

CODEN: LUTFD2/(TFRT-5418)/1-49/(1989)

# Reglering av lödda värmväxlare för ångapplikationer

Magnus Ahlgren  
Fredrik Lönegård

Institutionen för Reglerteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Oktober 1989

|   |                              |   |  |
|---|------------------------------|---|--|
| <b>Department of Automatic Control</b><br><b>Lund Institute of Technology</b><br>P.O. Box 118<br>S-221 00 Lund Sweden   |                              | <i>Document name</i><br>Master Thesis                               |  |
|   |                              | <i>Date of issue</i><br>October 1989                                |  |
|   |                              | <i>Document Number</i><br>CODEN: LUTFD2/(TFRT-5418)/1-49/(1989)     |  |
| <i>Author(s)</i><br>Magnus Ahlgren<br>Fredrik Lönegård  |                              | <i>Supervisor</i><br>Rolf Johansson, LTH, Torsten Bynke, Alfa-Laval |  |
|   |                              | <i>Sponsoring organisation</i>                                      |  |
| <i>Title and subtitle</i><br>Reglering av lödda värmeväxlare för ångapplikationer. (Control of Brazed Heat Exchanger in Steam Applications).  |                              |   |  |
| <i>Abstract</i><br><p>We have, on Alfa Laval's behalf, tried out suitable control equipment to control the Brazed Heat Exchanger in steam applications. Reports have come in from several countries telling us about problems occurring when trying to control steam. Damages have arisen (often as a crack in the first or the last plate) due to fatigue caused by pressure variations in the steampipe. We have through a market analysis together with tests in a laboratory produced an equipment that is, according to our opinion, functional as well as economically satisfactory. The equipment will hopefully solve the problems mentioned above.</p> |                              |   |  |
| <i>Key words</i>  |                              |   |  |
| <i>Classification system and/or index terms (if any)</i>  |                              |   |  |
| <i>Supplementary bibliographical information</i>  |                              |   |  |
| <i>ISSN and key title</i>   |                              | <i>ISBN</i>   |  |
| <i>Language</i><br>Swedish  | <i>Number of pages</i><br>47 | <i>Recipient's notes</i>  |  |
| <i>Security classification</i>  |                              |   |  |

The report may be ordered from the Department of Automatic Control or borrowed through the University Library 2, Box 1010, S-221 03 Lund, Sweden, Telex: 33248 lubbis lund.

Tillägnad Marianne och Nathalie

## **FÖRORD**

Under tre månaders tid har vi haft förmånen att utföra ett intressant och givande examensarbete hos Alfa-Laval Thermal i Lund.

Vi vill här ta tillfället i akt och tacka alla som ställt kunskap, tid och tålamod till vårt förfogande. Ett speciellt tack riktas till våra båda handledare Torsten Bynke, Alfa-Laval Thermal och Rolf Johansson, Institutionen för Reglerteknik vid LTH. Andra som vi vill tacka är Lars Hansson, Landis & Gyr; Stefan Carlström, Z&I; Bengt Thörnberg, Honeywell; Christer Göransson, Alfa-Laval Food; Bengt Göland, Alfa-Laval Thermal; Anders Persson, Alfa-Laval Thermal; Jan-Erik Kruppke, Alfa-Laval Thermal.

Lund den 18/8-89  
Författarna

| <b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b>                            | <b>Sida</b> |
|--|-------------|
| 1 INLEDNING  | 4           |
| 2 REGLERLOOPENS SAMMANSÄTTNING                         | 5           |
| 2.1 Givare   | 5           |
| 2.2 Regulator  | 6           |
| 2.3 Ventil   | 7           |
| 2.4 Ställdon   | 8           |
| 3 FÖRSLAG TILL LÖSNINGAR PÅ AKTUELLT<br>REGLERPROBLEM  | 9           |
| 4 MARKNADSUNDERSÖKNING                                 | 12          |
| 5 UTPROVNING AV BESTÄLLD UTRUSTNING                    | 15          |
| 5.1 Beskrivning av beställd utrustning                 | 15          |
| 5.2 Beskrivning av testutförande                       | 16          |
| 5.3 Testkörning med Danfoss alternativ                 | 18          |
| 5.3.1 Analys av mätserierna                            | 18          |
| 5.3.2 Utrustningens beteende                           | 19          |
| 5.4 Testkörning av Landis & Gyrs alternativ            | 20          |
| 5.4.1 Analys av mätserierna                            | 20          |
| 5.4.2 Utrustningens beteende                           | 23          |
| 5.5 Val av reglerutrustning                            | 24          |
| 6 DIMENSIONERINGSUNDERLAG FÖR VENTILER                 | 26          |
| 7 SAMMANFATTNING                                       | 28          |
| REFERENSER   | 29          |
| APPENDIX A TEORI BAKOM VÄRMEVÄXLARE                    | 30          |
| APPENDIX B ÅNGA I VÄRMEVÄXLARSAMMANHANG                | 32          |
| APPENDIX C ALLMÄN TEORI BAKOM VENTILER OCH<br>STÄLLDON | 34          |
| APPENDIX D DIMENSIONERING AV VÄRMEVÄXLAREN             | 41          |
| APPENDIX E MÄTRESULTAT                                 | 45          |
| ÅNGDIAGRAM   | 49          |

## 1 INLEDNING

Det finns flera olika typer av värmeväxlare, bland de vanligaste är tubvärmeväxlare och plattvärmeväxlare. Alfa-Laval utvecklar och tillverkar den senare varianten.

Vårt projekt har gått ut på att åt Alfa-Laval Thermal i Lund finna en reglerutrustning som reglerar vattentemperaturen på sekundärsidan när ånga används på primärsidan.

Den lödda värmeväxlaren är genom sin konstruktion en mycket effektiv och snabb växlare. Volymen i växlaren är mycket liten och kontaktytan väldigt stor. I och med detta och att ånga är ett energirikt medium, ställs det höga krav på att reglerutrustning och ventil har korta inställningstider. Tack vare sin konstruktion är den lödda värmeväxlaren, utan gummipackningar, en lämpligare växlare för höga temperaturer och högt tryck än de traditionella plattvärmeväxlarna. För lite mer teori se appendix A.

Installationer har gjorts för uppvärmning av vatten med hjälp av ånga under flera år, men med blandat resultat. Information har erhållits från ett antal länder bl a Spanien och Australien där man haft väldiga problem med just reglering av ånga i värmeväxlarsammanhang.

På grund av tryckvariationer i ångledningen, s k ångslag har haverier inträffat. Haveriet uppstår ofta som en spricka i första eller sista plattan, där växlaren har sin svagaste punkt.

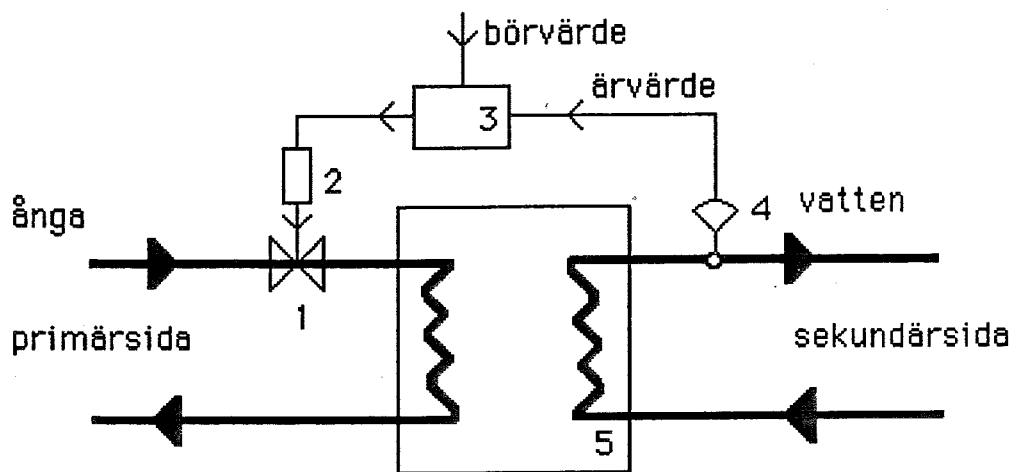
Vårt arbete omfattar dels en teoretisk studie över lämpliga typer av reglerutrustningar för ovan nämnda förutsättningar, dels en praktisk försöksdel, där reglerutrustningar provas och lämpliga tryck och temperaturgränser fastställs, och dels en rapportdel med dimensioneringsunderlag för reglerutrustningen vid olika laster.

Verkligheten sätter som vanligt vissa begränsningar i tillvaron. I vårt fall yttrar det sig i att vi ej kan utföra tester på allt för höga effekter, ty ångpannan kan ej lämna mer än 240kW. Ekonomiska och tidsmässiga begränsningar medför att vi ej kan testa all tänkbar reglerutrustning och alla storlekar på växlare.

Den lödda plattvärmeväxlaren är i sig själv en billig produkt. Detta innebär att allt för dyr och avancerad reglerutrustning ur kommersiell synvinkel blir ganska ointressant.

## 2 REGLERLOOPENS SAMMANSÄTTNING

För att erhålla den önskade regleringen krävs förutom värmeväxlaren med tillhörande kringutrustning principiellt fyra enheter: givare, regulator, ventil och ställdon. Dessa enheter finns angivna i principskissen figur 2.1 och beskrives nedan lite närmare.



- 1: Ventil
- 2: Ställdon
- 3: Regulator
- 4: Temperaturgivare
- 5: Värmeväxlare

Figur 2.1

### 2.1 GIVARE

Det finns olika typer av givare som skulle kunna vara aktuella: tryckgivare, temperaturgivare, flödesgivare, givare som mäter på kondensatnivån på primärsidan och troligen även andra varianter. Givare kan också i vissa fall kombineras ihop.

De givare som är intressantast för vårt ändamål är temperaturgivare och tryckgivare.

Temperaturgivaren, som skall ha en liten tidskonstant, har den fördelen att man mäter den signal (temperatur) man är intresserad av att reglera. En nackdel är att den ej reagerar på att flödet går ner till noll på sekundärsidan.

En tryckgivare, placerad på primärsidan, skulle ta hand om ovan nämnda problem. Ångan har i det fallet inte ett medium på sekundärsidan att överföra sin energi till och då kommer ångan ej att kondensera och tryckfallet blir inte lika stort. Nackdelen med tryckgivare är att ett visst stationärt fel kommer att uppträda, eftersom det är fel parameter som mätes.

Flödesgivare är inte lika noggranna som övriga givare och faller undan på det. Att mäta på kondensatnivån vore olämpligt eftersom man helst ej, för att undvika ångslag, skall ha ånga stående i värmeväxlaren.

## 2.2 REGULATOR

Regulatorer finns i olika utförande. Det finns analoga respektive digitala regulatorer och inom dessa finns olika reglerfunktioner att tillgå. Olika reglerfunktioner är proportionell (P), deriverande (D), integrerande (I) och kombinationer av dessa.

P-funktionen innebär att regulatorm reagerar proportionellt på hur mycket ärvärdet skiljer sig från börvärdet. Regulatorn kommer sålunda att få ett snabbt beteende.

Det är vanligt i praktiska sammanhang att tala om P-band. Ett P-band definierar inom vilket område återkopplingsfaktorn (beroende på felet) har nått sitt maximala värde. Om vi exempelvis har ett P-band på 5°C är återkopplingsfaktorn maximal redan vid ett fel på  $\pm 2.5^\circ\text{C}$ . Ofta sättes P-bandet som ett visst antal procent av det totala utstyringsområdet. Ju mindre P-bandet är desto snabbare reagerar regulatorn, men kan då föra med sig väldigt instabil reglering. Det bör tilläggas att om endast proportionell reglering användes kommer ett stationärt reglerfel alltid att erhållas.

Den integrerande reglerfunktionen är proportionell mot reglerfelets tidsintegral. Då detta ger ett långsamt beteende användes enbart integrerande regulator sällan i praktiska sammanhang. Till skillnad från P-funktionen uppkommer inget stationärt fel.

I-funktionens inverkan bestäms oftast genom att en I-tid väljes till en för applikationen "lämplig" tid. Ju längre tid som väljs desto långsammare blir reglerkretsens uppförande.

D-funktionen å andra sidan tar enbart hänsyn till hastigheten på förändringen. Ju snabbare förändringen är, desto mer påverkar D-funktionen beteendet. D-funktionen användes framför allt i system med lång dötid.

Den reglertfunktion vi funnit mest användbar för denna applikation är PI, ty den drar nytta av P- och I-regulatorns egenskaper. PI-funktionen utnyttjar P-funktionens snabbhet tillsammans med I-funktionens stabilitet och förmåga att undvika stationära fel.

Anledningen till att D-funktionen är olämplig är de störningar som uppstår då ventilen arbetar. D-funktionen hade genast reagerat på dylika störningar och vi hade fått en felaktig reglering.

Själva regulatorm är den del som är minst kritisk i reglerutrustningen då den både är snabbare och mer exakt än de övriga ingående enheterna. Vad man bör tänka på om man väljer en digital regulator är att den skall ha tillräckligt god upplösning så att vettig noggrannhet kan erhållas. Vidare bör regulatorm vara lätt att handha och underhålla.

## 2.3 VENTIL

Ventilens läge bestämmer vilken mängd ånga som strömmar in på värmeväxlarens primärsida.

Observera att ventilen skall placeras vid inloppet på primärsidan och ej vid utloppet. Detta är oftast fallet i VVS-sammanhang, då man har vatten - vatten system. Orsaken till att ventilen skall placeras just där är det stora energiinnehållet i ångan. Om ventilen placeras på utloppssidan kan problem erhållas på grund av kondensat som blir stående i värmeväxlaren.

Det finns ett stort utbud av ventiler på marknaden. För det första finns där olika typer : kägelventil (sätesventil), kulsektorsventil, självverkande ventil osv. För det andra finns där olika företag som har samma ventiltyp, dock med olika prestanda och priser. För det tredje finns varje ventiltyp i olika storlekar och utföranden för att man skall få önskat uppförande på ventilen. I appendix C beskriver vi lite närmare olika ventiltyper samt de parametrar som är viktiga vid dimensionering av ventilen osv.

De grundläggande krav som skall ställas på ventilen är att den klarar att arbeta vid aktuellt tryck, temperatur och tryckfall över ventilen.

Vidare skall vid dimensionering hänsyn tas till vilket som är det maximala flöde (effekt) som erhålles genom ventilen. För att få en lyckad reglering är det A och O att dimensionera sin ventil på ett lämpligt sätt och att ventilen har en god upplösning.

En överdimensionerad ventil skulle medföra att sämre upplösning skulle erhållas och därmed skulle det bli svårare att reglera de flöden som vore nominella för aktuell applikation. Vid val av ventiltyp måste hänsyn tas till ovan nämnda krav.



## 2.4 STÄLLDON

Ställdonet är starkt knutet till ventilen. Det erhåller en styrsignal ifrån regulatorm. Utifrån denna styrsignal påverkar ställdonet axeln (även kallad spindeln) mellan ställdon och ventil, så att öppningen i ventilen blir så pass stor att rätt mängd ånga kommer igenom.

De flesta ställdon har någon form av elektrisk motor, men de kan också vara pneumatiska (luftstyrda) eller elektropneumatiska.

Vid val av ställdon är det viktigt att den tid det tar för ställdonet att stänga en fullt öppen ventil och vice versa skall vara så kort som möjligt. Vidare är det viktigt att om något skulle gå fel skall ställdonet stänga ventilen så att ångan inte tillåts att strömma igenom.

### 3 FÖRSLAG TILL LÖSNINGAR PÅ AKTUELLT REGLERPROBLEM

Förslag 1: Den mest direkta lösningen är att sätta en temperaturgivare på sekundärsidans utlopp och låta en regulator styra ventilen på primärsidans inlopp. Se figur 2.1.

Fördelar med detta förslag är bl a att utrustningen är ganska lätt att ställa in (temperaturen ställs ju in direkt på regulatorm), och att lösningen är snarlik den som idag används i fjärrvärmesammanhang med vatten på primärsidan. Det sistnämnda är en ekonomisk fördel, ty givare och regulatorer är identiska med de som används i fjärrvärmesammanhang och nettopriserna är redan pressade. Nackdelarna med denna lösning är att det ställs höga krav på dimensioneringen av ventilen, och vid stora laständringar kan vi få kavitationsproblem (se appendix B) i värmeväxlaren.

Förslag 2: Detta förslag ser ungefär ut som föregående, förutom att vi här har en ackumulatortank efter utloppet på sekundärsidan.

Fördelen med detta är att vi kan erhålla ett jämnare flöde i växlaren och förloppet blir enklare att reglera.

Nackdelen är att vi måste ha en pump och en tank.

Förslag 3: Här utgår vi också från förslag 1. Skillnaden är att här används en självverkande ventil och regulatorm slopas således. Den självverkande ventilen arbetar ej med elektriska signaler, utan i temperaturgivaren finns en gas som utvidgas då temperaturen stiger.

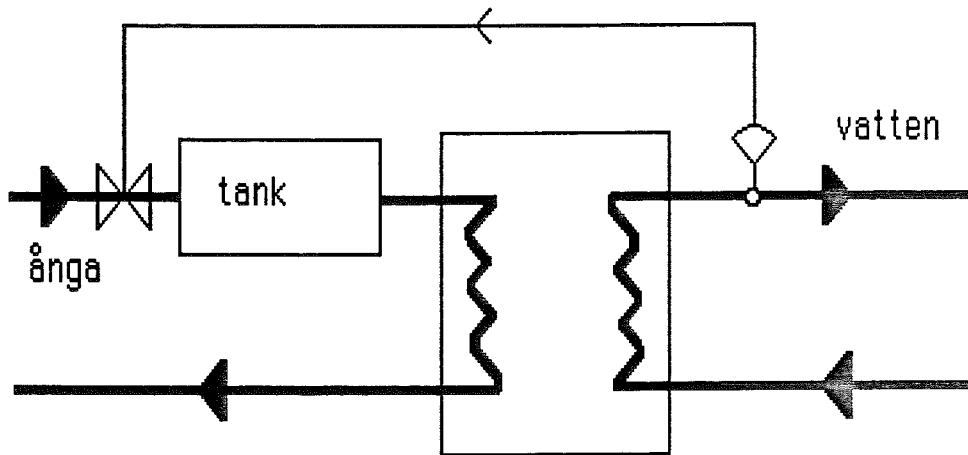
Fördelen med detta förslag är främst priset, samt att den kan användas i miljöer där elektriska signaler ej kan användas.

Nackdelen är att eftersom regulator ej används, så kommer ventilen att ha ett mindre stabilt uppförande. Självverkande ventiler är mest lämpade för små och medelstora effekter.

Förslag 4: Detta är en variant med tank på primärsidan, se figur 3.1. Meningen är att låta ångan kondensera i en tank med vatten och på så sätt får vi vatten på primärsidan i värmeväxlaren.

Fördelen med detta är att en mycket enkel reglerutrustning kan användas (självverkande) och dimensioneringsunderlag finns färdigt för vatten/vatten system.

Nackdelen är bl a högt ljud när ångan sprutar in i tanken.



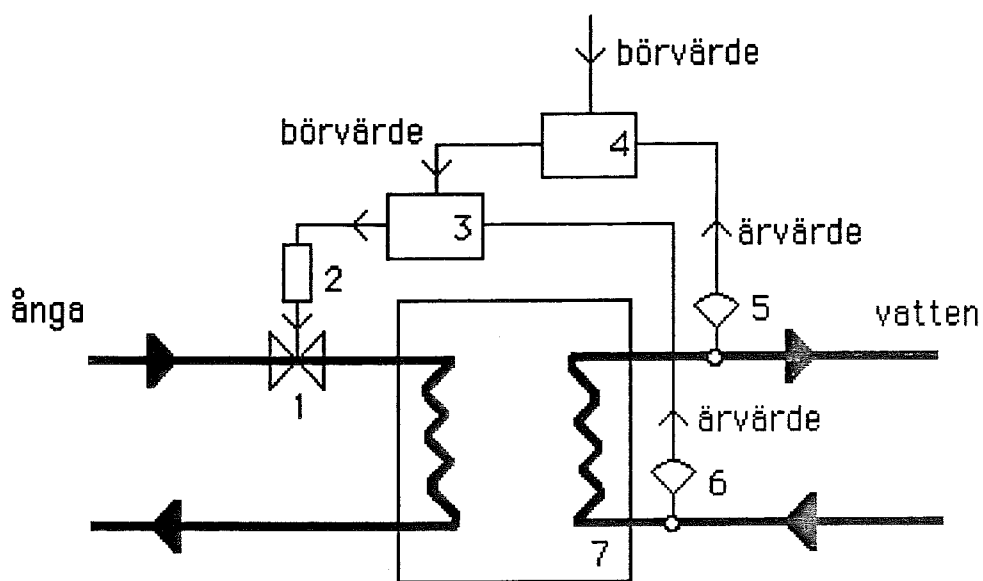
Figur 3.1

**Förslag 5:** I stället för en temperaturgivare på sekundärsidan skulle en tryckgivare kunna användas, då placerad vid utgången på primärsidan. Fördelen är att det blir lättare att reglera, och inga problem uppstår om flödet är noll. Nackdelar är priset (ca 10 ggr högre än för temp.givare), och att vi får ett visst temperatursving på sekundärsidans utflöde.

**Förslag 6:** Detta är det mest avancerade förslaget. Här används två regulatorer som är kaskadkopplade. Dessutom behövs två givare. Förutom en temperaturgivare behövs en flödesgivare. Utsignalen från den regulator, som är kopplad till temperaturgivaren, fungerar som börvärde till den andra regulatorn. Se figur 3.2.

Detta förslag tar hänsyn både till temperatur och flöde, vilket ger en jämnare reglering.

Den största nackdelen torde vara priset (två regulatorer och två givare).



- 1: Ventil
- 2: Ställdon
- 3: Regulator
- 4: Regulator
- 5: Temperaturgivare
- 6: Flödesgivare
- 7: Värmeväxlare

Figur 3.2

**Slutsats:** Då hänsyn måste tagas till funktion, ekonomi och enkelhet fann vi förslag 1 vara det mest intressanta. När kontakt togs med företag utgick vi därför från denna modell. Vid låga effekter kan även förslag 3 vara av intresse.

## 4 MARKNADSUNDERSÖKNING

När vi hade beslutat oss för att välja det lösningsförslag som bygger på att temperaturen mäts på sekundärsidan, fick vi undersöka utbudet.

Vi ringde runt till ett stort antal företag och fick broschyrer att studera.

Vissa alternativ förkastades redan på ett tidigt stadium. Detta berodde på, att det tidigt kunde konstateras, att de var för dyra eller ej hade alternativ som klarade av att hantera ånga.

De företag som blev kvar och som vi beslutade oss för att besöka och utforska närmare var: Landis & Gyr, Danfoss, NAF, TA och Honeywell. Ytterligare alternativ (från andra företag) kom till vår kännedom, men då företagen av praktiska skäl ej kunde besökas, tillsammans med det faktum att deras alternativ ej var bättre än de vi valt, fann vi de ej aktuella att utprovas.

För att ge en översiktlig bild av de olika alternativen har vi i tabell 4.1 beskrivit deras prestanda och tagit upp viktiga aspekter vid val av reglerutrustning.

|                    | <u>LANDIS &amp; GYR</u>                          | <u>HONEYWELL</u>               | <u>TA</u>  |
|--------------------|--|--------------------------------|--|
| <b>GIVARE</b>      |  |                                |  |
| -typ               | Ni 1000 $\Omega/0^{\circ}\text{C}$               | Pt 100 $\Omega$                | Termistor  |
| -tidskonstant      | 4 s  | ca 1-3 s                       | 20 s   |
| <b>REGULATOR</b>   |  |                                |  |
| -namn              | RCE 61.11  | UDC 3000                       | TA 229W  |
| -Område            | -10 - +90 $^{\circ}\text{C}$                     | -184 - +482 $^{\circ}\text{C}$ | 20 - 120 $^{\circ}\text{C}$                        |
| -P-band            | 4 - 100%   | 0.01-100%                      | $\pm 3^{\circ}\text{C}$ el $\pm 6^{\circ}\text{C}$ |
| -D-funktion        | nej  | 4.8 - 600 s                    | nej  |
| -I-funktion        | 10, 20, 120s                                     | 1.2 - 3000s                    | 10 - 100 s   |
| -onoggranhet       | -----  | $\pm 0.20\%$                   | -----  |
| -analog/digital    | analog (0 - 10v)                                 | digital                        | analog   |
| <b>VENTIL</b>      |  |                                |  |
| -namn              | VVF 52 (VVF 61)                                  | series 2000                    | STL  |
| -typ               | sätesventil                                      | sätesventil                    | kägelventil  |
| -max tryck         | 600kPa (1100kPa)                                 |                                | 200kPa   |
| -max temp          | 180 $^{\circ}\text{C}$ (220 $^{\circ}\text{C}$ ) | 250 $^{\circ}\text{C}$         | 180 $^{\circ}\text{C}$                             |
| -reglerförhållande | 100:1, 50:1                                      | 50:1                           | 30:1   |
| -karakteristik     | logaritmisk                                      | logaritmisk                    | logaritmisk  |
| - $k_{VS}$ -värde  | 0.16 - 10  | 0.01 - 16                      | 0.53 - 3.7   |
| -läckningsgrad     | 0 - 0.02% av $k_{VS}$                            | 0.0001-0.5% av $k_{VS}$        | 0.05% av $k_{VS}$                                  |

|                         |  |   |   |
|-------------------------|--|---|---|
| <b>STÄLLDON</b>         |  |   |   |
| -namn                   | SKD 62   | series 2000   | EM 5  |
| -typ                    | elektro-hydrauliskt  | pneumatiskt   | elektrisk   |
| -tid öppen-s            | 30s  | ca 7s   | ca 60s  |
| -tid stängd-ö           | 15s  | ca 7s   | ca 60s  |
| -återgång               | ja; fjäderåtergång   | ja; fjäderåtergång  | nej   |
| -karakteristik          | linjär/logaritmisk   | linjär  | linjär  |
| <b>PRIS (brutto)</b>    | 7800 kr ( 9500 kr)   | ca 11000 kr   | 7500 kr   |
| <b>ÖVRIGT</b>           | VVS utrustning<br>specialavtal med<br>Alfa-Laval   | Med lägesregulator<br>(positioner)<br>fås reglerförhållande<br>200:1  | VVS utrustning<br>specialavtal med<br>Alfa-Laval                          |
|                         | <u>NAF</u>   | <u>DANFOSS</u>  | <u>DANFOSS</u>  |
| <b>GIVARE</b>           |  |   |   |
| -typ                    | Pt 100Ω  | Cu  | Ni 100Ω   |
| -tidskonstant           | ca 1 - 3s  | -----   | -----   |
| <b>REGULATOR</b>        | <u>Har ingen egen</u><br>måste dock vara en<br>regulator anpassad<br>efter industri-<br>standard (4-20 mA<br>styrsignal) | IVT<br>10 - 140°C<br>ja<br>nej<br>nej<br>-----<br>analog  | EPT 612<br>30 - 110°C<br>2 - 20°C<br>nej<br>2 - 20 min<br>-----<br>analog |
| -namn                   |  |   |   |
| -Område                 |  |   |   |
| -P-band                 |  |   |   |
| -D-funktion             |  |   |   |
| -I-funktion             |  |   |   |
| -onoggranhet            |  |   |   |
| -analog/digital         |  |   |   |
| <b>VENTIL</b>           |  |   |   |
| -namn                   | NAF - Setball  | IVR (ventilhus )  | VFO   |
| -typ                    | kulsektorventil  | kägelventil   | sätventil   |
| -max tryck              | klarar våra krav   | 1000 kPa  | 1500kPa   |
| -max temp               | 225°C  | 180°C   | 180°C   |
| -upplösning             | > 1 - 130  | -----   | 1 - 30  |
| -karakteristik          | linjär/logaritmisk   | logaritmisk   | logaritmisk   |
| -k <sub>VS</sub> -värde | 0.03 - 16  | 0.63 - 25   | 1.6 - 4.0   |
| -läckningsgrad          | 0.005% av k <sub>VS</sub>  | -----   | 0.05% av k <sub>VS</sub>  |
| <b>STÄLLDON</b>         |  |   |   |
| -namn                   | LA, LB eller LC  | IVT   | AMV 423   |
| -typ                    | pneumatiskt  | självverkande   | elektrisk   |
| -tid öppen-s            | -----  | -----   | 60 s  |
| -tid stängd-ö           | -----  | -----   | 60 s  |
| -återgång               | ja ; fjäderåtergång  | nej   | -----   |
| -karakteristik          | linjär/logaritmisk   |   |   |
| <b>PRIS (brutto)</b>    | ca 10500 kr  | 4200 kr   | ca 4500 kr  |
| <b>ÖVRIGT</b>           | Med ventilläges-<br>ställare (elektro-<br>pneumatiskt) fås<br>ökad upplösning.   | Ställdon och givare<br>är en enda enhet och<br>kallas styrelement.<br>Alfa-Laval har specialavtal med Danfoss |   |

Tabell 4.1

Då ovanstående alternativ jämförs med varandra både med avseende på prestanda och pris finner vi att NAFs och Honeywells utrustning troligtvis skulle klara uppgiften bäst, ty de är de mest avancerade. Priset ligger dock en aning för högt för att de skall vara intressanta i sammanhanget.

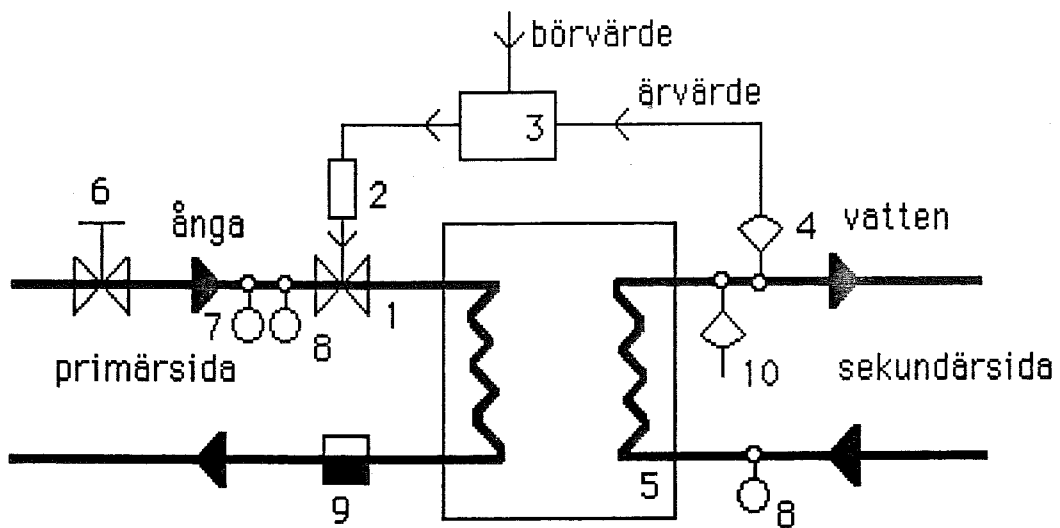
TAs alternativ klarar inte de krav på tryck som ställs. Denna ventil har, liksom Danfoss variant med regulator, också ganska dåligt reglerförhållande.

Kvar finns förslaget från Landis & Gyr samt Danfoss variant med självverkande ventil. Landis & Gyrs ventil har hyfsat reglerförhållande, är relativt snabb och tål de tryckkrav vi ställer. Danfoss är intressant, ty den självverkande ventilen är billig och används idag i flera värmeväxlarsammanhang, framför allt där elektricitet ej är att tillgå. Alfa-Laval har dessutom avtal med dessa firmor, vilket medför att priset blir ganska rimligt.

## 5 UTPROVNING AV BESTÄLLD UTRUSTNING

### 5.1 BESKRIVNING AV BESTÄLLD UTRUSTNING

Danfoss självverkande och Landis & Gyrs alternativ beställdes så att jämförande tester skulle kunna genomföras. Vår försöksuppställning ser ut som figur 5.1.



- 1: Ventil
- 2: Ställdon
- 3: Regulator
- 4: Temperaturgivare
- 5: Värmeväxlare
- 6: Manuell ventil
- 7: Manometer
- 8: Termometer
- 9: Ångfälla
- 10: Temperaturgivare till skrivare

Figur 5.1



Eftersom ångpannan i laboratoriet sätter ganska strama effektgränser och andra ångförsök (ej våra) pågår parallellt, kan ej hur stora effekter som helst erhållas. Det är sagt att ångpannan lämnar 240 kW och att trycket är 17 bar (med hjälp av en fjäderventil regleras trycket sedan ned till lämplig storlek). Försöken utfördes med störningar på ångan. Ångpannans beteende är ytterst opålitligt och trycket ut från den kan variera mellan 11 - 17 bar. Vidare utfördes andra projekt parallellt, vilket medförde ett något ojämnt uttag från ångpannan. Ovanstående effektgräns tillsammans med att vattennätet inte kan lämna mer än ca 1.1 kg/s medför att värmeväxlare av typ CB 25 med 10 plattor är lämplig att använda vid våra försök. Se tabell D1 i appendix D. Dimensioneringsprogram hos Alfa Laval gav dessa resultat.

Vi valde att prova tre ventiler från Landis och Gyr och en från Danfoss. Med hjälp av ett ångdiagram samt våra uppskattade tryck och effekter erhåller vi lämpliga  $k_{VS}$ -värde för ventilerna.  $K_{VS}$ -3,  $k_{VS}$ -5 och  $k_{VS}$ -7.5 valdes från L & G samt  $k_{VS}$ -6.3 från Danfoss. Från L & G valdes att prova den "stora" ventilen VVF61 eftersom vi eventuellt kommer upp i höga tryck. Två olika ställdon beställdes från Danfoss, eftersom varje ställdon av självverkande typ har relativt begränsat temperaturintervall. Det ena täcker området 10-45°C och det andra 60-100°C. Se tabell 4.1 för övrig information.

Ett vanligt användningsområde för ånga i värmeväxlarsammanhang är att värma kallvatten till tappvarmvatten. Därför verkar det vettigt att värma 10-gradigt vatten till ca 90°C. Det visar sig emellertid att "kallvattnet" vi kan få ut ur ledningen håller så pass hög temperatur som 17°C. Detta är en förutsättning vi måste rätta oss efter, därav den något underliga nedre temperaturgräns.

Till vår hjälp i laboratoriet har vi, förutom kunnig personal, även termometrar, manometrar, temperaturgivare samt en skrivare. Eftersom flödesgivare visar sig vara ganska opålitliga tingestar, väljs i stället "hink och klocka-metoden". På primärsidans utlopp har vi valt att montera en ångfälla, så att vi säkert får ut enbart kondensat.

## 5.2 BESKRIVNING AV TESTUTFÖRANDE

Då man på Alfa-Laval förklarade att det var mättad ånga som erhöles efter fjäderventilen, och att trycket således ej behövde mätas om temperaturen mättes (Vid mättad ånga motsvarar en viss temperatur ett visst tryck), så gjordes ej heller detta de tre första veckorna av provkörningarna. Vid jämförelser med teoretiska värden stämde inget, och varken struktur eller tendens gick att utläsas ur resultaten.

En manometer kopplades in, och det visade sig att ångan inte alls var mättad alltid, utan oftast överhettad. Testerna fick göras om. Eftersom effekten plottas som funktion av trycket är vi mer beroende av korrekt tryck än av korrekt temperatur. Den största energiöverföringen ligger ju i kondenseringsförloppet.

Mätserier har tagits upp för två olika lägen på ventilerna. Dels för helt öppen ventil, och dels för ett läge på ventilen som motsvarar mittläge för spindeln. Man skulle kunna tro att mittläget för spindeln motsvarar halvöppen ventil, men eftersom ventilen har logaritmisk karakteristik motsvarar detta ett läge som är något mindre än halvöppet. Vid helöppet läge kan erhållna värden på effekten jämföras med teoretiska värden för maximalt överförbar effekt i ventilen vid olika tryck.

Den effekt vi kan mäta är den effekt värmeväxlaren kan lämna, och inte den effekt ventilen överför. Vi räknar dock med att förlusterna är små, och våra teoretiska värden jämförs med de verkliga trots att verkningsgraden ej är 100%. Teoretiska värden för maximalt överförbar effekt för ventilen erhålls ur ett ångdiagram (placerat sist i rapporten). I ångdiagrammet går vi in vid ett visst tryck följer linjen rakt upp till kritiskt tryckfall (eftersom det är maxeffekten som är den intressanta). Från denna punkt går vi sedan rakt ut till höger till aktuellt  $k_{vs}$ -värde för ventilen. Vi följer därefter en tänkt linje rakt ned och avläser där effekten. Det kan vara svårt att erhålla noggranna värden på effekten eftersom skalan är ganska liten. Det visar sig att detta förhållande (effekt som funktion av tryck) är linjärt.

Orsaken till att vi valt att plotta detta samband för ventilerna är att det är två parametrar som en tänkt kund bör veta innan han/hon kontaktar Alfa-Laval (eller något försäljningsbolag).

Uttagen effekt ur värmeväxlaren erhålles ur formeln  $P = \dot{Q} \cdot \Delta t \cdot c_p$ , där  $\dot{Q}$  är vattenflödet,  $\Delta t$  är temperaturökningen och  $c_p$  är den specifika värmekapacitiveteten.

Att använda ventilen helöppen är ju inte speciellt aktuellt, eftersom den då endast kan reglera nedåt, och då med relativt dålig upplösning i början. Därför har vi även genomfört en mätserie med spindeln i sitt mittläge. Det är dock endast möjligt att göra detta med Landis & Gyrs ventil, ty Danfoss har ej markerat mittläge på ställdonet.

Differenstrycket över ventilen, vilket kunde vara av intresse, har ej gått att uppmäta, ty stora tryckförändringar i ångledningen och onoggrannhet hos manometrarna gjorde detta omöjligt.

### 5.3 TESTKÖRNING MED DANFOSS ALTERNATIV

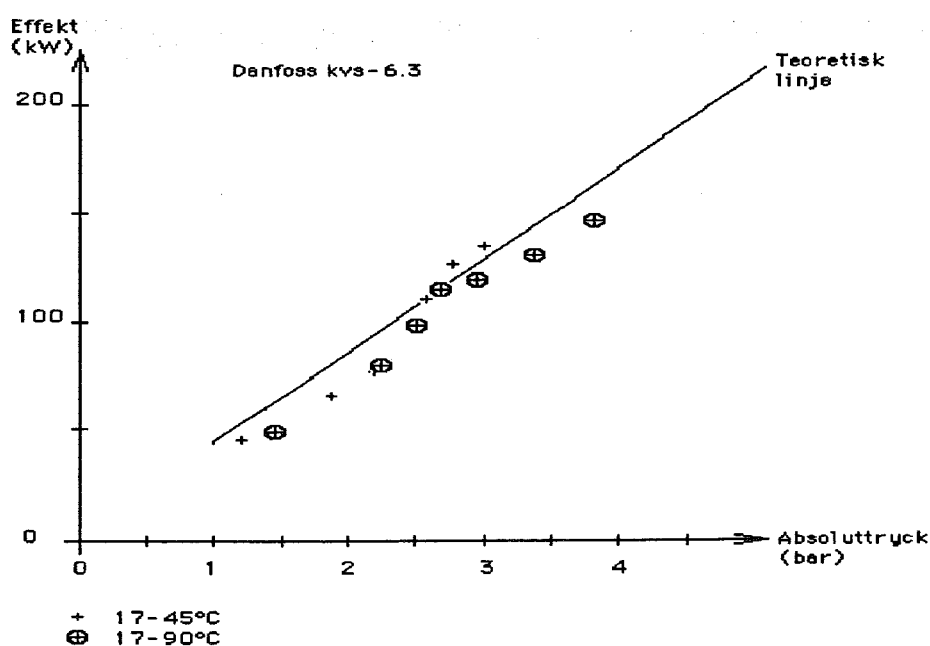
$K_{VS}$ -värdet för Danfossventilen är 6.3. Regleringen har proportionellt beteende och saknar både integrerande och deriverande funktion. Som nämnts tidigare mättes "max"- respektive "min"-effektuttag och resultatet från dessa mätningar finns presenterade i appendix E.

#### 5.3.1 Analys av mätserierna

Ur de uppmätta flödena beräknades motsvarande effekter med Alfa-Lavals programvara. I figur 5.2, som innehåller den räta linje där man för  $k_{VS}$ -6.3 kan utläsa den för ett visst tryck maximalt överförbara effekten genom ventilen, plottades våra uppmätta "max"-effekter.

Det visar sig att Danfoss-systemets "max"-effekter överensstämmer väl med den teoretiska linjen och det oberoende av vilket styrelement vi har.

Danfoss-ventilen har svårt att reglera låga effekter. Ur appendix E kan utläsas att belastningar under 30kW aldrig bör förekomma. När flödet minskas till en viss gräns stänger Danfossventilen och istället börjar fjäderventilen "reglera" så tillvida att trycket före Danfossventilen stiger och temperaturen hålls konstant. Minskas därefter flödet ytterligare en bit börjar Danfossventilen "stå och slå" och temperaturen att pendla. Detta gör att osäkerheten, kring vilket som är det minsta flödet, är ganska stor. Det bör påpekas att trycket på dessa min-mätningar ej är korrekt då mätningarna gjordes innan manometern kopplades in.



Figur 5.2

### 5.3.2 Utrustningens beteende

Danfoss-ventilen ställer, som nämnts ovan, krav på att det är relativt stora effekter (flöden) för att temperaturen skall bli den önskade.

Den är också snabb, vilket man tycker enbart borde vara en fördel, men då den saknar en integrerande del, blir den snarare instabil. Denna instabilitet gör att den påverkas mycket av yttre förändringar.

Vid flödesändringar reagerar ventilen snabbt, men den har en tendens att inte vilja ställa in sig vid börvärdet. Detta stationära fel kan förklaras med att Danfossutrustningen endast har proportionell reglering.

Om man ökar flödet blir ärvärdet lägre än börvärdet trots att ventilen egentligen skulle kunna öppna mer, motsvarande sker vid flödesminskning. Observera att flödesändringen måste ske inom ramen för max- och minflöde vid aktuellt tryck.

Om flödesändringarna är snabba klarar reglerutrustningen ändringar uppåt ganska bra. Den ställer in sig snabbt, men tyvärr ofta vid fel ärvärde.

Snabba flödessänkningar blir dock svårt för ventilen att klara. Ventilen stänger då helt. När detta sker belastar Danfossventilen fjäderventilen, som börjar reglera.

Danfoss-och fjäder-ventilen börjar nu stå och arbeta mot varandra så att temperaturen pendlar.

De tidigare nämnda tryckstörningarna påverkar även de ventilens beteende. Olika tryck medför att ventilen skall stå olika mycket öppen för att värma upp samma mängd vatten. Tryckvariationer ger ventilen samma uppträdande som den har vid flödesändringar

Vi försökte också köra Danfossventilen vid olika temperaturområde. Detta är väldigt svårt av två anledningar. Den första anledning är att graderingen på skalan för börvärdesinställningen är onoggrann och hopplös att tolka. Den andra anledningen är att även om man tror sig ha ställt in rätt börvärde kommer det stationära felet att medföra att man ändå inte kan vara säker på att ärvärdet blir detsamma som det man har ställt in. En del andra börvärden provades. Vi kunde konstatera att det är den uttagna effekten som sätter upp gränserna om inte börvärdet sätts väldigt lågt. När vi provade att sätta börvärdet till 30°C uppträdde återigen det fenomenet, att ventilen stängde nästan helt. Istället började fjäderventilen att arbeta och ventilens uppträdande var väldigt opålitligt.

För att ytterligare sätta press på ventilen testades vad som händer då man har nollflöde på sekundärsidan. Även här är Danfossventilen lite nyckfull och opålitlig. Om man har höga börvärden på temperaturen och ganska stora flöden på sekundärsidan och slår ifrån vattnet är risken stor att ventilen förblir öppen och att ångan blåser rakt igenom värmeväxlaren. Är börvärdet något lägre, stänger ventilen ganska snabbt, men då vi har ett ansenligt läckflöde genom ventilen kommer temperaturen på luften vid utloppet på sekundärsidan att vara mellan 90°C och 100°C.

Slutsatsen angående Danfoss självverkande ventil är att den ställer stora krav på stabila och stora effektuttag. Vidare bör trycket och temperaturen på ångan vara tämligen konstant, med andra ord kringmiljön bör vara störningsfri. Slutligen får man inte ställa höga noggrannhetskrav på vattnets utloppstemperatur.

#### 5.4 TESTKÖRNING MED LANDIS & GYRS ALTERNATIV

Till skillnad från Danfoss har denna utrustning en regulator med PI-funktion och borde vara stabilare. Vi har, som nämntes innan, provat ventiler med tre olika  $k_{VS}$ -värden ( $k_{VS}$ -3,  $k_{VS}$ -5 samt  $k_{VS}$ -7.5). Skillnaden är att högre flöde erhålls vid högre  $k_{VS}$ -värde, om trycket är konstant.

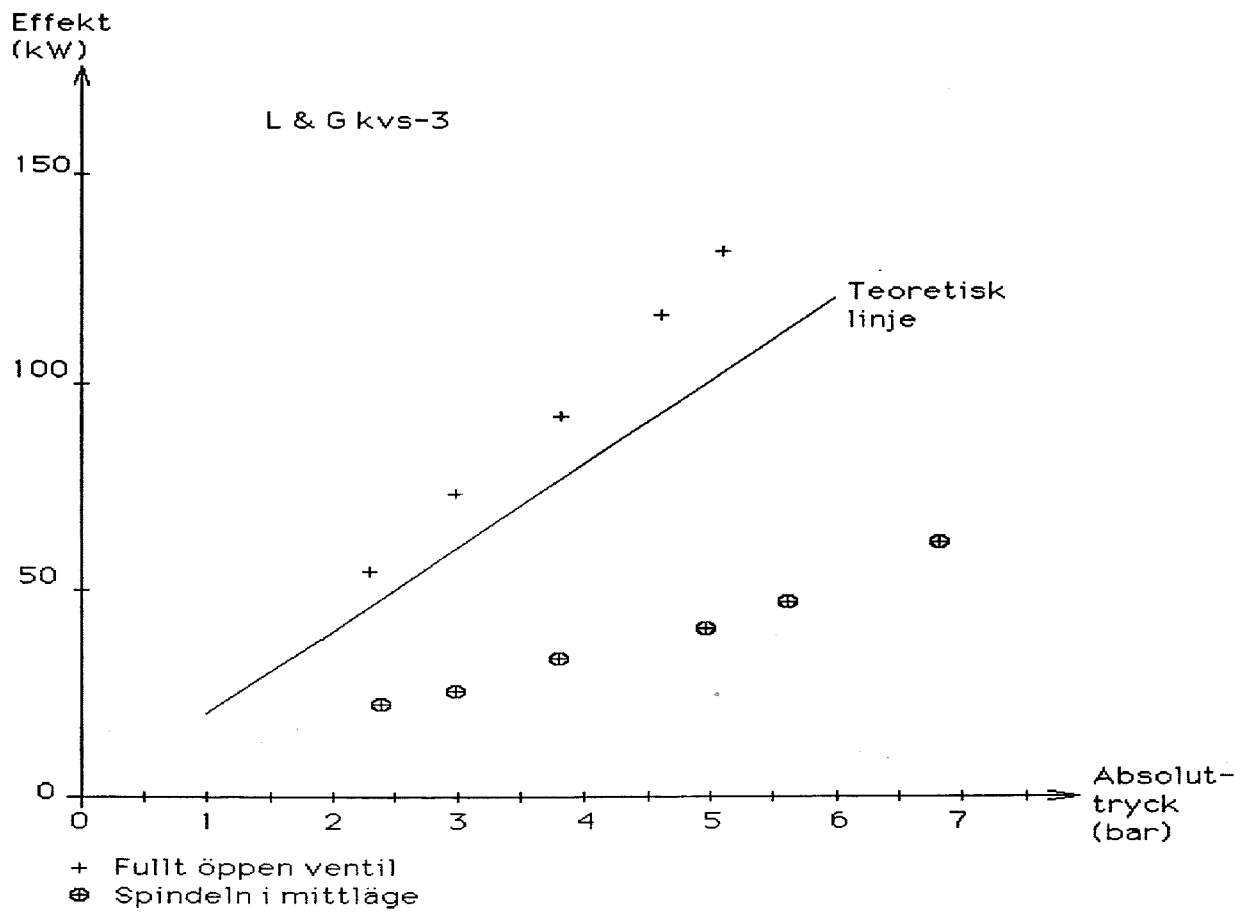
##### 5.4.1 Analys av mätserierna

Vi mäter maxflöde vid helt öppen ventil och plottar in i tre grafer, se figur 5.3-5.5. Vi ser att våra erhållna mätresultat stämmer väl överens med den teoretiska "max"-linjen. Egentligen borde inte punkterna kunna ligga ovanför "max"-linjen, men på grund av mätfel och att ventilen inte har exakt det  $k_{VS}$ -värde som angivits, kan vi mycket väl erhålla denna avvikelse. Jämför vi ventileernas olika  $k_{VS}$ -värden finner vi (som väntat) att ju högre  $k_{VS}$ -värde desto större flöde på sekundärsidan vid givet tryck (i och med detta även större effekt vid givet tryck).

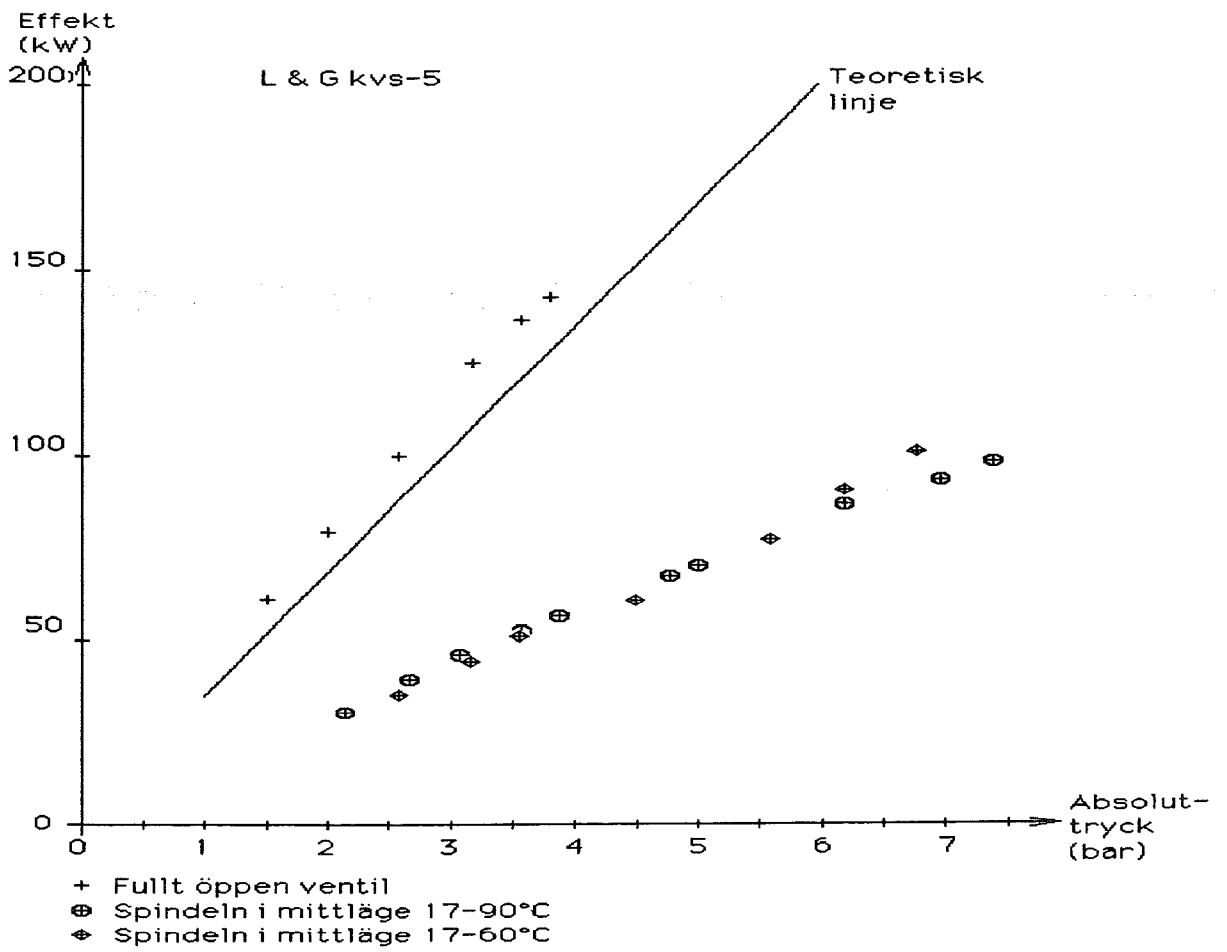
Minflödet är avsevärt mycket lägre för L & Gs utrustning än för Danfoss, vilket gör L & G mer användbar när belastningen varierar. Vid minflödena stämmer ej trycken eftersom de är uppmätta innan manometern kopplades in. Trycket är här av underordnad betydelse, eftersom det endast är en tendens vi är ute efter.

När spindeln befinner sig i mittläget finner vi att för  $k_{VS}-3$  och  $k_{VS}-5$  är riktningskoefficienten för den uppmätta linjen ungefär hälften (knappt) så stor som riktningskoefficienten för "max"-linjen. Som nämntes tidigare bör vi hamna ungefär i denna region. Vid första anblicken kan det verka lite märkligt att riktningskoefficienten för  $k_{VS}-7.5$  hamnar mellan de för  $k_{VS}-3$  och  $k_{VS}-5$ . Den borde ju vara större än den för  $k_{VS}-5$ , men då har vi bortsett från att  $k_{VS}-7.5$  har reglerförhållande 100:1, medan  $k_{VS}-3$  och  $k_{VS}-5$  har reglerförhållande 50:1. Eftersom vi har samma ställdon, med bestämt antal diskreta steg, i de olika fallen, medan minsta möjliga mängd ånga per tidsenhet ändras med  $k_{VS}$ -tal och reglerförhållande, kommer en annan karakteristik för systemet att erhållas. Minsta möjliga mängd ånga per tidsenhet som ventilen kan släppa igenom =  $k_{VS}$ -värde/Reglerförhållandet.

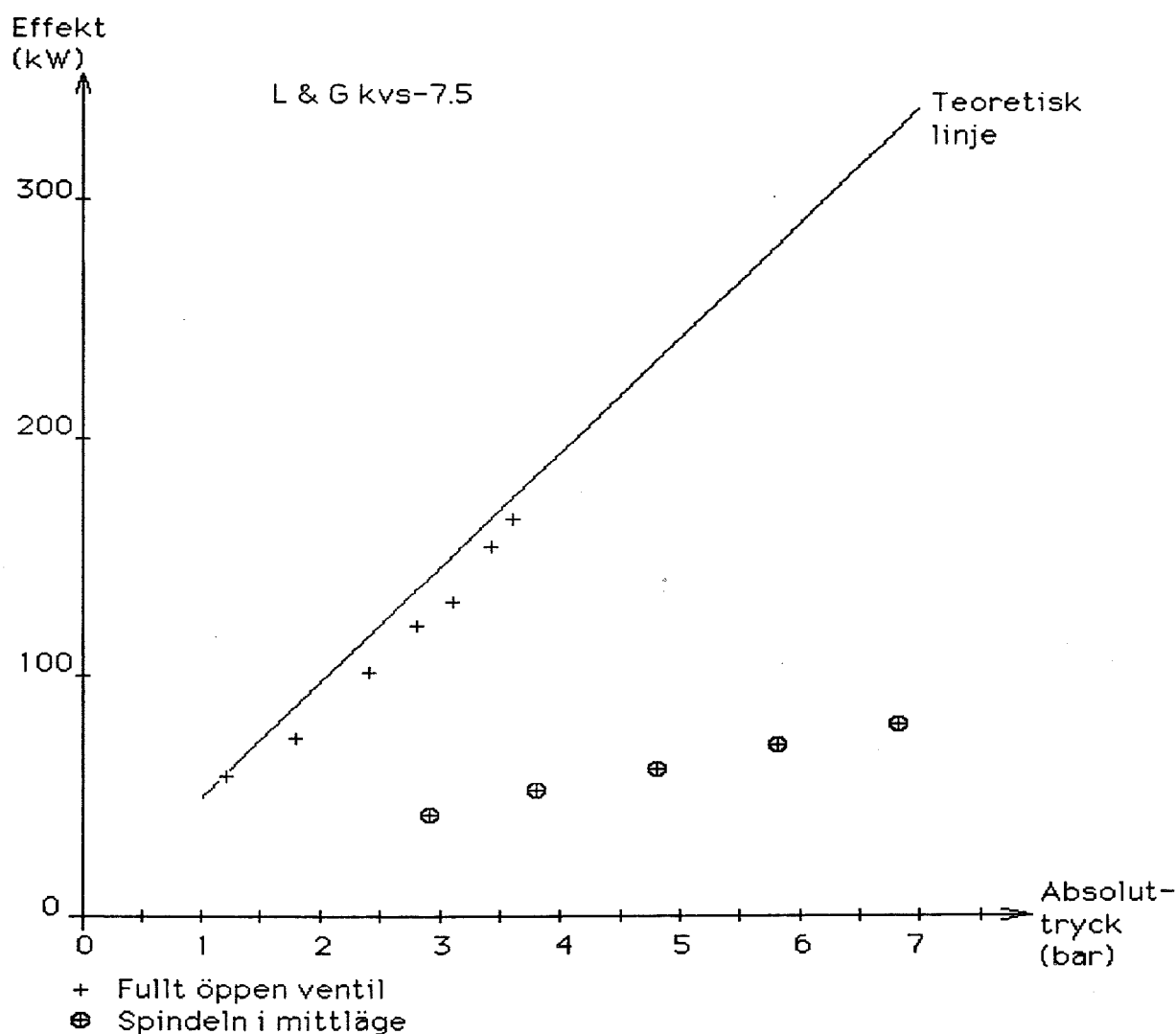
Vi kan också konstatera att värmeväxlaren inte sätter några begränsningar i fråga om effektöverföring vid våra provkörningar. Detta var ej heller väntat. Effektbegränsning hos värmeväxlaren skulle yttrat sig i att våra linjer i graferna skulle planat ut vid högre tryck. Vi provade också en värmeväxlare med fler plattor. Vår avsikt med detta var även här att se, om den mindre växlaren sätter några effektbegränsningar vid våra tryck och flöden. Det visade sig att vi inte kunde få ut mer effekt ur den stora växlaren (utan att byta ventil till en med högre  $k_{VS}$ -värde) än ur den lilla. Således kan vi konstatera, att det är ventilen som sätter begränsningarna och ej växlaren.



Figur 5.3



Figur 5.4



Figur 5.5

#### 5.4.2 Utrustningens beteende

L & Gs utrustning har ett väldigt lugnt beteende. Den ger även ett stabilare intryck än Danfoss-ventilen. Snabbheten beror på hur P-band och I-tid ställs. Minskas P-band och I-tid erhålls ett snabbare beteende, men med svängningar vid last- och tryck-ändringar. Ökas P-band och I-tid för mycket kan beteendet upplevas som slött. För att uppnå ett snabbt men ändå stabilt beteende är det därför viktigt att ställa in P-band och I-tid enligt bruksanvisningen.

En nackdel med L & Gs ventil är att har den ställt in sig i helt öppet läge, är den inte lika benägen att lämna detta som den är att lämna andra lägen. Det krävs lite längre tid alternativt större laständringar för att den skall ställa in sig vid nytt läge, när den varit inställd i helt öppet läge.



Vi gjorde även en del körningar med andra temperaturområden, t ex 17-60°C och 30-50°C (med förvämt vatten) i stället för 17-90°C. Det visar sig att även här hamnar vi fint i linje med våra andra värden i förhållandet tryck och effekt.

Minskas flödet successivt till noll får vi en ganska lugn reglering och systemet ställer in sig kring börvärdet utan att ångan rusar genom systemet och sprutar ut. Minskas lasten mer drastiskt dröjer det lite innan ventilen börjar stänga. Under denna tid blåser en del ånga rakt genom systemet, men efter detta ställer ventilen in sig kring börvärdet.

Vid flödesändringar beter sig L & Gs ventil väldigt stabilt och lugnt. Den är inte riktigt lika snabb som Danfoss, men igengäld hittar den börvärdet exakt och står inte och slår, förutsatt att P-band och I-tid är rätt valda. Någon nämnvärd skillnad i inställningstid mellan flödesändringar uppåt och nedåt kan ej märkas (förutsatt att ventilen inte ställt in sig i helt öppet läge). Inte heller tryckändringar (ångpannans störningar) är något problem, om de inte kommer alltför ofta. Är tiden mellan störningarna bara större än insvängningstiden för utrustningen, klarar L & Gs utrustning detta helt godtagbart.

## 5.5 VAL AV REGLERUTRUSTNING

Efter att ha studerat uppträdandet för både Danfoss självverkande- och Landis & Gyrs vatten/ång-ventil talar det mesta till Landis & Gyrs fördel.

Den klarar av att arbeta vid lägre effekter än vad Danfossventilen gör.

Landis & Gyrs alternativ ställer alltid in temperaturen på det önskade börvärdet vilket ej alltid är fallet med Danfoss. Vidare är Landis & Gyrs utrustning mindre känslig för yttre störningar, typ tryckändringar och dylikt. Den har överlag ett lugnare och stabilare beteende, vilket till stor del kan kopplas till att den innehar både en P- och en I-funktion. Det har också inkommit information om att i de fall som ångregleringen verkar fungera, så är det just någon form av PI-reglering som använts.

Ytterligare en sak som talar för Landis & Gyr är att den har mindre läckflöde och får därmed ett trevligare uppträdande, om flödet försvinner på sekundärsidan. Observera att det kan vara olämpligt att sekundärflödet går från ganska ansevärt flöde ner till noll väldigt hastigt eftersom då kommer ånga under viss tid att blåsa genom värmeväxlaren och kan komma att orsaka skada.

Det som skulle kunna tala för Danfoss är att den är snabbare än Landis & Gyr. Den har ej problem med att lämna det läget där ventilen är helt öppen. Slutligen är den bara hälften så dyr. Det bör här påpekas att för det första gör snabbheten att regleringen blir instabil. För det andra skall Landis & Gyrs alternativ vara dimensionerade, så att man inte skall behöva riskera att hamna i fullt öppet läge. Slutligen har styrelementen i Danfoss-alternativet begränsat temperaturområde. Detta gör att nytt styrelement måste införskaffas, om man önskar använda utrustningen inom andra temperaturområden.

I flertalet fall där man har haft problem med reglering har det funnits en självverkande ventil av märket Danfoss. Med detta som bakgrund och utifrån våra egna iakttagelser, anser vi att det vore fel att rekommendera Danfoss utrustning, om kraven på relativt konstant flöde och stabilt tryck på ångan ej är uppfyllda.

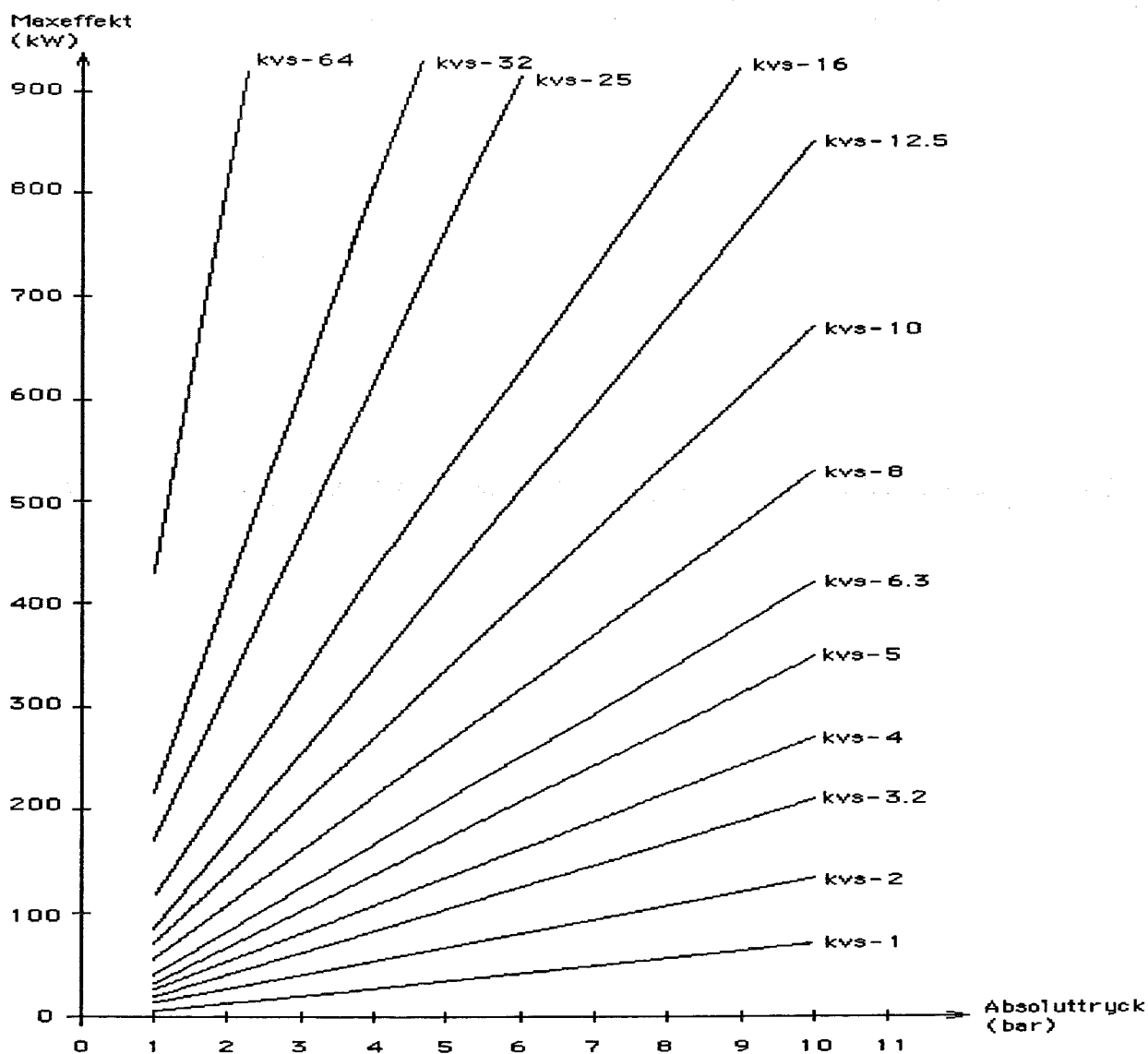
I vissa applikationer har man inte tillgång till eller får ej använda elektricitet, och då är Danfoss ett tänkbart alternativ. Ställs däremot större krav på regleringen, och invariablerna varierar mycket, kan det vara en lösning att använda en helt pneumatisk utrustning som exempelvis Honeywell har med i sitt produktsortiment. Sådana alternativ blir dock dyrare.

Det enda alternativ som är i rimlig prisklass och har ett uppträdande som är tillfredsställande är Landis & Gyr. Vid mycket svåra miljöer och om väldigt stora krav på regleringen ställs, finns det andra alternativ, men dessa ligger då i helt annan prisklass.

## 6 DIMENSIONERINGSUNDERLAG FÖR VENTILER

Vi har här tagit fram ett lättöverskådligt underlag för dimensionering av ventiler. De parametrar som måste kännas till innan diagrammet plockas fram är tryck och maximal effekt som skall överföras. Poängteras bör också att det är maximal effekt och inget annat.

Tillvägagångssättet är enkelt och går till på följande vis. På x-axeln i figur 6.1 finns aktuellt absoluttryck, och på y-axeln finns maximal effekt. Aktuellt  $k_{VS}$ -värde erhålls sedan direkt ur grafen vid skärningen mellan aktuellt tryck och maximal effekt. Skulle vi hamna på ett  $k_{VS}$ -värde som inte finns i produktsortimentet, välj då närmast "större" ventil.



Figur 6.1

Viktigt att nämna är att alla ventiltillverkare inte har samma sortiment vad det gäller  $k_{vS}$ -värde. Vårt dimensioneringsunderlag ovan är allmäntillgängligt och inte anpassat efter någon speciell tillverkare. Tilläggas bör också att grafen är "kontinuerlig", och hamnar man mellan några av våra utritade linjer så får  $k_{vS}$ -värdet uppskattas innan man går in i produktkatalogen.

Väljs ventiler ur Landis & Gyrs sortiment bör man tänka på att det finns två olika ventiler beroende på vilket tryck som är aktuellt (VVF 52 [6 bar] och VVF 61 [11 bar]). Karakteristiken är dock samma förutsatt att reglerförhållandet är samma. L & G har antingen reglerförhållande 50:1 eller 100:1 (se produktkatalog). Ju bättre reglerförhållande, desto bättre upplösning har ventilen vid små öppningar. Vi belyser detta med ett exempel.

### Exempel 6.1

Genom att räkna ut  $k_{vR}$ -värde för två olika ventiler, VVF61 med  $k_{vS}$ -5 (reglerförhållande 50:1) och  $k_{vS}$ -7.5 (reglerförhållande 100:1), kan vi se vilken som har bäst upplösning vid små öppningar.  $k_{vR}$ -värdet anger ju minimalt flöde genom ventilen (ej stängd), se appendix C.

$$k_{vR} = k_{vS} / \text{reglerförhållandet}$$

$$\text{för } k_{vS}\text{-5: } k_{vR} = 5/50 = 0.10 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{för } k_{vS}\text{-7.5: } k_{vR} = 7.5/100 = 0.075 \text{ m}^3/\text{h}$$

Detta är intressant att veta huruvida även aktuell nominell effekt är känd. Är den nominella effekten ganska låg i förhållande till max-effekt, kan det vara försvarbart att välja en ventil med  $k_{vS}$ -7.5 även om diagrammet ger  $k_{vS}$ -5. Detta på grund av att upplösningen för  $k_{vS}$ -7.5 vid små öppningar är bättre än för ventilen med  $k_{vS}$ -5.

## SAMMANFATTNING

Ur vår inledande marknadsundersökning utkristalliserade sig två alternativ. Det var Danfoss självverkande reglerventil och Landis & Gyrs vatten/ång-ventil med PI-regulator. Dessa båda testades hårt i Alfa-Lavals testlaboratorium. Först kontrollerade vi att den maximalt överförbara effekten stämde överens med den givna i produktbladen. Därefter testades de båda ventilernas beteende vid olika driftförhållande. Här visade sig Landis & Gyrs alternativ ha betydande fördelar gentemot Danfoss. Då Landis & Gyrs regleralternativ har möjlighet att välja P-band och I-tid kan en betydligt lugnare och följsammare reglering erhållas. Tillika är L & Gs utrustning inte lika störkänslig som Danfoss.

Landis och Gyrs alternativ är ett bra val med hänsyn taget till ekonomi och prestanda. De har också också ett brett sortiment av ventilstorlekar. Vidare lämpar reglerutrustningen sig för alla vattentemperaturer mellan 0 och 90°C. Om möjlighet finns att reglera ned trycket på ångan, är det lämpligt att försöka reglera ned det till ca 4 bar. Detta för att ha möjlighet att använda L & Gs något billigare ventil VVF 52, som maximalt klarar ett tryck på 6 bar.

Det bör påpekas att ett "riktigt" val av reglerutrustning ej med säkerhet kommer att lösa problemet med sprickbildning i första eller sista plattan. Detta beroende på att stora, och ofta förekommande, variationer i effektuttag och ångtryck medför att reglerutrustningen hela tiden kämpar för att ställa in sig vid önskat börvärde. Som följd av detta får vi stora påfrestningar på värmeväxlaren. Med andra ord går det ej att reglera bort fel som uppstår på grund av dåliga kringförhållanden.

Slutligen gjordes ett dimensioneringsunderlag för ventiler. I detta kan utläsas vilken storlek på ventil som är lämplig, med hänsyn tagit till maximalt överförbar effekt och aktuellt tryck.

## REFERENSER

- \* G H Pearson; Valve Design; Mec.eng.1978
- \* Karl-Johan Åström; Reglerteori; Stockholm AWE/Geber 1976
- \* Karl-Åke Lundin; Installationer- styrning och övervakning; 1980
- \* Joseph H. Mower; Selecting steam traps for heat exchangers;  
Heating/Piping/Airconditioning Dec 1986
- \* Produktkataloger från Landis & Gyr, Danfoss, Honeywell och NAF
- \* J Kurmann; Reglerteknik, allmänna grunder; GBC-T2855 1981
- \* Azbel, Cheremisinoff; Fluid Mechanics And Unit Operations;  
Ann Arbor Science 1983
- \* L Jönsson, P Larsen; Kompendium i instationär strömning; LTH 1975

## APPENDIX A

### TEORI BAKOM VÄRMEVÄXLARE

Plattvärmeväxlare bygger på den grundläggande principen om strävan efter temperaturutjämning. Genom de tunna väggar som skiljer det kalla mediet från det varma, passerar värmen mycket lätt. En värmeväxlare arbetar efter principen att kontinuerligt överföra värme från ett medium till ett annat utan att tillföra energi till processen. Två typer av värmeväxlare förekommer:

- \* Direkta värmeväxlare, där de båda medierna är i direkt kontakt med varandra. Ett krav som ställs är då att de båda medierna ej kan blandas med varandra.
- \* Indirekta värmeväxlare, där medierna skiljs åt med en vägg. Genom denna vägg överförs värmeenergin. Exempel på denna typ är tubvärmeväxlare och plattvärmeväxlare (aktuell för vår del).

Plattvärmeväxlaren karakteriseras av följande:

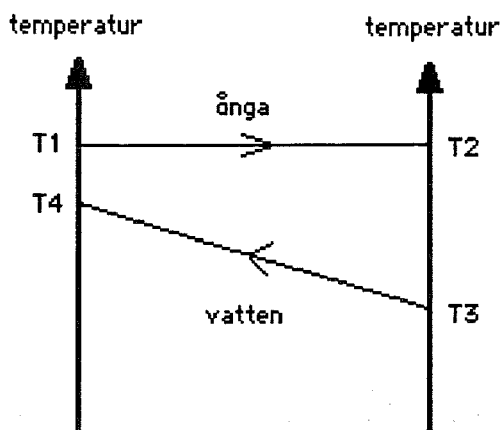
- \* Tunna väggar. Genom att i de värmeöverförande ytorna ha ett tunt material får vi hög värmeöverföring och liten materialåtgång.
- \* Hög turbulens. Eftersom man har hög turbulens i det strömmande mediet, erhålls hög konvektion<sup>1</sup>. Detta i sin tur medför en effektiv värmeväxling mellan medierna, och det åtgår mindre yta för en given uppgift, vilket minskar kostnaderna.
- \* Variabel termisk längd. Genom att ha ett tätare mönster på plattorna erhålles effektivare värmeöverföring pga att tryckfallet ökar. Om plattorna däremot har ett glesare mönster blir tryckfallet lägre och värmeöverföringen något mindre effektiv.

1. Med konvektion menas att energi överförs genom omblandning av ett medium med ett annat.

Bemärk att ovanstående gäller generellt för plattvärmväxlare. Om man, som i vårt fall, använder en lödd plattvärmväxlare måste man tänka på vissa saker. En lödd plattvärmväxlare går ej att plocka isär, vilket medför att den är svår att rengöra. I och med att den saknar gummipackningar har en förslitningspunkt plockats bort. Den lödda växlaren tål således högre tryck och temperaturer, men vid stora temperatursvingar kan problem uppstå. Detta har sin förklaring i att plattorna är låsta i sitt läge och tillåts inte att utvidgas och krympa i samma utsträckning som en växlare med gummipackning.

Den lödda växlaren är också mindre flexibel, eftersom den ej går att bygga till för ökad belastning.

Fördelar är, förutom högt tillåtet tryck och temperatur, även ett lågt pris och förhållandevis små yttre mått. Figur A.1 visar att temperaturen på primärsidan inte sjunker då vattentemperaturen stiger. Energin tas istället från kondenseringen av ångan. Figuren visar en ideal bild av förloppet. Är ångan istället överhettad kommer temperaturen på primärsidan först att sjunka ned till mättnadstemperatur innan kondensering sker (och temperaturlinjen blir vågrät).



T1=Ingående temperatur på primärsidan  
T2=Utgående temperatur på primärsidan  
T3=Ingående temperatur på sekundärsidan  
T4=Utgående temperater på sekundärsidan

Figur A.1

$$\Delta T_1 = T_1 - T_4$$

$$\Delta T_2 = T_2 - T_3$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}}$$

Med logaritmisk medeltemperatur-differens (LMTD) avses den effektiva, drivande temperaturdifferensen i värmväxlaren.



## APPENDIX B

### ÅNGA I VÄRMEVÄXLARSAMMANHANG

Ånga är ett mycket energirikt medium. Detta ställer höga krav på värmeväxlaren och reglerutrustningen. Meningen är ju att ångan skall kondensera i växlaren. Då frigörs stor energi utan att temperaturen minskar på primärsidan. I och med att vi rör oss med ganska stora tryck, kommer vi att få höga hastigheter på ångan. För att inte tryckfallet skall bli för stort över varje kanal, kommer växlaren i många fall att bli väldigt överdimensionerad. Detta medför i sin tur att växlaren utsätts för våldsamma dynamiska påfrestningar, vilket ställer höga krav på en jämn reglering.

Det absoluta trycket i vatten kan ej understiga vattnets ångtryck. Om trycket tenderar att understiga ångtrycket lokalt i ett system inträder ett fenomen kallat kavitation, vilket innebär att flytande vatten övergår till gasform i form av bubblor eller kaviteter. Trycket i kavitationszonen blir därvid fixerat till vattnets ångtryck så länge gasbubblor finns. Då bubblorna inträder i en zon med högre tryck imploderar bubblorna snabbt. Då gasbubblorna kollapsar uppstår lokalt mycket höga tryckstötar, vilket kan erodera fasta begränsningsytor om kollapsen inträffar mycket nära ytan.

Uppkomsten av tryckstötar kan ses som ett tryckslagsfenomen. Då gasbubblorna imploderar, rusar vatten in mot bubblans centrum med hög hastighet. Då bubblorna precis försvinner bromsas det omgivande vattnet momentant med tryckhöjning som följd.

Förutom den rent mekaniska påverkan av sådana tryckstötar på begränsningsytor, kan också elektrokemisk korrosion initieras. Tryckstötar kan också ge upphov till buller. Dessutom kan tryckstötarna inducera vibrationer i begränsningsytorna, med risk för utmattningsbrott.

Risk för kavitation föreligger vid zoner med ackumulerad strömning, exempelvis efter delvis öppna ventiler. Eftersom volymen ökar ca 50 000 ggr då vatten övergår till ånga, kan förångning av en mycket liten del av vatten resultera i väsentlig blockering eller strypning av flödespassagerna med allvarliga konsekvenser för systemets funktion. Kavitation sänker också effektiviteten hos ventilen och värmeväxlaren.

Om risk för kavitation föreligger i ett system, kan man ej förutsäga med någon större säkerhet vilka tryckstötar som kan uppstå vid kaviteternas implosion. Ett sätt att undgå kavitation är att placera luftningsventiler i zoner med risk för kavitation. Om trycket därvid tenderar att sjunka under det atmosfäriska, sugs luft in i systemet så att både luftbubblor och vattenångbubblor kommer att finnas i kavitationszonen. Då trycket åter stiger, fungerar luftbubblorna som "luftkuddar" med fjädrande egenskaper, varigenom vattenrörelserna vid vattenångbubblornas implosion dämpas och därmed de resulterande tryckstötarna. Å andra sidan kan förekomsten av luftbubblor i vattnet orsaka andra problem.

Eventuellt skulle dessa problem i växlaren elimineras om man kunde välja ett glesare mönster på plattorna. Av ekonomiska skäl har Alfa-Laval valt att till de lödda värmeväxlarna endast tillverka plattor med ett bestämt mönster.

I vår applikation har vi räknat med att använda mättad ånga. Om temperaturen ökas, medan trycket är konstant, erhålles överhettad ånga. Överhettad ånga har mindre friktion än mättad ånga. Om man då, som vi, dimensionerar för mättad ånga, går det bra att använda samma dimensioneringsunderlag för överhettad ånga. Mättad ånga är ju så att säga "worst case". Den största delen av energiöverföringen, då man har ånga som värmande medium, sker i kondenseringsförloppet då temperaturen på det värmande mediet är konstant.

## APPENDIX C

### ALLMÄN TEORI BAKOM VENTILER OCH STÄLLDON

För att kunna reglera vårt system, med ånga på primärsidan, är en av de viktigaste faktorerna att ha "rätt" ventil och ställdon. Bakom ordet rätt döljer sig tämligen mycket. De första grundläggande kraven är att ventilen klarar av att arbeta på önskat sätt med tanke på tryck och temperatur på den inkommande ångan och differenstrycket över ventilen. Eftersom detta är egenskaper som till största delen beror av godstjocklek och av vilka material som används i ventilen, kan man hos de flesta tillverkare finna ventiler som uppfyller ovan nämnda krav.

Det finns även andra aspekter vid val av ventil och ställdon för att vårt system skall uppträda på önskat sätt. Bland de viktigaste är snabbhet, karakteristik, återgång, dimensionering och reglerförhållande.

#### \* Snabbhet:

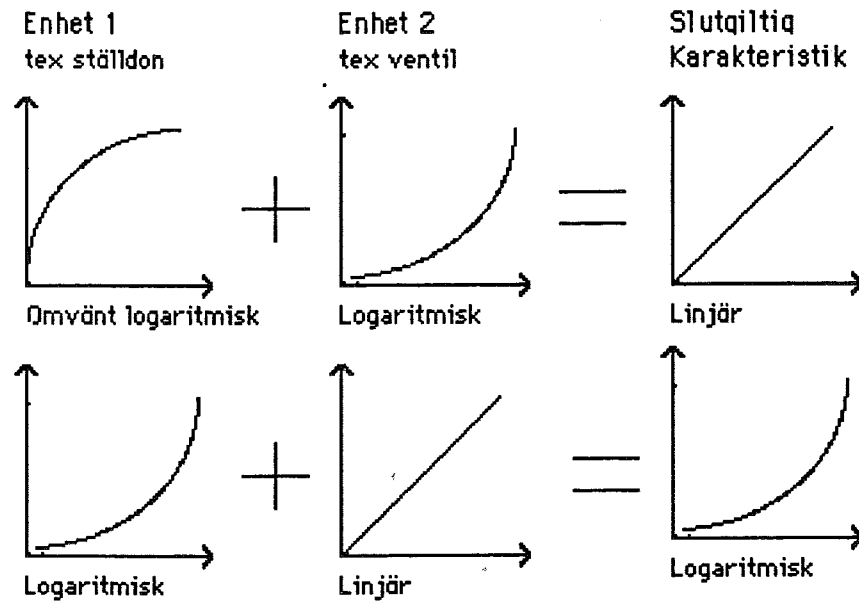
Snabbheten för en ventil med ett påmonterat ställdon är den tid det tar för ställdonet att ändra ventilens öppning. I produktbeskrivningar brukar den anges som den tid, det tar för ställdonet att föra ventilen från helt stängd till helt öppen och vice versa.

Eftersom ånga är oerhört energirikt och värmeväxlaren effektiv, är det extra viktigt att ventilens läge kan ändras snabbt. Det blir annars svårt att erhålla stabil reglering.

#### \* Karakteristik:

Karakteristiken är det som beskriver ställdonets och ventilens "beteende". Ställdonets karakteristik bestäms utav hur mycket ventilöppningen ändrar sig beroende på utsignalen från regulatorm. Ventilens karakteristik ges av hur stort flöde, som rinner genom ventilen beroende på ventilöppningens läge. Att en entydigt bestämd öppning hos ventilen kan ge olika stora flöde beror på, att det finns olika käglor med olika utseende.

Lägger man därefter ihop ställdonets och ventilens karakteristik erhålles en slutgiltig karakteristik för de båda, där flödet genom ventilen beror av signalen in till ställdonet. De vanligaste formerna av karakteristik är linjär, logaritmisk (likprocentig) och omvänt logaritmisk. Figur C.1 visar resultatet av att "lägga ihop" olika enheters karakteristik med varandra.



Figur C.1

Det man önskar i vårt fall är att den slutgiltiga karakteristiken för ventil och ställdon skall vara logaritmisk. Orsaken till detta kan beskrivas på två sätt. För det första önskar man god upplösning vid små signalnivåer, så att man kan reglera små flöden på sekundärsidan. För det andra har värmeväxlaren en omvänt logaritmisk karakteristika och man önskar att hela processen skall ha ett linjärt beteende. Av den anledningen skall ventilens och ställdonets slutgiltiga karakteristika vara logaritmisk.

\* Återgång:

Om något fel uppstår, exempelvis om man får strömavbrott, är det viktigt att ventilen stängs. Öppnar ventilen istället för att stänga är det risk för att skador uppstår.

\* Dimensionering,  $k_{VS}$ -värde:

En riktig dimensionering av ventilen är avgörande för att vi skall få en fungerande reglering. Om en för stor ventil monteras behöver den ej öppna lika mycket som en mindre ventil, för att släppa igenom samma mängd ånga. Med andra ord utnyttjas ventilens reglerområde väldigt dåligt. Detta leder till att det finns stor risk att ventilen kommer att öppna och stänga om vartannat och instabil reglering erhålles.

Det som skall kännas till vid dimensionering av ventiler är:

- absoluttryck före ventilen ( $p_1$  [ata]) alternativt efter ventilen ( $p_2$  [ata])
- aktuellt ångflöde ( $W$  [kg/h]) eller aktuell effekt som överförs i ventilen
- önskat tryckfall över ventilen ( $\Delta p$  [at])
- hur många grader överhettningen är (om ångan är överhettad)

Utifrån dessa givna parametrar kan man beräkna ett  $k_V$ -värde (ventilkoefficient). Ventilkoefficienten är ett mått på hur mycket ~ 20-gradigt vatten ventilen släpper igenom vid ett tryckfall av 1 bar över ventilen. Ventilens  $k_V$ -värde anges oftast vid 100% öppen ventil, och kallas då  $k_{VS}$ -värde. Ibland kan man dock vilja ha  $k_V$ -värdet för viss procent öppen ventil.  $K_V$ -värdet kan erhållas antingen genom att gå in och läsa i färdiga diagram eller genom att utföra beräkningen i uttryck C.1. För att erhålla  $k_{VS}$ -värde skall, i formeln nedan,  $W$  sättas till maximalt ångflöde och  $\Delta p$  till kritiskt tryckfall.

$$K_V = \frac{W * K}{22,5 \sqrt{\Delta p * p_2}} \quad K = 1 + (0,0012 * \text{°C överhettning})$$

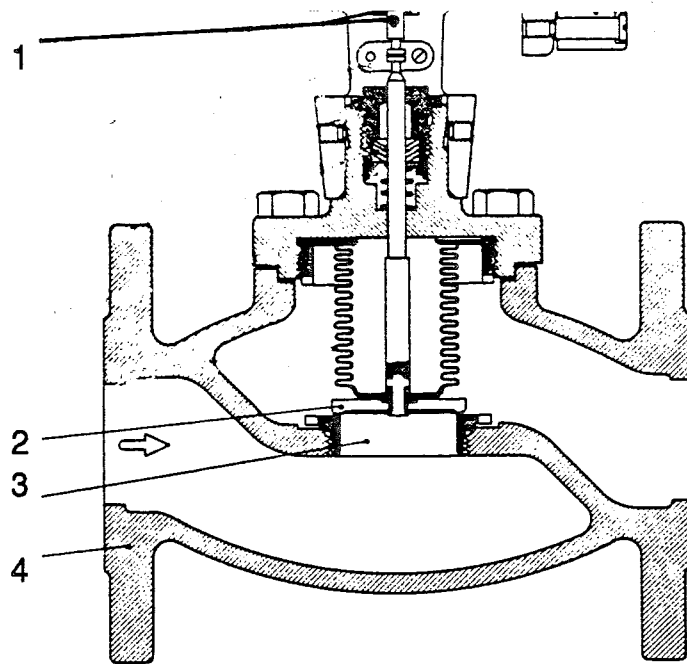
Uttryck C.1

Varje ventil har ett specifikt  $k_{VS}$ -värde. Efter att ha klargjort att ventilen uppfyller de i texten ovan nämnda grundläggande kraven skall man välja ventil efter det erhållna  $k_{VS}$ -värdet. Om det ej finns en ventil med uträknat  $k_{VS}$ -värde skall närmast större (dvs större  $k_{VS}$ -värde) ventil väljas. Ju närmare det uträknade  $k_{VS}$ -värdet vi är desto bättre är förutsättningarna för en lyckad reglering.

\* Reglerförhållande:

Definitionsmässigt anges reglerförhållande (ställförhållande) som  $k_{VS}/k_{VR}$ .  $K_{VR}$  är det minsta möjliga flöde genom ventilen i  $m^3/h$ , vid tryckfall 1 bar och med bibehållen flödeskaraktistik. I produktkataloger anges det antingen som 50:1 eller 1:50. Ju högre reglerförhållandet är desto bättre upplösning erhålles vid låga föden. Spindeln kan sägas anta vissa "diskreta" lägen beroende på friktion och tröghet i bl a packningar när spindeln skall förflytta sig. Det är detta som begränsar hur bra reglerförhållande som kan erhållas.

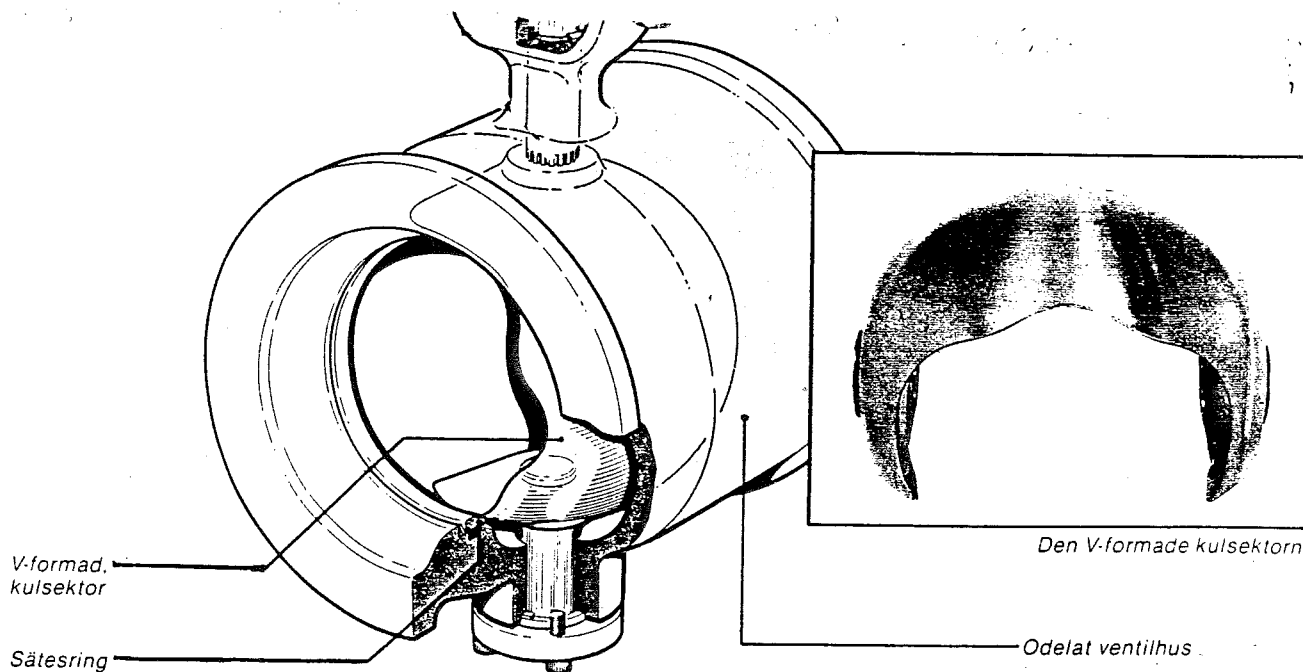
Det finns olika typer av ventiler på marknaden. Den typ som utan tvekan är den vanligaste är kugel- eller sätesventilen i figur C.2. I princip är det så att mellan inloppet och utloppet i ventilhuset är ett s k säte placerat. Kägla, vars position i förhållande till sätet bestämmer flödet genom ventilen, är via spindeln kopplad till ställdonet. Ställdonet för spindeln upp eller ner beroende på insignalen och på så vis regleras mängden ånga som flyter genom ventilen. Kägla kan ha olika utformning för att uppnå önskad karakteristik.



- 1 Spindel
- 2 Ventilkägla
- 3 Ventil säte
- 4 Ventilhus

Figur C.2

En annan typ av ventil som visat sig kunna vara aktuell i vårt fall är kulsektorventilen i figur C.3. I denna är det en kulsektor, som skiljer inloppet och utloppet åt, och genom att kulsektorn via en drivaxel upp till ställdonet vrides runt sin egen axel ändras flödesbilden.

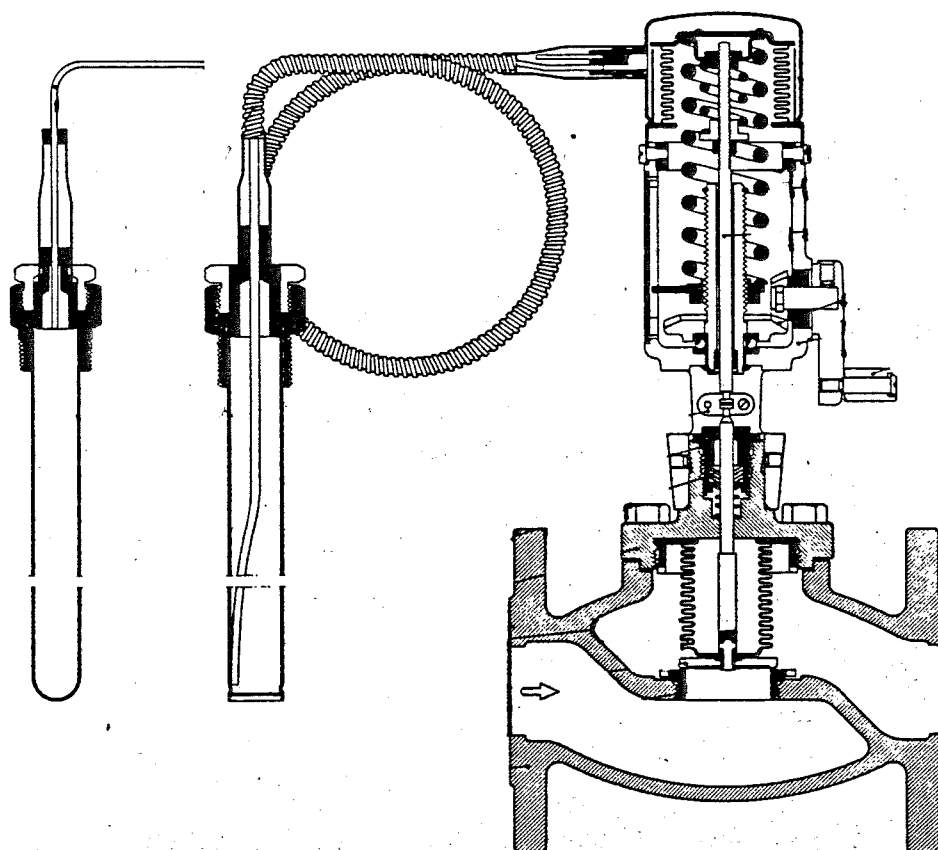


Figur C.3

Ställdonen eller, som de även kallas, manöverdonen är i princip av två olika slag. Antingen är de pneumatiska (luftstyrda) eller är de elektriska. De vanligaste och billigaste är elektriska, eventuellt elektro-hydrauliska, men de är långsammare än de pneumatiska. Vissa tillverkare erbjuder också möjligheten att öka upplösningen via att koppla på en ventillägesställare (positioner), som känner av ventilöppningens läge och jämför med det önskade läget. Lägesställaren är bra, eftersom friktionen i systemet för med sig, att ventilöppningen annars intar olika lägen beroende på om den öppnar eller stänger.



Det finns även en enklare och billigare variant av reglerutrustning, som återfinnes i figur C.4 och går under beteckningen självverkande regulator. I den är givare, ställdon och regulator en och samma enhet, med beteckningen styrenhet. Den är proportionell och styr ventilens öppning genom att givaren innesluter en gas, som ändrar volym beroende på temperaturen. Det är framförallt vid lägre effekter den skulle kunna bli aktuell, och då man ej kan använda elektricitet.



Figur C.4

I praktiska sammanhang brukar man skilja på industriventiler och VVS-ventiler (märk dock att ventiltypen kan vara densamma). Industristandard skiljer sig ifrån VVS-standard, bla är styrsignalen från regulatorn 4 - 20 mA i industristandard, vilket ej är ett krav i VVS-sammanhang. Kortfattat kan man säga att industriventilerna oftast är snabbare (ofta pneumatiska ställdon), har bättre upplösning (vanlig möjlighet är att montera en ventillägesställare), tål högre tryck och har bättre möjlighet att erbjuda önskad karakteristik. Tyvärr är de också mycket dyrare.

## APPENDIX D

### DIMENSIONERING AV VÄRMEVÄXLAREN

För att dimensionera lämplig storlek på värmeväxlaren till vår provkörning, använde vi ett dimensioneringsprogram hos Alfa-Laval. Man får själv ange vilken typ av värmeväxlare programmet skall dimensionera för. I vårt fall har vi valt en medelstor växlare av typ CB 25. Med hänsyn till last och tryck, räknar programmet sedan ut hur många plattor som behövs. Resultatet ur tabell D.1 ger att en värmeväxlare med 10 plattor verkar rimligt för oss.

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 50    | 100   | 50    | 100   | 50    |
| Tryck (bar)            | 2     | 2     | 2     | 2     | 2     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-30 | 10-30 | 10-50 | 10-50 | 10-70 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.13  | 0.09  | 0.19  | 0.27  | 0.29  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.021 | 0.043 | 0.021 | 0.043 | 0.02  |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.596 | 1.193 | 0.299 | 0.598 | 0.20  |
| Antal plattor          | 10    | 20    | 10    | 16    | 10    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 50    | 100   | 50    | 100   |
| Tryck (bar)            | 2     | 2     | 2     | 3     | 3     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-70 | 10-90 | 10-90 | 10-30 | 10-30 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.40  | 1.2   | 1.0   | 0.082 | 0.057 |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.043 | 0.02  | 0.04  | 0.022 | 0.044 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.40  | 0.15  | 0.31  | 0.60  | 1.2   |
| Antal plattor          | 16    | 8     | 14    | 10    | 20    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 50    | 100   | 50    | 100   | 50    |
| Tryck (bar)            | 3     | 3     | 3     | 3     | 3     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-50 | 10-50 | 10-70 | 10-70 | 10-90 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.26  | 0.40  | 0.35  | 0.55  | 0.50  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.022 | 0.044 | 0.022 | 0.044 | 0.022 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.30  | 0.60  | 0.20  | 0.40  | 0.15  |
| Antal plattor          | 8     | 12    | 8     | 12    | 8     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 50    | 100   | 50    | 100   |
| Tryck (bar)            | 3     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-90 | 10-30 | 10-30 | 10-50 | 10-50 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.46  | 0.059 | 0.041 | 0.54  | 0.50  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.044 | 0.022 | 0.044 | 0.022 | 0.044 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.30  | 0.60  | 1.2   | 0.30  | 0.60  |
| Antal plattor          | 14    | 10    | 20    | 6     | 10    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 200   | 50    | 100   | 200   | 50    |
| Tryck (bar)            | 4     | 4     | 4     | 4     | 4     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-50 | 10-70 | 10-70 | 10-70 | 10-90 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.35  | 0.73  | 0.67  | 0.64  | 0.32  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.088 | 0.022 | 0.044 | 0.088 | 0.022 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 1.2   | 0.20  | 0.40  | 0.80  | 0.15  |
| Antal plattor          | 20    | 6     | 10    | 18    | 8     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 200   | 50    | 100   | 50    |
| Tryck (bar)            | 4     | 4     | 5     | 5     | 5     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-90 | 10-90 | 10-30 | 10-30 | 10-50 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.49  | 0.62  | 0.046 | 0.033 | 0.41  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.044 | 0.088 | 0.022 | 0.045 | 0.022 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.30  | 0.60  | 0.60  | 1.2   | 0.30  |
| Antal plattor          | 12    | 20    | 10    | 20    | 6     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 200   | 50    | 100   | 200   |
| Tryck (bar)            | 5     | 5     | 5     | 5     | 5     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-50 | 10-50 | 10-70 | 10-70 | 10-70 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.38  | 0.27  | 0.54  | 0.50  | 0.68  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.044 | 0.088 | 0.022 | 0.044 | 0.088 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.60  | 1.2   | 0.20  | 0.40  | 0.80  |
| Antal plattor          | 10    | 20    | 6     | 10    | 16    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 50    | 100   | 200   | 50    | 100   |
| Tryck (bar)            | 5     | 5     | 5     | 6     | 6     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-90 | 10-90 | 10-90 | 10-30 | 10-30 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.71  | 0.65  | 0.89  | 0.038 | 0.027 |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.022 | 0.044 | 0.088 | 0.022 | 0.044 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.15  | 0.30  | 0.60  | 0.60  | 1.2   |
| Antal plattor          | 6     | 10    | 16    | 10    | 20    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 50    | 100   | 200   | 300   | 50    |
| Tryck (bar)            | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-50 | 10-50 | 10-50 | 10-50 | 10-70 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.33  | 0.31  | 0.22  | 0.19  | 0.43  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.022 | 0.044 | 0.090 | 0.135 | 0.023 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.30  | 0.60  | 1.20  | 1.80  | 0.20  |
| Antal plattor          | 6     | 10    | 20    | 30    | 6     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 200   | 300   | 50    | 100   |
| Tryck (bar)            | 6     | 6     | 6     | 6     | 6     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-70 | 10-70 | 10-70 | 10-90 | 10-90 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.86  | 0.81  | 0.80  | 0.55  | 1.1   |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.045 | 0.090 | 0.14  | 0.023 | 0.045 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.40  | 0.80  | 1.2   | 0.15  | 0.30  |
| Antal plattor          | 8     | 14    | 20    | 6     | 8     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 200   | 300   | 50    | 100   | 50    |
| Tryck (bar)            | 6     | 6     | 8     | 8     | 8     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-90 | 10-90 | 10-30 | 10-30 | 10-50 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 1.0   | 1.0   | 0.024 | 0.019 | 0.24  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.090 | 0.14  | 0.023 | 0.045 | 0.023 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.60  | 0.90  | 0.60  | 1.2   | 0.30  |
| Antal plattor          | 14    | 20    | 10    | 20    | 6     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 200   | 300   | 400   | 50    |
| Tryck (bar)            | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-50 | 10-50 | 10-50 | 10-50 | 10-70 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.22  | 0.15  | 0.14  | 0.10  | 0.29  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.046 | 0.091 | 0.14  | 0.18  | 0.023 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.60  | 1.2   | 1.8   | 2.4   | 0.20  |
| Antal plattor          | 10    | 20    | 30    | 40    | 6     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 200   | 300   | 400   | 50    |
| Tryck (bar)            | 8     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-70 | 10-70 | 10-70 | 10-70 | 10-90 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.59  | 0.56  | 0.55  | 0.54  | 0.37  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.046 | 0.091 | 0.14  | 0.18  | 0.023 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.40  | 0.80  | 1.2   | 1.6   | 0.15  |
| Antal plattor          | 8     | 14    | 20    | 26    | 6     |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 200   | 300   | 400   | 50    |
| Tryck (bar)            | 8     | 8     | 8     | 8     | 10    |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-90 | 10-90 | 10-90 | 10-90 | 10-30 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.74  | 1.2   | 1.4   | 1.5   | 0.023 |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.046 | 0.091 | 0.14  | 0.18  | 0.023 |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 0.30  | 0.60  | 0.90  | 1.2   | 0.60  |
| Antal plattor          | 8     | 12    | 16    | 20    | 10    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 100   | 50    | 100   | 200   | 300   |
| Tryck (bar)            | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-30 | 10-50 | 10-50 | 10-50 | 10-50 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.016 | 0.19  | 0.18  | 0.12  | 0.11  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.046 | 0.023 | 0.046 | 0.092 | 0.14  |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 1.2   | 0.30  | 0.60  | 1.2   | 1.8   |
| Antal plattor          | 20    | 6     | 10    | 20    | 30    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 400   | 50    | 100   | 200   | 300   |
| Tryck (bar)            | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-50 | 10-70 | 10-70 | 10-70 | 10-70 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.10  | 1.5   | 0.46  | 0.44  | 0.43  |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.18  | 0.023 | 0.046 | 0.092 | 0.14  |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 2.4   | 0.20  | 0.40  | 0.80  | 1.2   |
| Antal plattor          | 40    | 4     | 8     | 14    | 20    |

|                        |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Effekt (kW)            | 400   | 50    | 100   | 200   | 300   |
| Tryck (bar)            | 10    | 10    | 10    | 10    | 10    |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-70 | 10-90 | 10-90 | 10-90 | 10-90 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 0.42  | 1.9   | 1.7   | 1.6   | 1.5   |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.18  | 0.023 | 0.046 | 0.092 | 0.14  |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 1.6   | 0.15  | 0.30  | 0.60  | 0.90  |
| Antal plattor          | 26    | 4     | 6     | 10    | 14    |

|                        |       |
|------------------------|-------|
| Effekt (kW)            | 400   |
| Tryck (bar)            | 10    |
| Temp.förändr. (°C)     | 10-90 |
| Tryckfall p-sida (bar) | 1.1   |
| Flöde p-sida (kg/s)    | 0.18  |
| Flöde s-sida (kg/s)    | 1.2   |
| Antal plattor          | 20    |

Tabell D.1

## APPENDIX E

### MÄTRESULTAT

Här presenteras de mätvärden som erhållits vid våra tester av ventilerna. För Danfossventilen testades två olika styrelement. Det ena går från 10°C till 45°C och det andra från 60°C till 100°C.

Det står angivet i tabellerna om det är frågan om ett minvärde, maxvärde eller mittvärde. Mittvärde är något som endast mättes upp för Landis & Gyrs ventiler då det ej var genomförbart för Danfoss. På de ställen där inget tryck finns angivet, är mätningarna utförda utan manometer.

Alla mätningar som är angivna här utgår från "kallvatten", vilket i vårt fall är 17°C. Vidare har värmeväxlare av typen CB25 med 10 plattor använts om inget annat anges. I tabellerna nedan anges ångtrycket som övertryck (absoluttryck= övertryck+ normalt lufttryck [ca 1 bar]).

#### DANFOSS SJÄLVVERKANDE VENTIL K<sub>v</sub>-6.3

| Börvärde<br>°C | ångtemp.<br>°C | ångtryck<br>bar | flöde<br>kg/s | effekt<br>kW | flödestyp<br>min/med/<br>max | kommentar      |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|------------------------------|----------------|
| 45             | 120            |                 | 0.19          | 22           | min                          |                |
| 45             | 133            |                 | 0.28          | 32           | min                          |                |
| 45             | 143            |                 | 0.27          | 31           | min                          |                |
| 45             | 151            |                 | 0.13          | 15           | min                          |                |
| 45             | 158            |                 | 0.16          | 18           | min                          |                |
| 30             | 135            |                 | 0.21          | 11           | min                          |                |
| 30             | 140            |                 | 0.40          | 22           | min                          |                |
| 45             | 136            | 2               | 1.15          | 135          | max                          | eg högre flöde |
| 45             | 131            | 1.8             | 1.07          | 125          | max                          |                |
| 45             | 128            | 1.6             | 0.94          | 110          | max                          |                |
| 45             | 134            | 1.2             | 0.65          | 76           | max                          |                |
| 45             | 127            | 0.9             | 0.56          | 66           | max                          |                |
| 45             | 130            | 0.2             | 0.39          | 46           | max                          |                |
| 90             | 142            | 2.8             | 0.48          | 146          | max                          |                |
| 90             | 138            | 2.4             | 0.43          | 131          | max                          |                |
| 90             | 134            | 2.0             | 0.39          | 119          | max                          |                |
| 90             | 130            | 1.7             | 0.37          | 114          | max                          |                |
| 90             | 127            | 1.5             | 0.32          | 98           | max                          |                |
| 90             | 125            | 1.25            | 0.27          | 82           | max                          |                |
| 90             | 120            | 0.45            | 0.16          | 49           | max                          |                |
| 60             | 131            | 3.1             | 0.21          | 35           | min                          |                |
| 90             | 150            | 3.9             | 0.21          | 64           | min                          |                |

Tabell E.1

LANDIS & GYR VATTEN/ÅNG VENTIL K<sub>VS</sub>-3

| Börvärde<br>°C | ångtemp.<br>°C | ångtryck<br>bar | flöde<br>kg/s | effekt<br>kW | flödestyp<br>min/med/<br>max | kommentar |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|------------------------------|-----------|
| 30             | 140            |                 | 0.06          | 3            | min                          |           |
| 80             | 142            |                 | 0.02          | 5            | min                          |           |
| 90             | 133            |                 | 0.04          | 12           | min                          |           |
| 90             | 152            | 4.1             | 0.43          | 131          | max                          |           |
| 90             | 148            | 3.6             | 0.38          | 116          | max                          |           |
| 90             | 146            | 2.8             | 0.30          | 92           | max                          |           |
| 90             | 140            | 2.0             | 0.24          | 73           | max                          |           |
| 90             | 131            | 1.3             | 0.18          | 55           | max                          |           |
| 90             | 169            | 6.8             | 0.215         | 66           | med                          |           |
| 90             | 164            | 5.8             | 0.20          | 61           | med                          |           |
| 90             | 156            | 4.6             | 0.16          | 47           | med                          |           |
| 90             | 142            | 3.9             | 0.14          | 41           | med                          |           |
| 90             | 142            | 2.8             | 0.11          | 34           | med                          |           |
| 90             | 134            | 2               | 0.08          | 24           | med                          |           |
| 90             | 126            | 1.4             | 0.07          | 21           | med                          |           |

Tabell E.2

LANDIS & GYR VATTEN/ÅNG VENTIL KVS-5

| Börvärde<br>°C | ångtemp.<br>°C | ångtryck<br>bar | flöde<br>kg/s | effekt<br>kW | flödestyp<br>min/med/<br>max | kommentar |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|------------------------------|-----------|
| 30             | 188            |                 | 0.34          | 18           | min                          |           |
| 30             | 123            |                 | 0.08          | 4            | min                          |           |
| 40             | 186            |                 | 0.24          | 23           | min                          |           |
| 40             | 123            |                 | 0.04          | 4            | min                          |           |
| 50             | 188            |                 | 0.11          | 15           | min                          |           |
| 50             | 123            |                 | 0.04          | 5            | min                          |           |
| 60             | 188            |                 | 0.10          | 17           | min                          |           |
| 70             | 187            |                 | 0.07          | 15           | min                          |           |
| 80             | 188            |                 | 0.06          | 16           | min                          |           |
| 80             | 118            |                 | 0.08          | 2            | min                          |           |
| 90             | 184            |                 | 0.05          | 11           | min                          |           |
| 90             | 140            | 2.8             | 0.47          | 143          | max                          |           |
| 90             | 140            | 2.6             | 0.45          | 137          | max                          |           |
| 90             | 140            | 2.2             | 0.41          | 125          | max                          |           |
| 90             | 131            | 1.8             | 0.33          | 101          | max                          |           |
| 90             | 134            | 1.6             | 0.33          | 101          | max                          |           |
| 90             | 137            | 1.2             | 0.26          | 79           | max                          |           |
| 90             | 136            | 0.5             | 0.20          | 61           | max                          |           |
| 90             | 167            | 6.4             | 0.32          | 98           | med                          |           |
| 90             | 165            | 5.9             | 0.31          | 94           | med                          |           |
| 90             | 160            | 5.2             | 0.28          | 86           | med                          |           |
| 90             | 152            | 4.0             | 0.23          | 70           | med                          |           |
| 90             | 150            | 3.7             | 0.22          | 67           | med                          |           |
| 90             | 145            | 2.9             | 0.18          | 56           | med                          |           |
| 90             | 140            | 2.6             | 0.17          | 52           | med                          |           |
| 90             | 135            | 2.1             | 0.15          | 47           | med                          |           |
| 90             | 130            | 1.7             | 0.13          | 40           | med                          |           |
| 90             | 123            | 1.1             | 0.10          | 31           | med                          |           |
| 60             | 164            | 5.8             | 0.56          | 101          | med                          |           |
| 60             | 160            | 5.2             | 0.50          | 90           | med                          |           |
| 60             | 156            | 4.6             | 0.43          | 77           | med                          |           |
| 60             | 148            | 3.4             | 0.34          | 61           | med                          |           |
| 60             | 143            | 2.6             | 0.28          | 50           | med                          |           |
| 60             | 141            | 2.1             | 0.25          | 45           | med                          |           |
| 60             | 131            | 1.5             | 0.19          | 35           | med                          |           |

Tabell E.3



# LANDIS & GYR VATTEN/ÅNG VENTIL K<sub>VS</sub>-7.5

| Börvärde<br>°C | ångtemp.<br>°C | ångtryck<br>bar | flöde<br>kg/s | effekt<br>kW | flödestyp<br>min/med/<br>max | kommentar  |
|----------------|----------------|-----------------|---------------|--------------|------------------------------|------------|
| 30             | 144            |                 | 0.08          | 4            | min                          |            |
| 80             | 143            |                 | 0.05          | 13           | min                          |            |
| 90             | 140            |                 | 0.04          | 12           | min                          |            |
| 90             | 139            | 2.6             | 0.54          | 165          | max                          |            |
| 90             | 138            | 2.4             | 0.50          | 155          | max                          |            |
| 90             | 134            | 2.1             | 0.43          | 121          | max                          |            |
| 90             | 128            | 1.3             | 0.33          | 102          | max                          |            |
| 90             | 135            | 0.8             | 0.24          | 74           | max                          |            |
| 90             | 112            | 0.2             | 0.18          | 56           | max                          |            |
| 60             | 134            | 2               | 0.83          | 149          | max                          |            |
| 60             | 128            | 1.5             | 0.65          | 117          | max                          |            |
| 90             | 164            | 5.8             | 0.26          | 79           | med                          |            |
| 90             | 158            | 4.8             | 0.23          | 70           | med                          |            |
| 90             | 150            | 3.8             | 0.20          | 61           | med                          |            |
| 90             | 142            | 2.8             | 0.17          | 52           | med                          |            |
| 90             | 135            | 1.9             | 0.14          | 43           | med                          |            |
| 30             | 144            |                 | 0.13          | 7            | min                          | 55 plattor |
| 50             | 145            |                 | 0.09          | 12           | min                          | 55 plattor |
| 30             | 137            |                 | 1.15          | 63           | max                          | 55 plattor |
| 40             | 134            |                 | 0.65          | 63           | max                          | 55 plattor |
| 50             | 131            |                 | 0.48          | 66           | max                          | 55 plattor |
| 60             | 136            |                 | 0.33          | 59           | max                          | 55 plattor |
| 70             | 129            |                 | 0.28          | 62           | max                          | 55 plattor |
| 80             | 133            |                 | 0.23          | 61           | max                          | 55 plattor |
| 90             | 132            |                 | 0.20          | 61           | max                          | 55 plattor |

Tabell E.4

# Ångdiagram

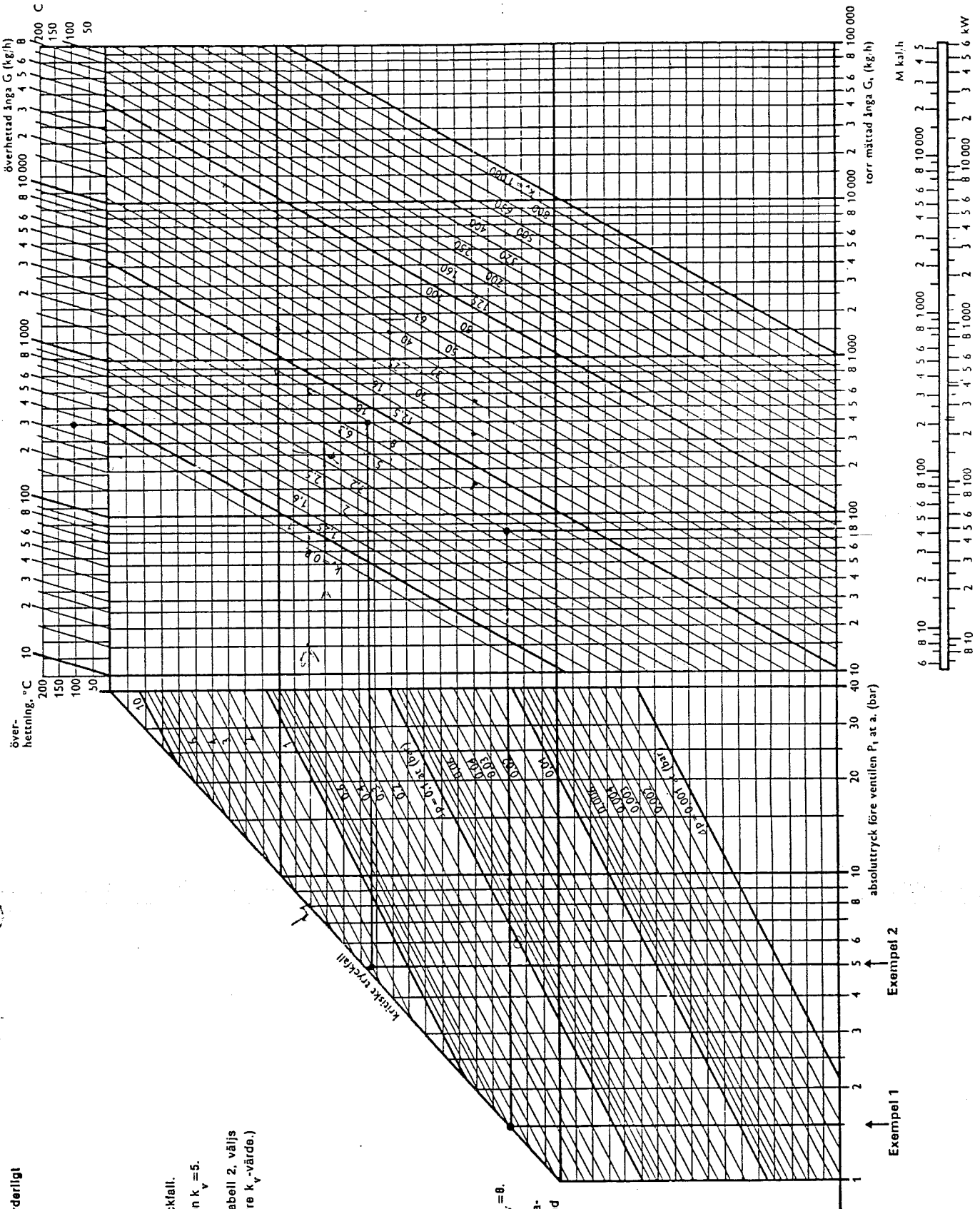


Fig. 6. Diagram för bestämning av erforderligt  $k_v$ -värde.  
Ventilmedium: ånga.

**Exempel 1:**

Max. mängd torr mättad ånga  $G_s = 80$  kg/h  
Tryck före ventil  $P_1 = 1.5$  at a. (bar)  
Ventilen dimensioneras för kritiskt tryckfall.  
Erhållen skärningspunkt ligger på linjen  $k_v = 5$ .  
Anslutningsnummer väljs ur tabell 2.  
(Om erhållet  $k_v$ -värde ej återfinns i tabell 2, väljs som regel en ventil med närmast större  $k_v$ -värde.)

**Exempel 2:**

Max. mängd överhettad ånga  $G = 350$  kg/h  
Tryck före ventil  $P_1 = 5$  at a. (bar)  
Önskat tryckfall  $\Delta p = 2$  at (bar)  
Angtemperatur  $t = 251$  °C  
Mätningstemperatur vid 5 at a. (bar)  $t_s = 151$  °C  
Överhettning  $t - t_s = 100$  °C  
Erhållen skärningspunkt ligger vid  $k_v = 8$ .  
Anslutningsnummer väljs ur tabell 2.  
(Om erhållet  $k_v$ -värde ej återfinns i tabell 2, väljs som regel en ventil med närmast större  $k_v$ -värde.)

Exempel 1

Exempel 2