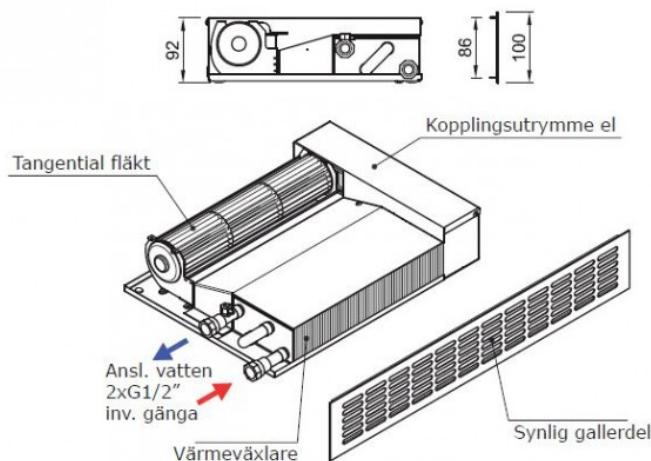
I detta arbete behandlas inte regleringen av värmeväxlare för bruksvatten samt golvvärme. Även är arbetet begränsat till 2-rörs system som är det mest använda i Finland.

## 2. Beskrivning av värmeväxlare i ett värmesystem

### 2.1 Fläktkonvektorer

En fläktkonvektor är en värmeväxlare (radiator) med en inbyggd fläkt. I en fläktkonvektor cirkulerar luften med hjälp av en fläkt genom ett uppvärmningsbatteri. Batteriet är oftast av lamell typ och har en betydligt större yta än en vanlig radiator. Vattnet i värmesystemet cirkulerar genom batteriet i fläktkonvektorn och fläkten effektiviserar värmeöverföringen.

På detta sätt får man betydligt effektivare värmeöverföringsenhet och man kan använda lägre temperaturer på vattnet. Fördelen är att värmen sprids snabbt och effektivt men nackdelen i vissa lägen kan ljudnivån och luftflödet upplevas som störande. Om fläkten har en hög värmekapacitet kan vattentemperaturen i värmesystemet vara lägre. En annan fördel med en fläktkonvektor med hög kapacitet är att fläkten inte alltid behöver gå på maximalt varvtal vilket leder till energi inbesparing. Figur 1 visar hur en fläktkonvektor är uppbyggd. [1], [2], [3]



Figur 1 Fläktkonvektorns uppbyggnad [14]

## 2.2 Värmeelement

Värmeelement är till för att värma upp inomhus luften i en byggnad. Den överför värme från exempelvis vatten till luften, antingen genom strålning eller konvektion.

Värmeelementen placeras oftast vid ytterväggen under ett fönster för att hindra kallt luftflöde längs med golvet, som även kallas för kallras.

Det finns två olika typer av värmeelement, radiatorer som överför sin värme till luften genom strålning och konvektorer som för över sin värme genom konvektion.

Vattenburna värmesystem med radiatorer i en sluten krets är det som rekommenderas idag. [1], [2], [3]

## 2.2 Termostatventilen

Termostat ventilens uppgift är att hålla temperaturen konstant i alla rum genom att justera flödet efter värmebehovet. I figur 3 ser man själva ventil delen (Del 1) med den kan man justera ett förhandsvärde som baserar sig på önskad rumstemperatur och ett beräknat värmebehov. Den justerar kv- värdet.

Med termostaten (Del 2) kan man sedan justera temperaturen efter eget önskemål. På detta sätt kan man uppnå samma temperatur i rum som är belägna på solsidan och i rum som icke är utsatta för direkt sol. Samtidigt kan man uppnå samma temperatur i rum som är belägna i översta våningen längst bort från pumpen. [1], [2], [3], [6]



Figur 2 Termostat ventilens delar [6]



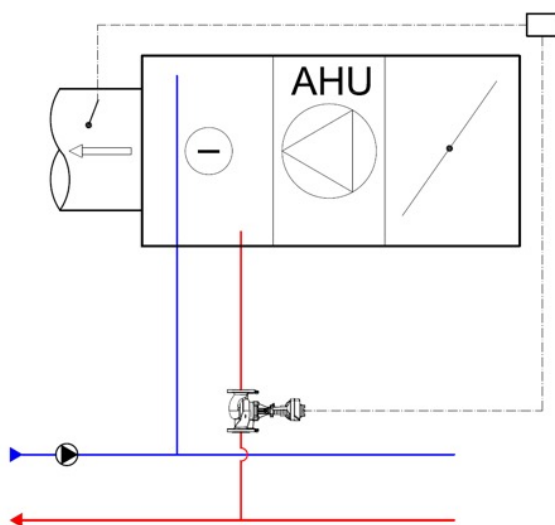
## 2.3 Luftuppvärmningsbatteri

Används också ofta för att delvis fylla värmebehovet i byggnader. Värmebatteriet i en ventilationsapparat består av kopparrör som är försedda med lameller av aluminium. På detta sätt får man på luftsidan en betydligt större yta som kompenserar för den sämre värmeöverföringen från luften till lamellen. Effekten i ventilationsapparaternas batterier är betydligt större än de enskilda radiatorerna i huset och har större vattenmängder. Vattentemperaturerna dimensioneras i luft normalt 60°C inkommande temperatur och 40°C utloppstemperatur. Tryckförlusten dimensioneras normalt till 25 kPa. Batterierna har oftast 2–3 rörader i djupled och hastigheten i röret varierar mellan 0,8 m/s till 1,5 m/s. Vattenhastigheten inverkar på värmeöverföringen men om hastigheten ökar så stiger tryckförlusten. [1], [2], [3]

## 2.4 Kylbatterier

Kylbatterier är uppbyggda på samma sätt som ett luftuppvärmningsbatteri med kopparrör och aluminiumlameller. Skillnaden är att den logaritmiska temperatur differensen är betydligt lägre och därför blir batteriet mycket djupare. Normalt används det vattentemperatur på inkommande vatten 4°C till 8°C och utgående temperatur på 10°C till 12°C.

På luftsidan kyler man ofta ner luften till 16°C-22°C. Temperaturskillnaden på vatten sidan är normalt 4°C-6°C vilket leder till större vattenmängder än i värmebatterier. [1], [2], [3]



Figur 3 Ventilationsaggregat med kylningsbatteri [23]

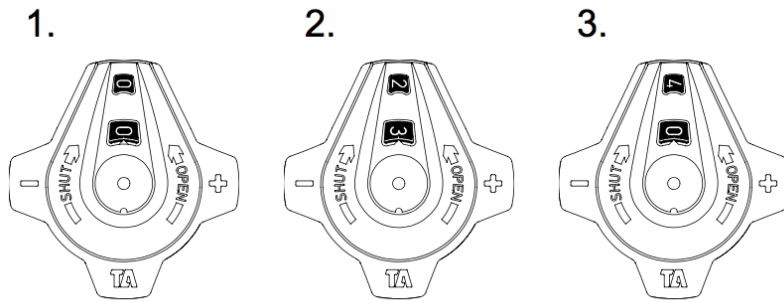
### 3. Uppbyggnaden av ett värmesystem som regleras med statiska ventiler

På basen av värmeförlusterna i de olika rummen beräknas värmebehovet enskilt för de olika batterierna i ett traditionellt dimensionerat värmesystem. Strävan är den att inomhusklimatet i alla rummen är enligt beräkningarna som kan tillåta lite varierande temperaturer i olika utrymmen. I ett bostadshus dimensioneras temperaturen lika i alla bostadsutrymmen och lite lägre i exempelvis källare och andra gemensamma utrymmen. Utmaningen är att uppehålla jämn temperatur i de olika våningarna samt de olika sidorna av huset beroende på olika belastningar utifrån och inifrån. En annan utmaning är även den att åstadkomma samma dimensionerade flöde i alla batterier oberoende av våning och avstånd från pumpen (pannrummet). [1], [2], [3]

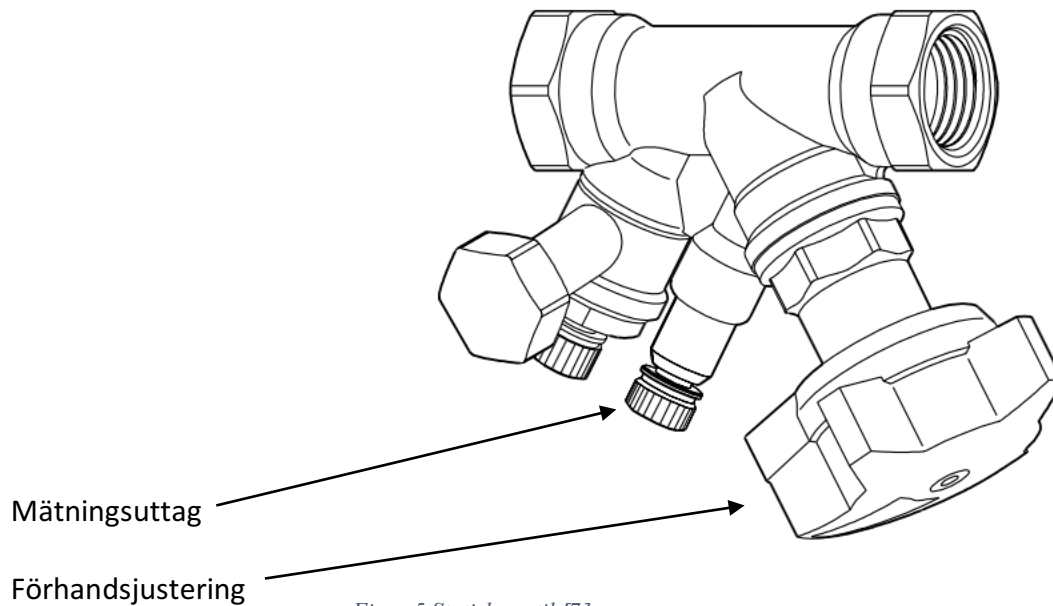
#### 3.1 Regleringsprincipen och funktionen av statiska ventiler

Med en statisk reglerventil ställer man in flödesmängden genom att mäta och reglera flödet så att man öppnar eller stryper öppningen i ventilen. Genom att mäta tryckfallet får man en relation till flödet och mätinstrumentet ger i vissa fall direkt flödet som mätresultat. Mätningen sker med en elektronisk tryckfallsmätare som ansluts till ventilens två mätningsslag. Reglerområdet för ventilen är från 0–100 procent så att ventilen kan även användas som avstängningsventil.

En reglerventil fungerar på det sättet att man ställer in ett förhandsvärde som bestämmer en maximal volymmängd som strömmar genom ventilen även om flödet kunde vara större. För varje ventilstorlek finns det ett tryckfallsdiagram som visar tryckfallet för olika förinställningar och flöden. I figur 4 ser man hur man för inställer ett förhandsvärde på ventilen.



Figur 4 Inställning av förhandsvärde [7]



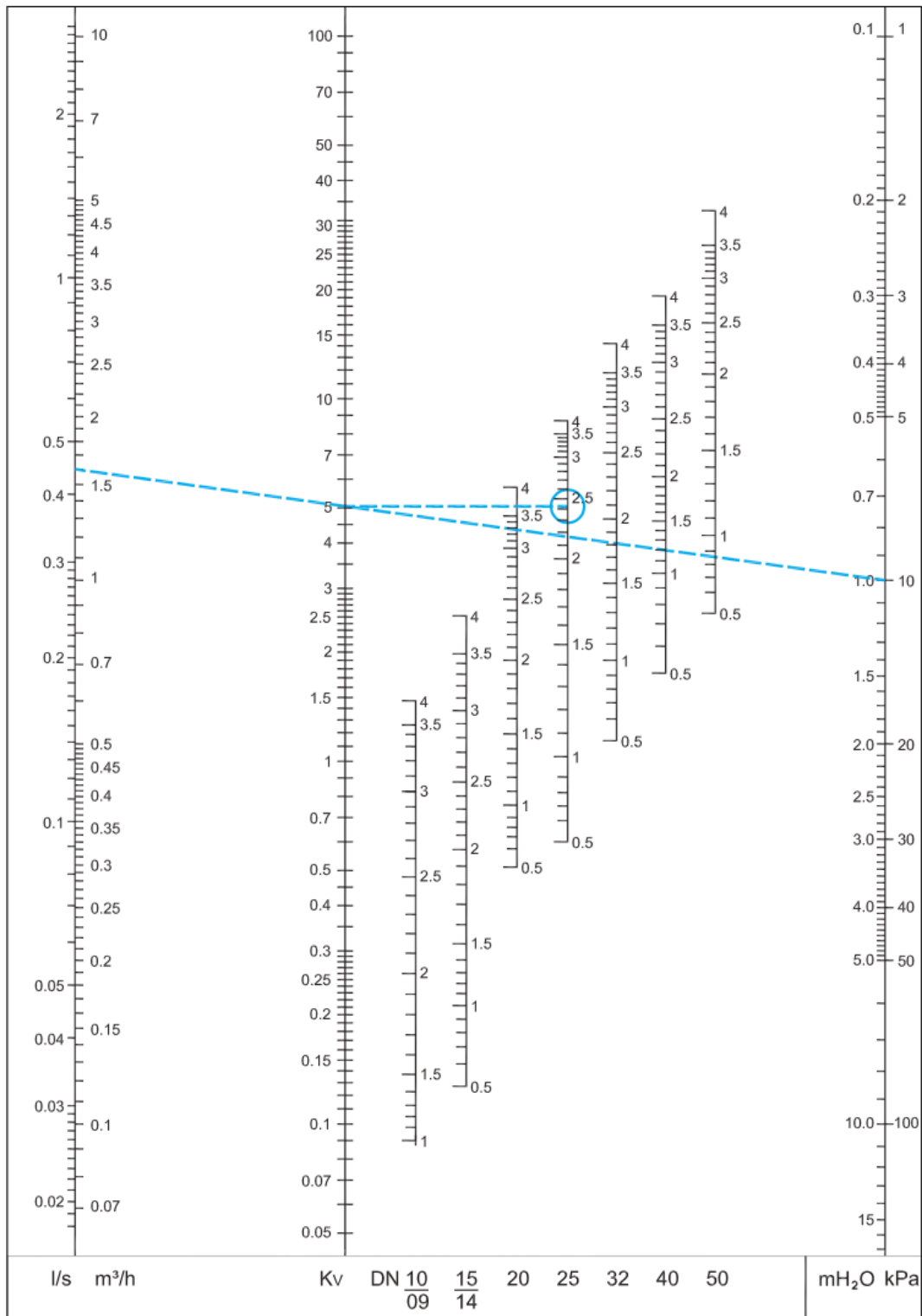
Figur 5 Statisk ventil [7]

Från tryckfallsdiagrammet väljer man den rätta storleken av en ventil. Det gör man genom att bestämma vilket volymflöde man vill ha till den grenen eller stigaren. Figur 6 visar ett tryckfallsdiagram. Man drar en rak linje från vattenflödet över kv- värdet och ur diagrammet kan man sedan avläsa det tryckfall över ventilen som ger det önskade vattenflödet.

Utgående från denna linje kan man från kv- värdet bestämma ventilstorleken genom att från kv- värdet dra horisontalt en linje som korsar de olika ventilstorlekarnas förhandsinställningsvärden.

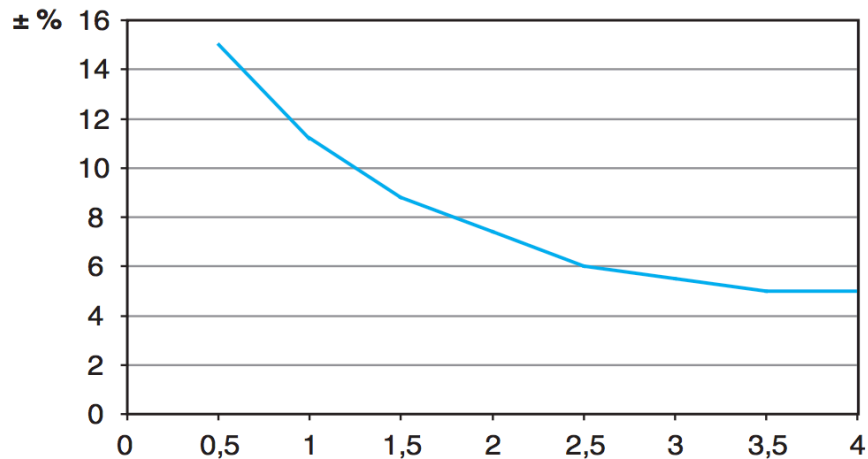
På basen av förhandsinställningsvärdet kan man sedan bestämma hur mycket reglermarginal de olika storlekarna ger. Storlekarna är givna i DN 10–50, som är

diametern givet i millimetermått. Ibland måste man välja en större ventil för att kunna efterhand justera på flödet ifall behovet ändras.



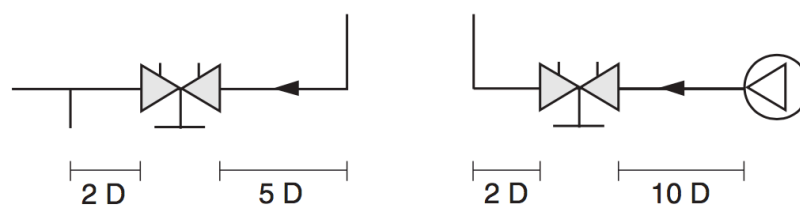
Figur 6 Ett tryckfallsdiagram [7]

Figur 7 visar ventilens noggrannhet beroende på hur många varv förhandsinställningen har vridits. Normalt är förhandsinställningen dimensionerad från 2–3 varv så att noggrannheten ligger vid  $\pm 5\%$ .



Figur 7 Noggrannheten beroende på antal varv i förhandsinställningen [7]

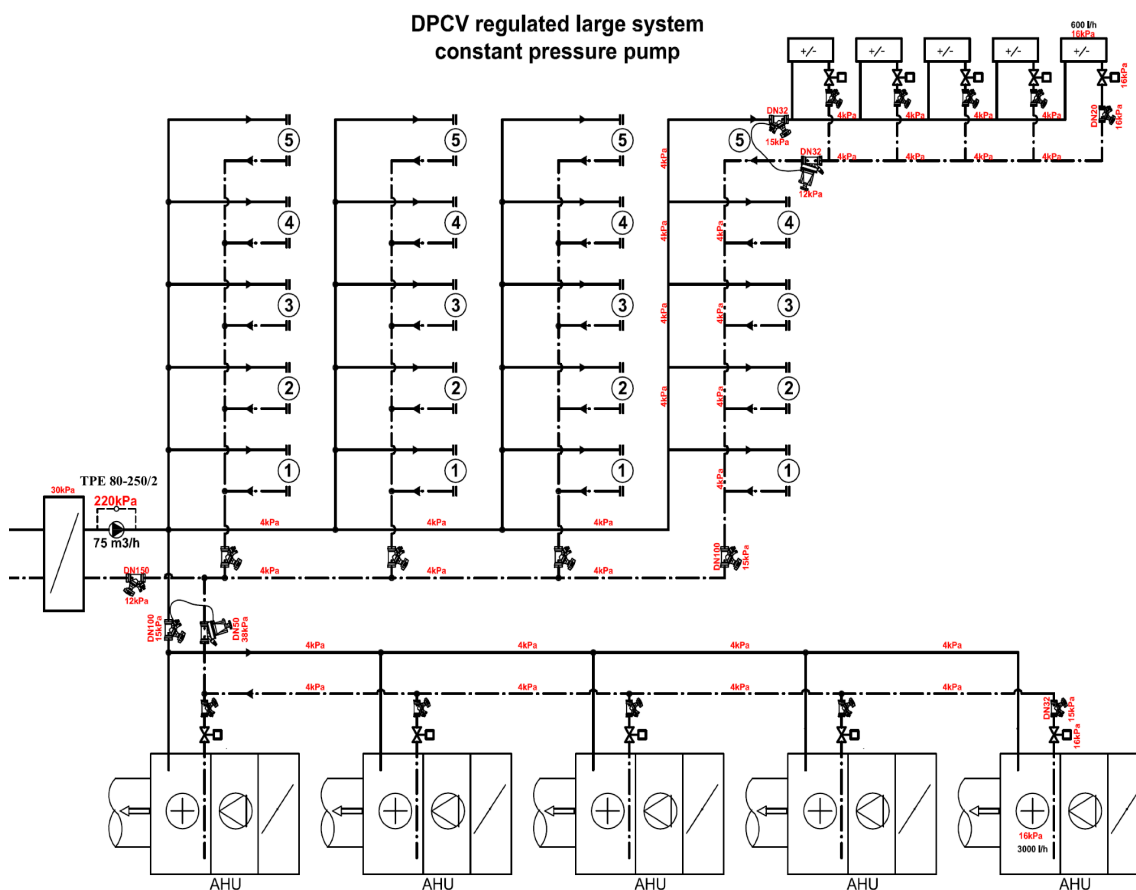
Figur 8 visar på vilket avstånd en ventil skall installeras från en rörböjning och pumpen. Ventilen kan inte direkt installeras fast i pumpen utan måste ha ett säkerhetsavstånd på 2–10 gånger ventils diameter. [6], [7], [15], [16]



Figur 8 Ventils mättings säkerhetsavstånd [7]

### 3.2 Beskrivning av ett rörsystem med statiska ventiler

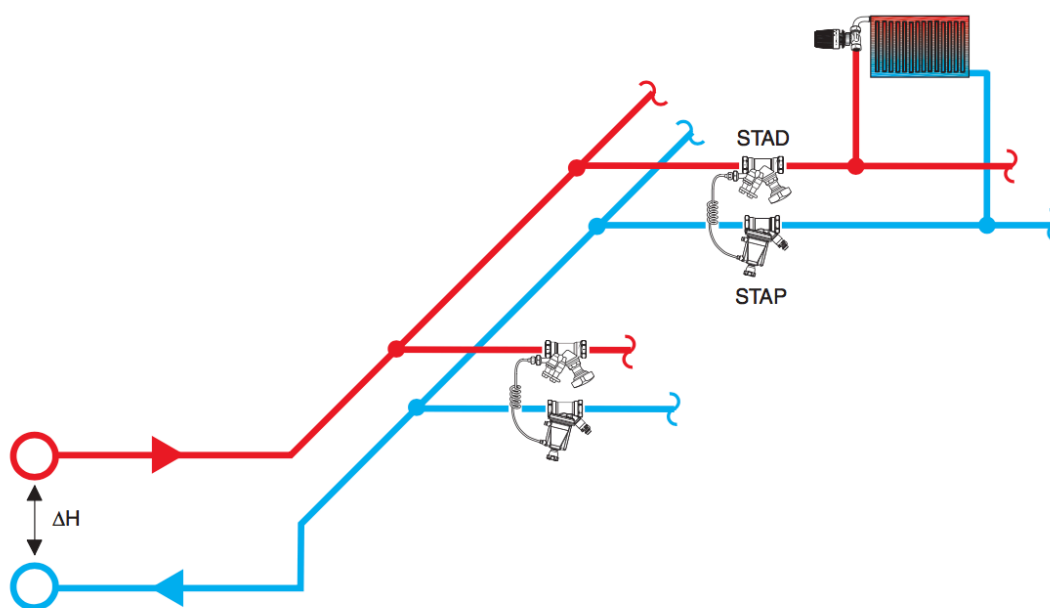
I arbetet använder vi som ett exempel en modern fastighet med 5 våningar och 4 stigarlinjer samt ett ventilationsaggregat per våning. I figur 9 ser man rörsystemet med de ventilerna som krävs för att balansera nätet. Siffrorna 1 till 5 anger våningarna i fastigheten. Varje stigarlinje är försedd med statisk linjeregleringsventil på retursidan. I figur 9 finns också de beräknade tryckförlusterna vid det maximala flödet som är beräknat till 21 l/s [23]. Varje förgrening är försedd med en så kallad Stap-Stat linjeregleringsventil kombination. I varje våning finns det dessutom en förgrening med 5 stycken fläktkonvektorer (FCU). För ventilationsapparaterna i de olika våningarna finns det en separat stigarlinje som är försedd med en Stap-Stat kombination. Varje ventilationsapparats uppvärmningsbatteri förses med en linjeregleringsventil och en termostatsventil.



Figur 9 Exempel på fastighet med statiska ventiler [23]

Alla 4 stigare och de 5 stycken förgreningarna till de olika våningarna har sina egna reglerventiler. I början av alla förgreningar till de enskilda våningarna ser man i figur 10 fram- och returledningarnas reglerventiler som är kopplade till varandra, en s.k. Stad-Stap koppling.

Deras uppgift är att reglera rätt flöde till de enskilda stigarlinjerna och i våningarna reglera rätt flöde till de enskilda förgreningarna. I förgreningarna fördelas flödet till de olika radiatorerna. Tryckskillnaden över förgreningens fram- och returledning mäts genom att man installerar en statisk reglerventil (Stad) på framledningen och en icke inställbar reglerventil (Stap) på retursidan. Dessa kopplas ihop med ett kapillarrör och på det sättet kan man mäta och reglera vattenflödet. Detta kallas på marknaden för en Stap - Stad installation.



Figur 10 Stap-Stad installation [8]

De enskilda radiatorerna är försedda med termostatventil. Med termostatventilen justeras flödet så att man uppnår det önskade inneklimatet. På marknaden finns det idag termostatventiler som är så känsliga att de reagerar på om ett fönster är öppet i rummet.

Fastigheter försedda med fläktkonvektorer förses varje fläktkonvektor med en separat reglerventil och en termostatventil med ställmotor.

Ventilationsapparaterna är kopplade i en separat stigarlinje. Denna linje är även försedd med en Stap- Stad installation som mäter och reglerar flödet till hela stigarlinjen.

Ventilationsapparaternas eftervärmningsbatterier är försedda med en reglerventil och en reglerventil med ställmotor.

Cirkulationspumpens varvtal d.v.s. flödet regleras på basen av tryckskillnaden på fram- och returlinjen i den förgrening som är längst bort ifrån pumpen. [6], [8], [15], [16]

### 3.3 Injusteringen av ett värmesystem med statiska ventiler

I ett traditionellt värmenät leds vattnet från pumpen längs med stamledningar i bottenvåningen och förgrenas uppåt i vertikala linjer så kallade stigare. Från dessa stigare fördelas vattnet sedan i våningarnas förgreningsrör. Från förgreningsrören leds vattnet sedan till de olika batterierna eller fläktkonvektorerna.

Varje stigarlinje måste ha det rätt dimensionerade vattenflödet och utan exakt reglering skulle vattnet flöda enbart i de linjerna som har de minsta tryckförlusterna.

Genom att bygga in statiska linjereglerings ventiler kan man fördela vattenmängden exakt till det dimensionerade vattenflöde så att varje stigarrör får rätt flöde. Flödet dimensioneras till det maximala värmebehovet och planerarens uppgift är att räkna ut systemets tryckförluster till de enskilda radiatorerna.

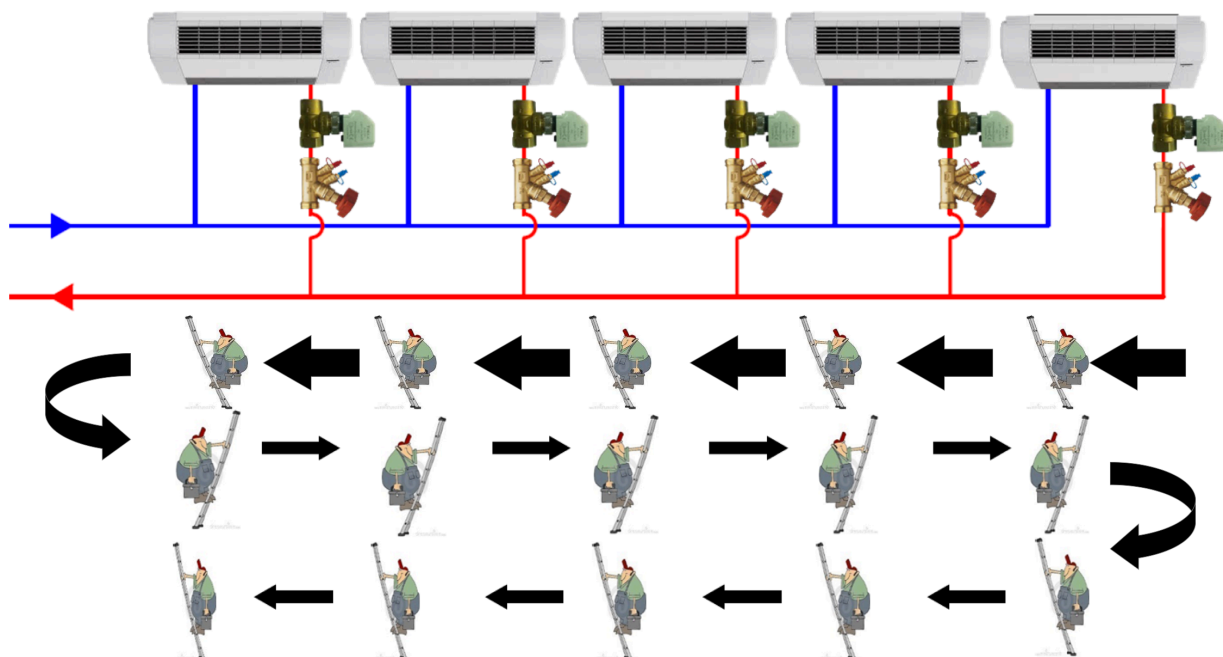
Reglerventilerna injusteras så att man stryker på flödet och på så sätt ändrar ventilens egna tryckfall så att man uppnår det önskade flödet till varje förgreningslinje eller fläktkonvektor i fastigheten.

Cirkulationspumpen dimensioneras så att den har ett tillräckligt flöde och tillräckligt tryckfall för att övervinna alla tryckförluster i systemet.

Injusteringsprocessen är en itererings process där man först ställer in vattenflödet i ventilen längst bort från pumpen och fortsätter ställa in flödet ventil för ventil tills man kommit genom hela fastigheten. Sedan mäter man inställningen i den första ventilen och ställer ventilerna på nytt tills man fått ett stabilt läge med rätta inställningsvärden.



Vanligtvis behövs det åtminstone 3 upprepningar av denna process för att uppnå rätta inställningsvärden. Figur 11 beskriver itererings processen. Injusteringen av statiska ventiler i en fastighet är problematisk och väldigt tidskrävande. Ventilerna kan vara placerade på svårt tillkomliga platser, som till exempel mellan tak eller andra trånga utrymmen. [6], [15], [16], [17]



Figur 11 Itererings processen för injustering av statiskt värmesystem [25]

## 4. Beskrivning av dynamiska ventiler

### 4.1 Beskrivning av funktionen och reglerprincipen av en dynamisk ventil

Principen och behovet av hydronisk injustering med dynamiska ventiler beskrivs utmärkt i VVS-tidningen 5/2015 på basen av en intervju med IMI-Hydrronics VD [13]. I artikeln konstateras att problematiken är att få optimal energimängd till alla värmeavgivare under alla förhållanden d.v.s. när värmebehovet eller kylbehovet varierar i olika delar av en fastighet. I praktiken fungerar radiatorerna nästan hela året på delbelastning vilket innebär att det uppstår trycksvängningar av strypta ventiler, vilket innebär att flödet ändras i de andra radiatorerna. För att undvika detta har man utvecklat så kallade dynamiska reglerventiler som också går under benämningen AFC-teknik.

Benämningen dynamisk ventil beskrivs bättre av det engelska namnet *Pressure Independent Control Valve*, vilket betyder en reglerventil som där vattenflödet är oberoende av trycket i framledningen till ventilen. Ventilen fungerar så att vattenflödet hålls konstant över ventilen oberoende av om pumpens tryck (varvtal) förändras eller om tryckförhållandena i värmesystemet (andra ventiler) förändras. Eftersom radiatorerna i ett värmesystem mestadels jobbar på del belastning betyder detta att många ventiler i systemet är delvis strypta och pumpens tryck och flöde är betydligt lägre än vid max belastning.

Dynamiska ventiler möjliggör att vattenflödet i alla batterier under alla omständigheter alltid är konstant.

Figur 12 visar hur trycket i framledningen ökar men flödet hålls konstant vid dynamisk reglering.

I figur 12 kan man se att i ett dynamiskt balanserat system är volymflödet konstant men tryckdifferensen ändras. Detta ger ett mindre tryckbehov av pumpen och mindre effektbehov. [24]

Regler- och funktionsprincipen ligger i formeln:

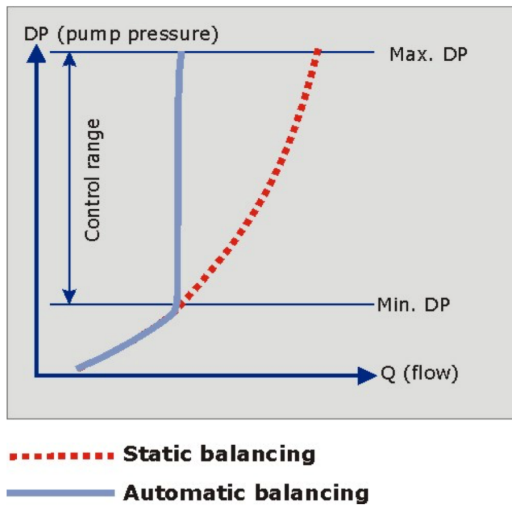
$$Q = kv \sqrt{\Delta P}$$

Q = Volymflöde

kv = Ventilens öppningsfaktor

$\Delta P$  = Tryckskillnaden

$$Q = kv \times \sqrt{\Delta p}$$



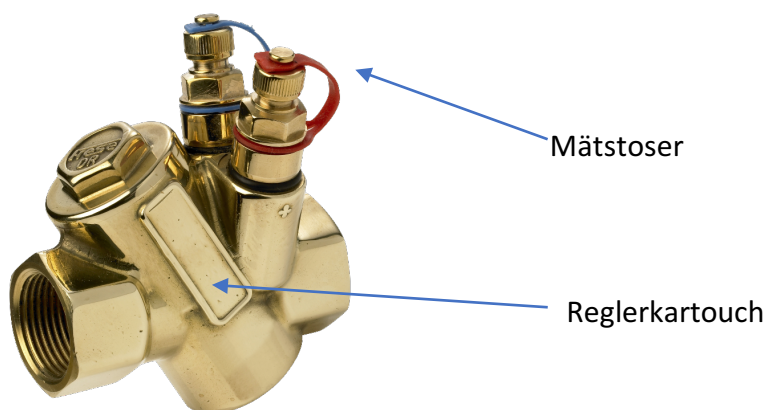
Figur 12 Tryckskillnaden i förhållande till volymflöde [24]

Denna formel innebär att flödet är en funktion av kv- värdet och tryckdifferensen över ventilen. Kv- värdet är konstant och förändras inte som funktion av trycket i framledningen. Detta betyder att om tryckdifferensen över ventilen är konstant och oberoende av trycket i framledningen hålls flödet genom ventilen konstant. Hålet i den rörliga cylindern bestämmer kv- värdet i ventilen och detta värde är konstant. Genom att hålla tryckdifferensen över ventilen konstant hålls också vattenflödet konstant. En fjäder håller den rörliga cylindern alltid i ett sådant läge att tryckförlusten över ventilen är den samma. Om trycket ökar börjar cylindern strypa på öppningen och på så sätt hålla tryckförlusten konstant.

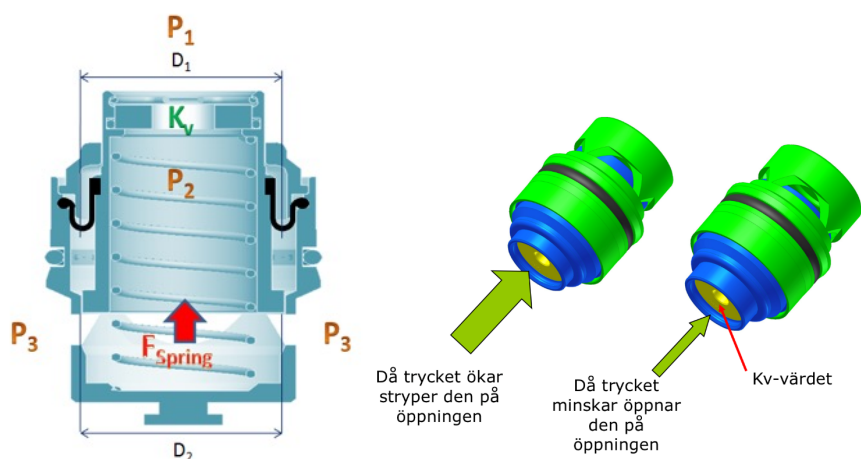
Figur 13 visar hur en dynamisk reglerventil ser ut. Den består av en stomme som har en inbyggd kartouche och 2 stycken mätstoser för mätning av tryckdifferensen över ventilen. Ventilen fungerar så att den inbyggda kartouchen håller tryckdifferensen konstant. Figur 14 visar hur kartouchen (reglerenheten) är uppbyggd. Den består av ett yttre hölje och en cylinder. Cylindern är rörlig och trycks mot framledningen med hjälp av en fjäder. I kartouchens hölje finns det hål där vattnet strömmar ut ur ventilen. Dessa hål är halvrunda vilket betyder att då trycket ökar stryper cylindern öppningarna i höljet.

På detta sätt håller fjädern cylindern alltid i ett sånt läge att tryckdifferensen över ventilen är konstant och därmed hålls flödet konstant. Motsvarande läge är att då trycket minskar öppnar den på öppningarna så att tryckdifferensen igen hålls konstant. I figur

14 kan man se hålet i cylindern som är konstant och som bestämmer ventilens kv-värde. Man kan se fjädern som trycker cylindern mot framledningens vattenflöde.



Figur 13 Frese Alpha Reglerventil [12]



Figur 14 Kartouchens funktionsprincip [24]

Öppningen i ventilens hölje kan sedan ändras som en funktion av en förhands inställning. Cylinderns läge stryker öppningarna i ventilen och håller den dynamiska tryckskillnaden konstant. På detta sätt reagerar ventilen endast på skillnader i det dynamiska trycket och håller flödet genom ventilen konstant.

Ventilen hindrar samtidigt också att radiatorerna eller konvektorerna får ett överflöde av vatten om andra ventiler stryps eller sluts.

Fördelarna i användningen av dynamiska ventiler beskrivs i tidningsartikeln VVS 5/2015 [13]. Framst gäller det att med ett konstant vattenflöde är vattenmängden alltid rätt injusterad och man kan undvika störande ljud från ventilerna. Dessutom uppnår man lägre temperaturer på returvattnet vilket medför optimal drift för fjärrvärme

värmeväxlare. Enligt artikeln är den också utvecklad för att injustera värmesystem där man inte exakt kan beräkna tryckförhållandena. [13], [15], [16], [25]

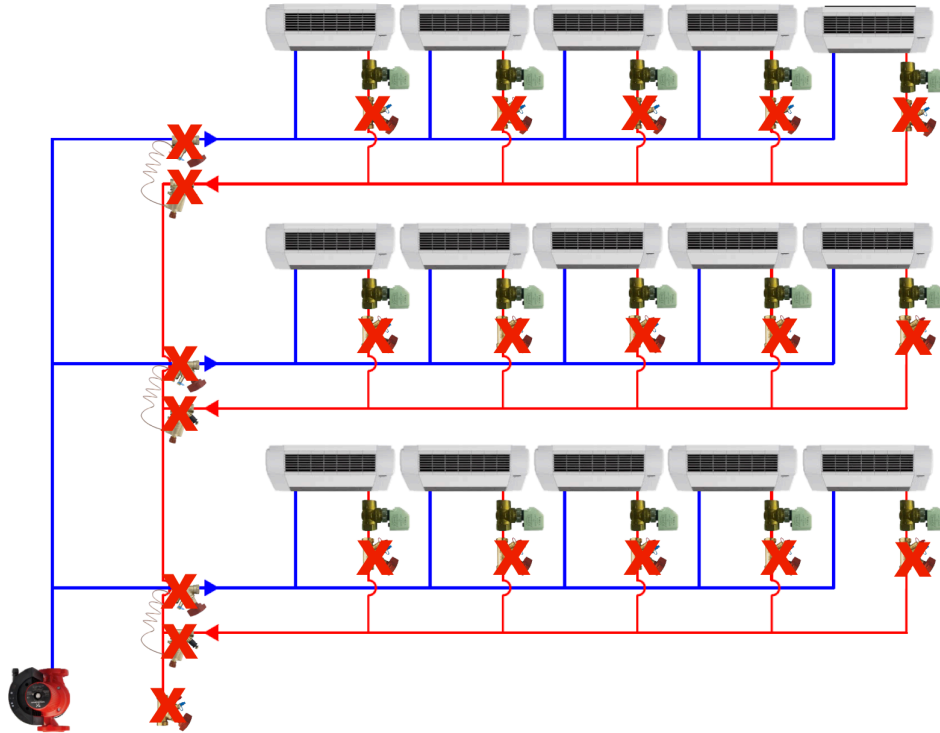
## 4.2 Beskrivning av ett rörsystem med dynamiska ventiler

I ett värmesystem som balanseras med dynamiska ventiler placeras en ventil på retursidan efter radiatoren som är belägen längst bort i varje förgrening. Samma gäller för stigarlinjen för ventilationsapparaterna, det vill säga om flera ventilationsapparater är kopplade i samma rörkrets behövs det endast en reglerventil som placeras på retursidan efter batteriet som är längst bort ifrån pumpen.

I värmekretsar med fläktkonvektorer utrustas varje fläktkonvektor med en separat dynamisk ventil. För en optimal injustering rekommenderas det att varje radiator utrustas med en egen dynamisk reglerventil enligt tidningen VVS 5/2015 [13].

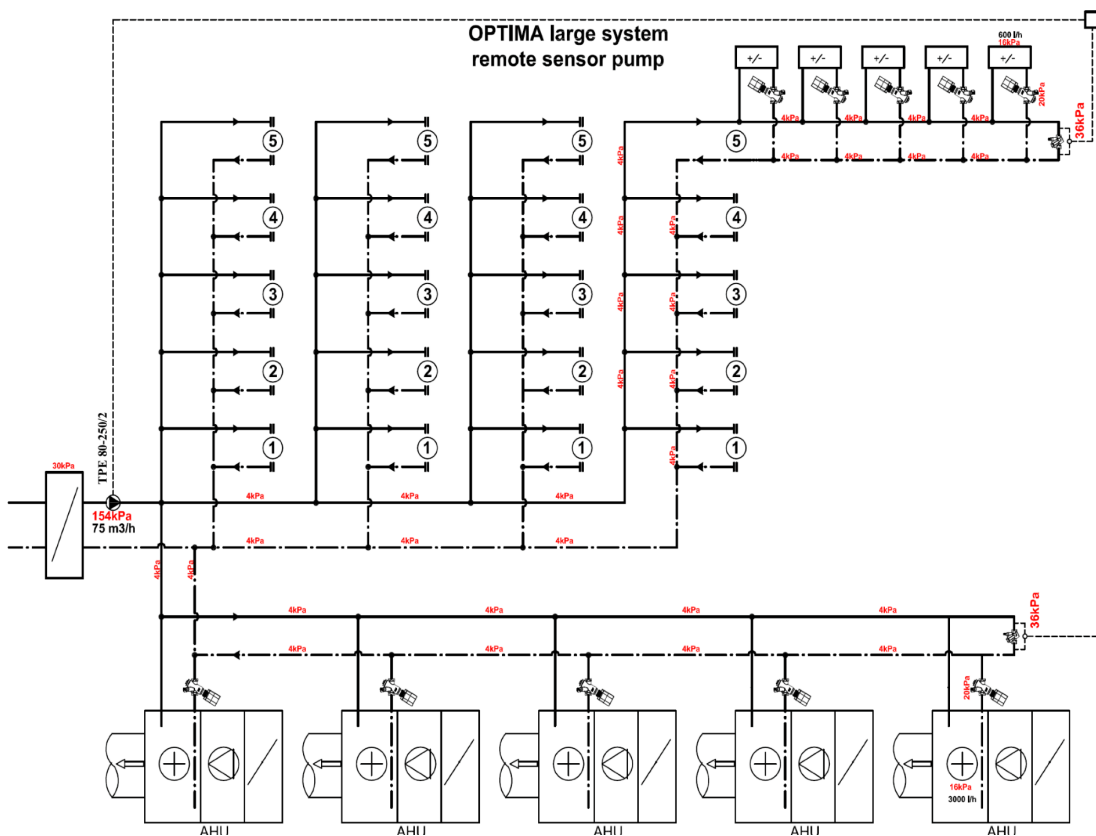
Skillnaden mellan ett system med statiska och dynamiska ventiler är den att linjeregleringsventilerna för stam röret, stigarna och förgreningsrören bortfaller från dynamiskt styrda värmesystem. Det vill säga att man ersätter 2 eller 3 stycken ventiler med en ventil och uppnår dessutom ett stabilt flöde i varje radiator eller konvektor.

De dynamiska ventilerna kan installeras utan att ta i beaktande rörböjningar eller avstånd från pumpen. På grund av sin regleringskaraktistik hålls även temperaturdifferensen optimal och svängningarna i temperaturdifferensen på vatten sidan minskar betydligt. Ett rör nät baserat på dynamisk balansering kan utvidgas utan att man behöver balansera det på nytt [16]. I figur 15 kan man se vilka ventiler som bortfaller och i figur 16 kan man se hur ett rörsystem ser ut med dynamiska ventiler.



Figur 15 Ventilerna som bortfaller vid användningen av dynamiska ventiler [21]

Värmesystemet måste dimensioneras så att det lägsta differenstrycket ligger i ventilen som är längst borta ifrån cirkulationspumpen (pannrummet). [13], [15], [16], [25]



Figur 16 Exempel på fastighet med dynamiska ventiler [23]

### 4.3 Injustering av ett värmesystem med dynamiska ventiler

Vid injustering av ett värmesystem med dynamiska ventiler mäter man vattenflödet i den reglerventil som är placerad längst bort från pumpen. Denna ventil som kallas för index ventil bestämmer pumpens tryckbehov.

Därefter injusteras varje dynamisk ventil till det önskade tryckdifferensvärdet det vill säga vattenflödet. Trots att trycket ökar då man närmar sig pumpen håller ventilen flödet konstant trots att trycket i framledningen stiger.

Detta innebär att det krävs endast en injusteringsprocess i motsats till injusteringen av ett statiskt rör nät, där det krävs åtminstone 3 stycken itererings processer för att få värmesystemet i balans.

Ifall värmesystemet ändras eller utökas krävs det ingen ny injustering av ventilerna utan endast en ny mätning av index ventilen, det vill säga den ventilen som är längst bort från pumpen i det utökade värmesystemet. [13], [15], [16]

## 5. Cirkulationspumpen

### 5.1 Allmänt om pumpen

Pumpens uppgift är att skapa flöde genom att producera tryck. I fastigheternas värmesystem så använder man cirkulationspumpar antingen med våt eller med torr motor. I mindre fastigheter används allmänt pumpar med våt motor och då det krävs större flöden används pumpar med torr motor. Den stora skillnaden mellan dem är den att i våta pumpar cirkulerar vattnet genom motorn medan i torra pumpar är vattnet helt avskilt från motorn med tätningar.

Det som påverkar pumpens energiförbrukning är effekten som i sin tur är beroende av tryckskillnaden, volymflödet och verkningsgraden. Vid val av pump typ är det viktigt att tänka på dessa eftersom man vill spara på energiförbrukningen och därmed på energikostnaderna.

[4], [5], [9], [10], [15]

## 5.2 Bestämmande av driftpunkt

Pumpens arbetspunkt kan man avgöra med hjälp av att veta tryckhöjden och volymflödet. Med tryckhöjd syftar man den höjd som pumpen orkar trycka upp vätskan till och det räknar man ut med formeln:

$$H = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

H = Tryckhöjden [m]

$\Delta P$  = Tryckskillnaden [Pa]

$\rho$  = Vattnets densitet [kg/m<sup>3</sup>]

g = Normalacceleration vid fritt fall [9,81 m/s<sup>2</sup>]

Med volymflöde menar man vätskevolym som pumpen förflyttar inom en given tid.

Man räknar ut volymflödet med formeln:

$$Q = Av$$

Q = Volymflöde [m<sup>3</sup>/s]

A = Rörets tvärsnittsarea [m<sup>2</sup>]

v = Hastigheten [m/s]

I figur 17 ser man pumpens systemkurva. Från den avläser man pumpens arbetspunkt när man vet volymflödet och tryckhöjden som krävs i systemet.

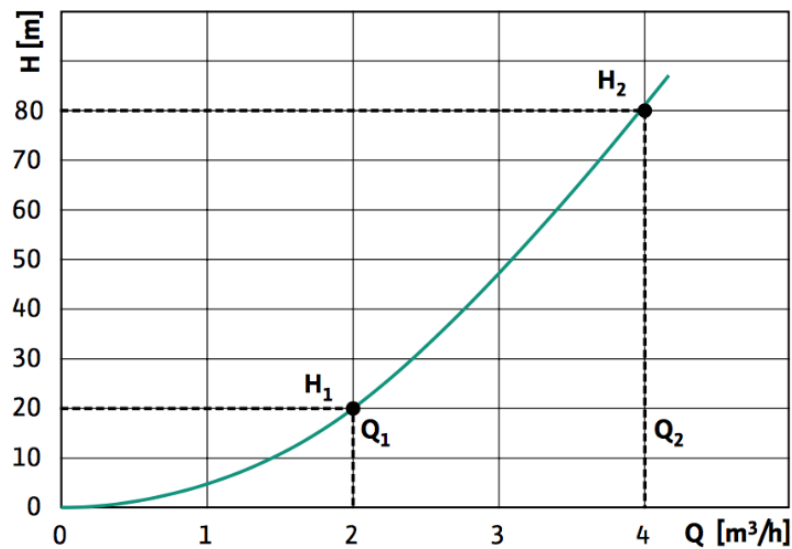
[4], [5], [9], [10], [15]



---

## Systemkurva

---



Figur 17 Pumpens arbetspunkt som funktion av flödet och tryckhöjd. [9]

### 5.3 Pumpens energiförbrukning

Pumpens arbetspunkt dimensioneras på basen av systemets maximala värme- eller kylbehov. Pumpens maximala tryckhöjd bestäms av rörsystemets totala tryckförlust som orsakas av det maximala volymflödet. Det maximala volymflödet uträknas med formeln:

$$Q = \frac{\phi}{c_p \rho \Delta T}$$

Q = Volymflödet [m³/s]

ϕ = Effektbehovet [kW]

c<sub>p</sub> = Vattnets värmekapacitet [kJ/kg°C]

ρ = vattnets densitet [kg/m³]

ΔT = Temperaturskillnaden mellan fram- och returledningen [°C]

Pumptillverkare som till exempel Wilo meddelar oftast pumpens elförbrukning. Detta gör de genom att meddela det i deras produktkatalog eller med en skylt på pumpen. Då man inte vet pumpens elförbrukning kan man räkna ut det med formeln:

$$P_1 = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

$P_1$  = pumpens elförbrukning ur elnätet [W]

$\rho$  = Vattnets densitet [ $\text{kg/m}^3$ ]

$g$  = Normalacceleration vid fritt fall [ $9,81 \text{ m/s}^2$ ]

$H$  = Tryckhöjden[m]

$Q$  = Volymflödet [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$\eta$  = pumpens verkningsgrad

Figur 18 är tagen ur pumptillverkaren Wilos katalog. Den visar verkningsgraden för standard torra och våta pumpar. [4], [5], [9], [10], [15]

Verkningsgrad för standard våta pumpar (Ungefärliga värden)	
Pumpar med motoreffekt $P_2$	$\eta_{\text{tot}}$
Upp till 100 W	ca 5% - 25%
100 till 500 W	ca 20% - 40%
500 till 2500 W	ca 30% - 50%

Verkningsgrad för torra pumpar (Ungefärliga värden)	
Pumpar med motoreffekt $P_2$	$\eta_{\text{tot}}$
Upp till 1,5 kW	ca 30% - 65%
1,5 till 7,5 kW	ca 35% - 75%
7,5 till 45 kW	ca 40% - 80%

Figur 18 Givna verkningsgrader för standard våta pumpar och torra pumpar. [9]

## 5.4 Affinitetslagarna

För beräkningen av pumpens funktioner gäller affinitetsreglerna som man skall beakta vid val av pump. Affinitetsreglerna beskriver vad som sker till volymflödet och tryckhöjden då man ändrar på pumpens varvtal. Det beskrivs med följande formler:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

Q1 = pumpens nya volymflöde

Q2 = pumpens kända volymflöde

n1 = pumpens nya varvtal

n2 = pumpens kända varvtal

H1 = pumpens nya tryckhöjd

H2 = pumpens kända tryckhöjd

P1 = pumpens nya effekt

P2 = pumpens kända effekt

Volymflödet är direkt proportionellt mot pumpens varvtal. Tryckhöjden är proportionellt mot kvadraten på volymflödet och pumpens effekt är proportionellt mot tredje potensen av volymflödet. [4], [5], [9], [10], [15]

## 5.5 Volymflödets inverkan på pumpens energiförbrukning.

Vid ett lägre flöde har motorn också en lägre effektförbrukning som ökar då flödet blir större. Då pumpens varvtal ökar, ökar effektbehovet med förhållandet av varvtalet i potens tre.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3$$

$P_1$  = Pumpens nya effekt

$P_2$  = Pumpens gamla effekt

$n_1$  = Pumpens nya varvtal

$n_2$  = Pumpens gamla varvtal

Eftersom volymflödet är direkt proportionellt med pumpens varvtal enligt affinitetslagen betyder det att pumpens effekt är proportionellt mot tredje potensen av volymflödet.

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3$$

$Q_1$  = Pumpens nya flöde

$Q_2$  = Pumpens gamla flöde

EU- direktivet 2005/32/EG [19] behandlar cirkulationspumparnas allmänna krav och procedurer för provning och beräkning av energieffektivitetsindexet EEI. I direktivet har det gjorts upp en årlig driftberäkning av variabelt flöde för cirkulationspumpar som beskrivs i tabell 1. Enligt detta direktiv bör en pump dimensioneras så att den arbetar på full effekt ca 6 % av året. Andra nyckelvärden är beskrivna i tabell 1.

Tabell 1: EU- direktivet 2005/32/EG årlig driftberäkning av variabelt flöde för cirkulationspumpar. [19]

Flöde (givet i % av maximalt flöde)	Tid i % av hela året (Europump)
100 %	6
75 %	15
50 %	35
25 %	44

Enligt tabellen jobbar pumpen 6% av året på full effekt. Ett år består av 8760h varav pumpen jobbar på full effekt ca. 526 timmar i året.

$$365 \text{ dygn/år} * 24 \text{ timmar/dygn} = 8760 \text{ h}$$

$$8760 \text{ h} * 0.06 = 525.6 \text{ h.}$$

I arbetets beräkning används ett exempel på en pump som är dimensionerad för ett volymflöde på 0,0057 m<sup>3</sup>/s (5,7 liter/s) och en tryckhöjd på 4,5 meter och en verkningsgrad på ca. 60 %. Drifftiden baserar sig på figur 19 i kapitlet 6.2. Denna kurva beskriver flödet som funktion av drifftiden enligt EU-direktiven 2005/32/EG [19].

Denna pump har en motor vars effekt är 0,416 kW. I tabell 2 har jag räknat ut effektförbrukningen i kWh på basen av drift timmar och effektbehov separat för 100 %, 75 %, 50 % och 25 % flöde.

Effektbehovet räknas ut med formeln:

$$P_1 = \frac{\rho g H Q}{\eta}$$

P<sub>1</sub> = pumpens effektbehov [kW]

ρ = Vattnets densitet [kg/m<sup>3</sup>]

g = Normalacceleration vid fritt fall [9,81 m/s<sup>2</sup>]

H = Tryckhöjden[m]

Q = Volymflödet [m<sup>3</sup>/s]

η = pumpens verkningsgrad

Vid 100 % flöde (0,0057m<sup>3</sup>/s) har denna pump en årlig effektförbrukning på 218,65kWh.

$$0,416 \text{ kW} * 525,6 \text{ h} = 218,65 \text{ kWh}$$

Effektbehovet för 75 %, 50% och 25% har beräknats med affinitetslagen:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3$$

Som resultat av den totala elförbrukningen har jag räknat ut ett årligt medelvärde för pumpens effektbehov på 72 W, vilket betyder att pumpen förbrukar i medeltal ca. 17 % av den maximala effekten. Resultaten från dessa beräkningar är sammanställda i tabell 2.

I beräkningarna har jag använt en hög verkningsgrad (~60%). Om man vill justera på verkningsgraden till pumpar med lägre verkningsgrad kan man procentuellt räkna ut motsvarande effektförbrukning, det vill säga för våta pumpar där verkningsgraden kan vara 30 % är elförbrukningen den dubbla.

I figuren 18 kan man se att för våta pumpar i effektområdet under 500W är verkningsgraden i medeltal ca 30 % och för torra pumpar i medeltal ca. 45%. Absoluta värden beror på val av pump. Den sammanlagda årliga effektförbrukningen för pumpen är 633,73 kWh. [4], [5], [9], [10], [15]

Tabell 2: Pumpens effektbehov och effektförbrukning för hela året.

Flöde % [%]	Tid % [%]	Timmar [h]	Flödesmängden [dm <sup>3</sup> /s]	Effektbehov [kW]	Effektförbrukning [kWh]
100	6	525,6	5,7	0,416	218,65
75	15	1314	4,28	0,1755	230,6
50	35	3066	2,14	0,052	159,43
25	44	3854,4	0,534	0,0065	25,05
Totalt	100	8760		0,073	633,73

## 6. Skillnader i inbesparningar och driftkostnader

### 6.1 Investeringskostnader

Om man jämför en modern fastighet med 5 våningar och 4 stigarlinjer samt ett ventilationsaggregat per våning blir inbesparningen enligt följande tabeller.

Tabell 3: Ventil investeringar i ett statiskt reglerat system. [20]

Traditionellt System				
Ventil/Ställmotor	Flöde m <sup>3</sup> /h	Mängd	Pris €/St	Totala priset €
Stad DN15	0,6	100	88,50	8848,31
Stad DN25	3	25	110,00	2749,97
Stad DN40	12	4	206,80	827,28
Staf DN 100	75	1	1101,70	1101,74
Stap 25	3	20	170,24	3404,85
Stap 50	1	1	296,24	296,24
CV216 MZ DN15	0,6	100	60,38	6037,83
Tse-m modul. thermo actuator 2-10v 2m		100	108,65	10 865,40
CV216 MZ DN25	3	5	105,56	527,81
Tse-m modul. thermo actuator 2-10v 2m		5	108,65	543,27
				35 202,68

Tabell 4: Ventil investeringar i ett dynamiskt reglerat system. [20]

Dynamiskt System				
Ventil/Ställmotor	Flöde m <sup>3</sup> /h	Mängd	Pris €/St	Totala priset €
Optima Compact DN15	0,6	100	75,04	7503,58
Actuator 0-10V motoric 53-1180		100	112,82	11 284,27
Optima Compact DN40 Inkl. actuator	3	5	543,14	2715,68
				21 501,52

Priserna är tagna ur grossisternas prislistor.

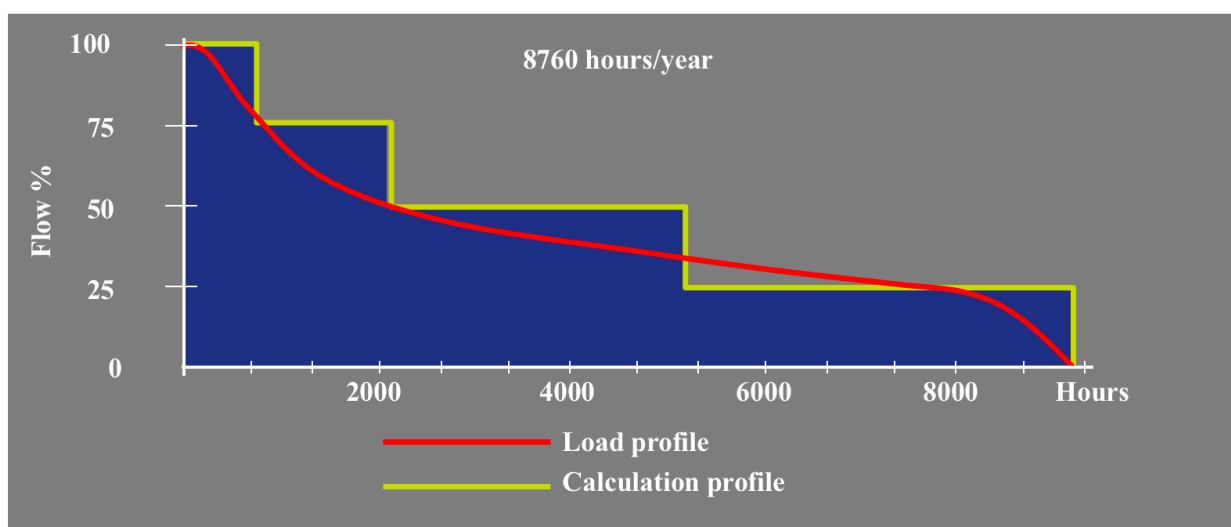
På basen av tabellerna kan man antaga att om man använder dynamiska ventiler behövs det för att reglera värmesystemet totalt ca. 100 ventiler med ställmotorer för regleringen av batterierna samt 5 dynamiska ställmotorer för regleringen av värmebatterierna i ventilationsapparaterna.

Ur tabellen kan man se att motsvarande antal av ventiler i ett traditionellt balanserat system med linjereglerings- och reglerventiler är ca. 256. Inbesparningen av ventilinvesteringar utgör ca. 39%. I en bostadsfastighet blir inbesparningar i ventiler betydligt mindre beroende på hur många statiska ventiler som installeras. Detta beror på husets uppbyggnad d.v.s. antalet rum, våningar och standard. Tillverkaren uppger som uppskattning att i bostadsfastigheter är inbesparningen minst ca 15 % i direkta ventil kostnader. Inbesparningen varierar i olika fastigheter så detta är en kvalificerad uppskattning. [15], [16], [20]



## 6.2 Driftkostnader

Teoretiskt arbetar cirkulationspumpen i en byggnad i normalt fall ca. 8760 timmar/år om den är igång hela tiden. Enligt EU-direktivet 2005/32/EG [19] har man beräknat hur volymflödet varierar som funktion av antalet funktionstimmar under ett års tid. Detta ger en utgångspunkt för beräkningen för hur en pump belastas under ett år. De olika procentuella flödena är beskrivna som funktion av arbetstiden i tabell 1.



Figur 19 Pumpdrift under hela året enligt EU- direktiv 2005/32/EG [19]

Figur 19 visar att pumpen dimensioneras så att den går med 100 % vattenflöde ca. 6 % av året.

Motsvarande värde för 75 % av vattenflödet är 15 % och för 50 % vattenflöde ca. 35 %.

Resten av året ca 44 % går pumpen med 25 % flöde.

Effektbehovet räknas med följande formel:

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3$$

I tabell 5 är effektbehovet uträknat på basen av tryckförlusten för 100%/75%/50%/25% av vattenflödet i fastigheten som beskrivs i kapitlet 3.2. Tryckförlusterna i tabellen kommer då man jämför ventilen TPE 80–250/2 som statisk ventil och som dynamisk ventil (Optima Compact) i samma fastighet med samma flöde. Tryckförlusterna och flödet kommer från figur 9 för statiska ventilerna och från figur 16 för dynamiska

ventilerna. Ur tabellen kan man läsa de totala tryckförlusterna över de olika ventilerna och i rörledningarna samt i värmeväxlarna. Vattenmängden vid max flöde är 21 l/s och den sammanlagda tryckdifferensen över pumpen med statiska ventiler är 220 kPa och är med dynamiska ventiler 154 kPa. [23]

Då volymflödet är konstant sjunker effektbehovet om tryckdifferensen sjunker. Vid 100 % vattenflöde är värdet på 220 kPa för statiska ventiler medan i ett dynamiskt system behövs det endast 154 kPa. Vid 50 % vattenflöde är motsvarande värde ca. 135 kPa gentemot 66 kPa. De ursprungliga värdena för tryckfallet är insatta i figur 9 för statiska ventiler och i figur 16 för dynamiska ventiler. Beräkningarna är gjorda av ventil leverantören Frese. [16]

Tabell 5: Effektbehovet på basen av tryckförluster. [23]

Vattenflöde [%] / [l/s]	Tid [%]	Timmar [h]	$\Delta p_{\text{stat}}$ [kPa]	$\Delta p_{\text{dyn}}$ [kPa]	Effekt <sub>stat</sub> [W]	Effekt <sub>dyn</sub> [W]
100 / 21	6	526	<b>220</b>	<b>154</b>	7030	4890
75 / 15,75	15	1314	171	102	4360	2550
50 / 10,50	35	3066	<b>135</b>	<b>66</b>	2670	1230
25 / 5,25	44	3854	114	43	1730	554

Tryckförlusterna för de övriga vattenflödena (75, 50, 25) har separat bestämts med hjälp av ventilernas kv- värden och tryckförlusterna i värmeväxlarna och rörsystemen har beräknats vid lägre flöde. Effektbehovet har beräknats av pumpleverantören Grundfoss på basen av ventil leverantören Freses beräkningar. [16]

På basen av effektbehovet beräknas den förbrukade energin med följande formel:

$$W = P h$$

W = Energibehovet [kWh]

P = Effekten [kW]

h = Antalet timmar [h]

I tabell 6 och i tabell 7 är energibehovet uträknat på basen av drifttimmarna och effektbehovet vid olika flöden samt det totala energibehovet under ett års tid.

Tabell 6: Totala energibehovet över ett års tid

Effekt <sub>statisk</sub> [W]	Effekt <sub>statisk</sub> [kW]	Timmar [h]	Energibehovet [kWh] Effekten [kW] * Timmar [h]
7030	7,03	526	3694, 968
4360	4,36	1314	5729, 04
2670	2,67	3066	8186, 22
1730	1,73	3854	6668, 112
Totala energibehovet för statiskt system			24 278,34 [kWh]

Tabell 7: Totala energibehovet över ett års tid

Effekt <sub>dynamisk</sub> [W]	Effekt <sub>dynamisk</sub> [kW]	Timmar [h]	Energibehovet [kWh] Effekten [kW] * Timmar [h]
4890	4,89	526	2570, 184
2550	2,55	1314	3350, 7
1230	1,23	3066	3771, 18
554	0,554	3854	2135, 3376
Totala energibehovet för dynamiskt system			11 827, 4016

Om man beräknar det totala energibehovet per år kommer man fram till att i ett statiskt system använder pumpen ca. 24 278 kWh. Medan i ett dynamiskt balanserat system behöver pumpen endast 11 827 kWh. Detta innebär en inbesparning på ca. 51 % pumpenergi. IMI- Hydronics berättar i en artikel i VVS tidningen 2015 att de uppskattar pumpenergi inbesparning upp till 35 % i befintliga äldre anläggningar med användning av enbart radiatorer. Denna skillnad kan uppskattas komma från att inbesparningen är större då man använder fläktkonvektorer.

I en kylanläggning där effekten varierar har det stor betydelse om man kan arbeta med en större temperaturskillnad i vattnet, d.v.s. högre  $\Delta T$  har en betydlig inverkan på pumpens effektbehov på grund av att flödet minskar.

Leverantören Frese har vid en provinstallation i Canary Wharf Tower i London som beskrivs i kapitel 7 gjort mätningar. Värdena baserar sig på mätningar som utförts under en 2 veckors period. De uppmätta värdena beskrivs i tabell 8. I tabellen finns även de uppmätta totala kylenergibehoven under mätningen.

Tabell 8: Mätvärden från Canary Wharf, London. [25]

Ventil		Kylning			
		Flöde (l/s)	$\Delta T$ (°C)	Effekt (kW)	Kylenergi (kWh)
Dynamisk	Södra	1.20	7.7	38.7	503
Optima	Norra	1.29	8.4	45.4	590
Compact	Medeltal	<b>1.25</b>	<b>8.1</b>	42.0	546
Statisk	Södra	1.42	8.2	48.8	634
2-vägsventil	Norra	1.45	5.6	34.0	442
	Medeltal	<b>1.44</b>	<b>6.9</b>	41.5	539

Mätningen visar att dynamiska ventilerna har en temperaturskillnad på kylvattnet i medeltal 8.1°C medan motsvarande installation med statiska ventiler har endast 6.9°C. Detta betyder att för att uppnå dimensionerade kyleffekt måste man ha ett större  $\Delta T$  och ett mindre vattenflöde, 1.25 l/s gentemot 1.44 l/s.

Inbesparningen i pumpenergi räknas med formeln:

$$P = 1 - \left( \frac{Q_{\text{dynamisk}}}{Q_{\text{statisk}}} \right)^3$$

Detta ger en inbesparning i pumpeffekt på ca. 35 %, på grund av ett högre  $\Delta T$ .

[15], [16], [19], [20], [23], [24]

### 6.3 Injusterings- och installations tidsinbesparningar.

Injusteringskostnaderna är lätta att uppskatta på grund av att processen är likadan för både statisk som för dynamisk injustering. Processen går ut på att ventilerna ställs in med ett på förhand uträknat värde och finjusteras så att tryckfallet över ventilen motsvarar det beräknade värdet.

Skillnaden är den att vid balanseringen av dynamiska ventiler behövs det enbart en justerings genomgång, medan vid injusteringen av statiska reglerventilerna behövs det i genomsnitt 3 genomgångar för att uppnå balans i systemet. Detta betyder att inbesparningen är direkt  $2/3$  eller 67 % av injusteringen i tid. Detta antagande baserar sig på att i normala fall måste man måste man injustera statiska ventiler åtminstone 3 gånger för att få balans i systemet.

Utöver detta kan fastigheten eventuellt tas i bruk tidigare. Injusteringstiden är normalt minst 2–3 veckor i större fastigheter och i kritiska fall som t.ex. inom varvsindustrin är detta en betydande inbesparning.

Inbesparningen i installationstid är direkt i förhållande till antalet inbesparade ventiler. Därför kan detta uppskattas med hög sannolikhet vara procentuellt samma som inbesparningen enligt kapitel 6.2.

Det vill säga i bostadsfastigheter ca 15 % och i kontors- och hotellfastigheter med fläktkonvektorer med ca. 39 % i jämförelse med användningen av statiskt balanserat system. [16], [19], [20], [22], [23], [24], [25]

## 7. Case: Canary Wharf Tower, London

För att undersöka skillnaderna mellan statisk och dynamisk balansering gjordes det en fältstudie på Canary Wharf Tower i London. Fastigheten har 50 våningar och ca 440 rum.

Mätningarna utfördes så att stort antal givare installerades på rörledningarna för att mäta temperatur- och tryckskillnaderna i systemet. Man installerade vid ventilationsapparaternas värme- och kylbatterier dynamiska reglerventiler (Optima Compact), se figur 16.



Figur 20 Optima Compact av Frese tillverkaren [12]

Först installerades de dynamiska ventiler under en två veckors period i fläktkonvektorerna i varje rum på fastighetens norra sida och sedan gjorde man det samma på fastighetens södra sida i 2 veckors period. Resultaten av mätningarna är sammanfattade i figur 21, figur 22 och figur 23.

Resultaten bekräftar i stort sätt förväntningarna som jag refererat till i detta arbete och teorin bakom de dynamiska ventilerna. Temperaturen efter kylbatterierna på ventilationsapparaterna blev betydligt stabilare i figur 21 och flödet till batterierna är även mer konstant.

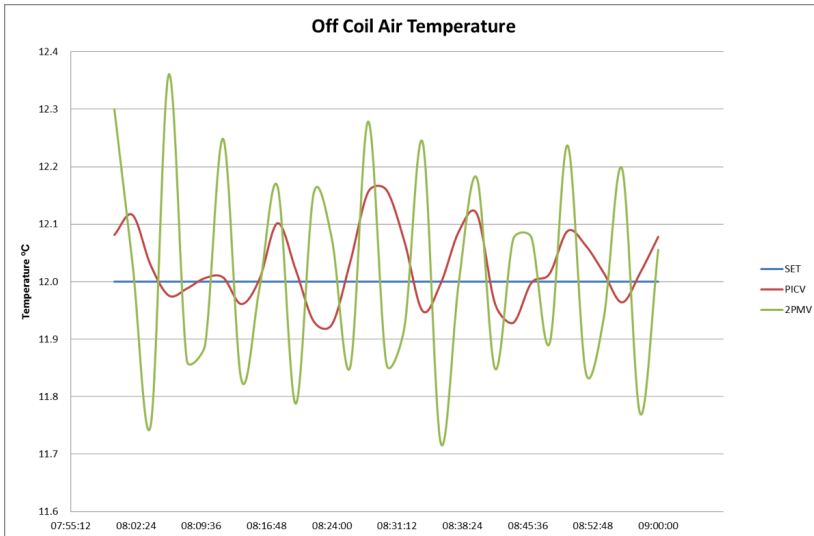
Också effekten på kylbatteriet hölls nästan konstant när det däremot med statiska ventilerna varierade mellan 60 % och 140 %. Pumpens energibehov mättes inte separat

men för att temperaturdifferensen steg i medeltal från 6.9°C till 8.1°C minskade vattenmängden vid samma kyleffekt från 1.44 l/s till 1.25 l/s. På detta sätt kunde man fastställa att pumpens energibehov minskat med 35 %.

[15], [16], [18], [24], [25]

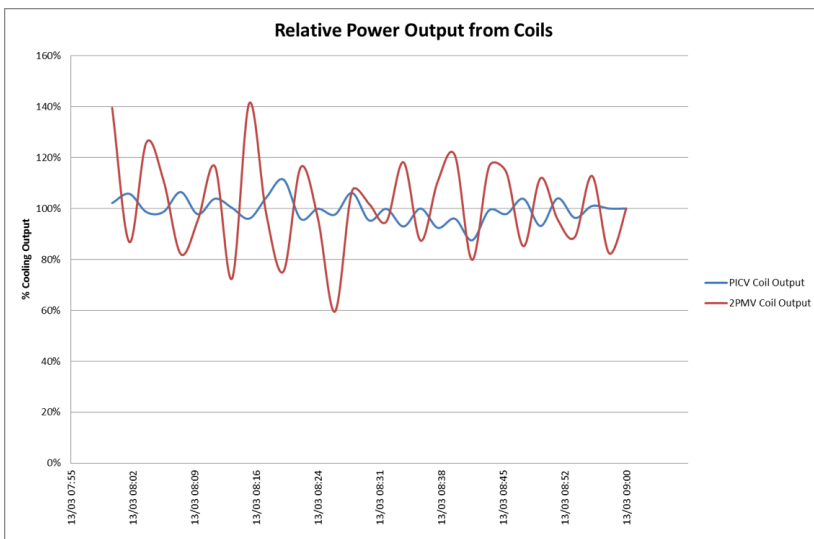
Tabell 9: Mätvärden från Canary Wharf, London. [25]

Ventil		Kylning			
		Flöde (l/s)	$\Delta T$ (°C)	Effekt (kW)	Energibehov (kWh)
Dynamisk	Södra	1.20	7.7	38.7	503
Optima	Norra	1.29	8.4	45.4	590
Compact	Medeltal	<b>1.25</b>	<b>8.1</b>	42.0	546
Statisk	Södra	1.42	8.2	48.8	634
2-vägsventil	Norra	1.45	5.6	34.0	442
	Medeltal	<b>1.44</b>	<b>6.9</b>	41.5	539



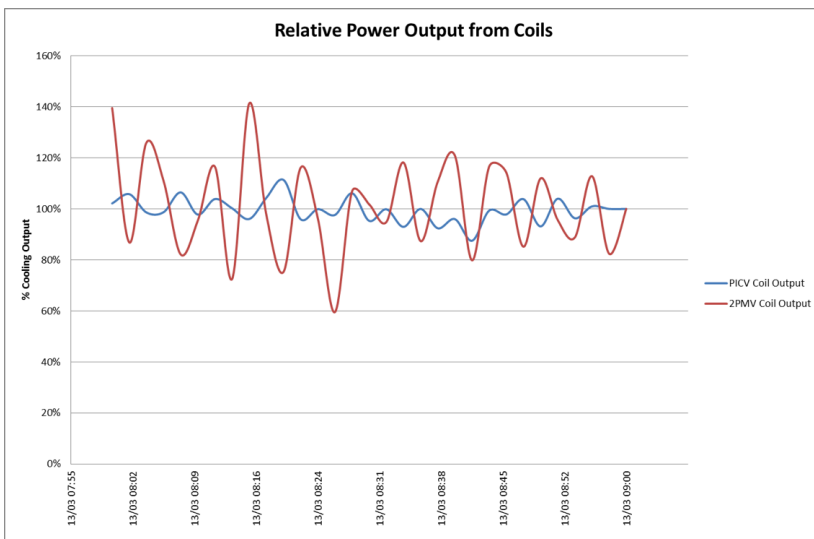
PICV= Dynamisk ventil  
2PMV= Statisk ventil

Figur 21 Temperaturskillnader mellan användningen av statisk och dynamisk ventil [18]



PICV= Dynamisk ventil  
2PMV= Statisk ventil

Figur 22 Skillnader i effekten på kylbatterierna mellan användningen av statisk och dynamisk ventil [18]



PICV= Dynamisk ventil  
2PMV= Statisk ventil

Figur 23 Skillnader i flödet mellan användningen av statisk och dynamisk ventil [18]



## 8. Avslutning

I detta examensarbete har jag jämfört skillnaderna mellan statiska och så kallade dynamiska reglerventiler som används för att balansera vattenflödena i värmesystemen i fastigheter. I Finland planeras största delen av fastigheterna baserat på statiska ventiler. Trots detta har alla stora leverantörer också dynamiska reglerventiler i sina produktionsprogram men användningen av dessa har ännu inte slagit igenom i Finland. I VVS-tidningen 5/2015 uppskattas det att i Europa installeras ca. 25% av alla fastigheter med dynamiska ventiler.

I detta arbete har jag beskrivit ventilernas funktion- och rörsystem baserat på statisk och dynamisk reglering. Jag kan konstatera att inbesparningen i injusteringen och installationen tillsammans med tidsinbesparningen i vissa fall definitivt har en stor betydelse.

Funktionsmässigt är ventilerna likvärda utan skillnad i underhåll eller livslängd. Den största fördelen idag är inbesparningen i pumpkostnader. Många komponenter bedöms idag på basen av både inköpspris och LCC, t.ex. ventilationsfilter. Detta innebär att pumpens energibehov kommer i framtiden att spela en större roll då fastighetsägare blir mer medvetna om inbesparingsmöjligheterna. Den dynamiska ventilens fördelar kommer fram speciellt bra då man använder fläktkonvektorer med kylning och uppvärmning. Detta gäller mest hotell och kontorsfastigheter. I bostadsfastigheter kommer säkert skillnaden i energikostnader och injusteringstid att öka på ventilens användning. I bostadshus med dynamiska ventiler kan man dessutom undvika ljudproblem då termostatventiler stryper vattenflödet.

I detta arbete har jag sammanfattat skillnaderna i funktionsprincipen och kostnaderna. Skillnaderna är så markanta att jag anser att användningen av dynamiska ventiler kommer att slå igenom inom en snar framtid i Finland. Slutligen vill jag avsluta arbetet med min uppdragsgivare Frese As ägares ord.

“This is not rocket science, this is common sense”.

## 9. Källförteckning

- [1] Seppänen, Olli. 1995, *Rakennusten Lämmitys*, 1 uppl., Jyväskylä: Gummerus Kirjanpaino Oy.
- [2] Svensk Fjärrvärme och Studentlitteratur. 2014, *Fjärrvärme och fjärrkyla*, 1:2 uppl., Lund: Studentlitteratur AB.
- [3] Andréén, L & Axelsson, A. 2007, *Värmeboken – Halvera dina värmekostnader*, 3 uppl., Akvedukt Bokförlag.
- [4] Lintumäki, J. 2012, *Kiertovesipumppujen säätö- ja ohjaustavat*, Opinnäytetyö. Metropolia.
- [5] Mänttari, V. 2011, *Energiatehokkaan kiertovesipumpun määrittäminen LVI-suunnittelussa*. Opinnäytetyö. Metropolia.
- [6] Manninen, J. 2016, *Patteriverkoston säätö ja tasapainotus: ongelmat ja ratkaisut*. Opinnäytetyö. Metropolia.
- [7] IMI- Hydronic Engineering. *STAD. Linjasäätöventtiilit DN 15-50. Tillgänglig: <http://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/linjasaatoventtiilit/linjasaatoventtiilit/stad/>*
- [8] IMI- Hydronic Engineering. *STAP Omavoimaiset linjasäätöventtiilit DN 15–50. Tillgänglig: <http://www2.imi-hydronic.com/fi/tuotteet-ja-ratkaisut/ta-balancing-and-control/omavoimaiset-linjasaatoventtiilit/omavoimaiset-linjasaatoventtiilit/stap-dn-15-50/>*
- [9] Wilo, 2007/2008. *Grundprinciper för pumpteknik*. Tillgänglig: [http://www.wilo.se/fileadmin/se/Downloads/se\\_grundprinciper\\_för\\_pumpteknik\\_lr.pdf](http://www.wilo.se/fileadmin/se/Downloads/se_grundprinciper_för_pumpteknik_lr.pdf)
- [10] Grundfos, *Pump handbok*. Tillgänglig: [http://net.grundfos.com/doc/webnet/mining/\\_downloads/pump-handbook.pdf](http://net.grundfos.com/doc/webnet/mining/_downloads/pump-handbook.pdf)
- [11] *Optima Compact Pressure Independent Balancing & Control Valve, Frese. Tillgänglig: <http://www.frese.eu/hvac/en-GB/Products/PICV/Frese-OPTIMA-Compact-DN50-DN300>*
- [12] Frese, *Image Bank. Samling*, Tillgänglig: <http://www.frese.eu/hvac/en-GB/Image-bank>
- [13] Takolander, B. 2015, *Automatisk flödesbegränsning i värmesystem- Hydronisk injusterings med AFC-teknik*, VVS 5/2015

- [14] Radiator/fläktkonvektor, Plinth WKP. NRJBOX. [Online]. Tillgänglig: [http://www.nrjbox.se/Radiator-fläktkonvektor-Plinth-WKP](http://www.nrjbox.se/Radiator-flaektkonvektor-Plinth-WKP). Hämtad: 26.4.2017.
- [15] Aaltonen, A. 2017, Tips och råd [muntl.] Möte på Teknocalor.
- [16] Johansen, J. 2017, Tips och råd [muntl.] Möte på Frese.
- [17] Karumaa, K. 2017, Tips och råd [muntl.] Möte på Sweco.
- [18] Frese Application Guide. *Valves & Controls for HVAC Applications. PDF.*  
*Tillgänglig:*  
<http://ipaper.ipapercms.dk/FreseAS/Brochures/EN/FreseHVACApplicationGuide/>
- [19] EU- Kommissionens förordning [EG] 641/22.07.2009. Genomförandet av Europaparlamentets och rådets direktiv 2005/32/EG vad gäller krav på ekodesign för cirkulationspumpar. Tillgänglig: <http://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/641/oj/swe>

Material givet av uppdragsgivarna Teknocalor Oy och Frese:

- [20] *Frese Company Presentation – November 2016.PDF*
- [21] *Frese Presentation 30.3.2017.PDF*
- [22] *The Importance of Delta T.PDF*
- [23] *Flow and Pressure.PDF*
- [24] *Sales Training Presentation Master June 2013.PDF*
- [25] *Assembling Frese Optima Compact.PDF*