



Funktions- och kvalitetsprovning av abonnentcentraler i fjärrvärmesystem

Håkan Wallentun och Peter Gummérus

Funktions- och kvalitetsprovning av abonnentcentraler i fjärrvärmesystem

Håkan Walletun, ZW Energiteknik AB
Peter Gummérus, mph AB

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNIK FÖRSKNING
101 53 STOCKHOLM - TEL 08/677 25 80
Augusti 1995
ISSN 0282-3772

ZW

ENERGITEKNIK

REPORT / RAPPORT ZW-94/04

FUNKTIONS- OCH KVALITETSPROVNING AV ABONNENTCENTRALER I FJÄRRVÄRMESYSTEM

Håkan Walletun och Peter Gummérus

**ZW Energiteknik AB
P. O. Box 137
S-611 23 Nyköping
Sweden**

**mph AB
Erik Dahlbergsg. 36
S-411 26 Göteborg
Sweden**

Oktober 1994

FÖRORD

Föreliggande rapporter utgör slutrapportering av projekten H3-407 och H3-413. Projekten har genomförts på uppdrag av gruppen för Hetvattentechnik vid Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning.

Del 1 innehåller en beskrivning av provprogram med krav och resursbeskrivning för att kunna genomföra provningsmetodiken.

Del 2 utgör en demonstration och ett komplett prov av den föreslagna provningsmetodiken.

Rapporterna redovisas tillsammans dels för att de bör studeras i ett sammanhang. Dels för att del 2 refererar till del 1 på ett flertal ställen, vilket innebär att läsbarheten underlättas om del 1 finns tillgänglig.

ZW

ENERGITEKNIK

REPORT / RAPPORT ZW-94/04

**FUNKTIONS- OCH KVALITETSPROVNING AV
ABONNENTCENTRALER I FJÄRRVÄRMESYSTEM**

Del 1 - Beskrivning av en provningsmetodik

Håkan Walletun och Peter Gummérus

**ZW Energiteknik AB
P. O. Box 137
S-611 23 Nyköping
Sweden**

**mph AB
Erik Dahlbergsg. 36
S-411 26 Göteborg
Sweden**

Oktober 1994

SUMMARY

The intention of this report is to discuss a test procedure for consumer substations which are intended for district heating systems. The aim of the test procedure is to ensure that the performance of the consumer substation is maintained when components from different manufacturers are connected up to complete systems. The proposal for testing does not cover consumer substations with accumulated system connections.

A complete test methodology is proposed in the report. The methodology is based on the study of the performance of the consumer substation within its intended load range by using mathematical modelling and simulation. By deriving mathematical models of the different components which make up the consumer substation, a complete library of the types which exist can be obtained. The values of the constants in the general models can be obtained for the properties of specific brands through measurement and identification.

Models of complete systems can be compiled from the library. Models of network and load conditions can also be prepared. The advantage of this approach is that configurations consisting of different brands can be compiled and tested for random loads, preferably such loads which are suspected of causing reduced performance. Random sizes of complete systems can easily be investigated. Different system configurations can be subjected to identical loads, thereby facilitating the performance evaluation.

The methodology also comprises testing through measurements. However, only at a component level. A tried and tested procedure for testing heat-exchangers exists. The result from this testing of components will be used to identify and validate the mathematical models which will later be used to test complete consumer heating stations. A well-defined procedure exists for the approval of the testing to ensure that the measurement results are correct. A similar procedure must be used to compile mathematical models in order to ensure that the models agree with reality. The same testing and modelling procedure will also be used on valves, temperature transmitters and valve servo. A standardized procedure for the approval of mathematical models must, therefore, be identified.

The report also contains a list of specifications and a description of resources required in order to carry out the proposed test programme. The benchmarking of the models with the components in question is described in detail. The available hardware and software are also described. Finally, the organization which has to be established in connection with the performance and quality control which must be carried out must be described.

FUNKTIONS- OCH KVALITETSPROVNING AV ABONNENT-CENTRALER I FJÄRRVÄRMESYSTEM

Sammanställning av provprogram och resursbeskrivning

Håkan Walletun, ZW Energiteknik AB
Peter Gummérus, mph AB

SAMMANFATTNING

Avsikten med denna rapport är att diskutera ett provningsförfarande för abonnentcentraler som är avsedda för fjärrvärmesystem. Provningsförfarandets uppgift är att säkerställa att en abonnentcentralers funktion bibehålls då komponenter från olika tillverkare sätts samman till kompletta system. Det framtagna provningsförslaget omfattar ej abonnentcentraler med ackumulerande systemkopplingar.

I rapporten föreslås en fullständig provningsmetodik. Denna går ut på att med användning av matematisk modellering och simulering studera abonnentcentralens funktion i dess avsedda lastområde. Genom härledning av matematiska modeller av de olika komponenter som ingår i en abonnentcentral, kan ett komplett bibliotek av de förekommande typerna erhållas. Genom mätning och identifiering kan värdena på de konstanterna i de generella modellerna erhållas för fabrikspecifika egenskaper.

Från biblioteket kan modeller av kompletta system sammanställas. Även modeller av nät- och lastförhållande upprättats. Fördelen med detta arbetsätt är att konfigurationer bestående av varierande fabrikat kan sammanställas och testas för godtyckliga laster, företrädesvis sådana laster där misstanke om nedsatt funktion föreligger. Godtyckliga storlekar av kompletta system kan lätt undersökas. Olika systemkonfigurationer kan utsättas för identiska lastförhållanden och utvärdering av prestandan underlättas därigenom.

Metodiken omfattar även provning genom mätning, men då enbart på komponentnivå. Idag finns ett utprovat förfarande för provning av värmeväxlare. Resultatet från denna provning av komponenter skall användas till att identifiera och validera de matematiska modeller som senare skall användas vid provningen av kompletta abonnentcentraler. Ett väldefinierat förfarande finns för godkännande av provningsverksamheten för att försäkra sig om att mätresultaten är korrekta. Motsvarande förfarande skall användas vid upprättandet av matematiska modeller, för att försäkra sig

om att modellerna överensstämmer med verkligheten. Samma provnings- och modelleringsförfarande skall även genomföras på ventiler, temperaturgivare och ställdon. Ett standardiserat förfarande för godkännande av matematiska modeller skall därför definieras.

Rapporten innehåller även en kravspecifikation och resursbeskrivning av vad som krävs för att genomföra föreslaget provprogram. Ingående beskrivs hur modellerna skall avstämmas mot de aktuella komponenterna, samt vilka hård- och mjukvarukrav som finns. Slutligen diskuteras den organisation som skall finns runt den funktions- och kvalitetskontroll som skall genomföras.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid
SAMMANFATTNING	2
1 INLEDNING	6
2 OMFATTNING	7
3 FÖRUTSÄTTNINGAR	8
3.1 Driftförutsättningar	8
3.2 Avgränsning i provprogrammet	8
3.2.1 Fjärrvärmenätet	8
3.2.2 Radiatorsystemet	9
3.2.3 Tappvarmvattensystemet	9
3.3 Rådande förutsättningar vid dimensionering och injustering	9
3.3.1 Fjärrvärmenätet	9
3.3.2 Radiatorsystemet	10
3.3.3 Tappvarmvattensystemet	10
4 PROVPROGRAM	11
4.1 Prov av VVX	11
4.2 Prov av reglerutrustningar	11
4.3 Prov av enskild VVX med reglerutrustning	12
4.4 Prov av komplett system	12
4.4.1 Termisk prestanda	12
4.4.2 Lastföljsamhet	14
4.5 Kriterier för utvärdering av provresultat	17
4.5.1 Termisk prestanda	17
4.5.2 Lastföljsamhet	18
5 RESURSBESKRIVNING	19
5.1 Kravspecifikation för framtagande av valideringsunderlag	19
5.1.1 Värmeväxlare	20
5.1.2 Regulatorer	22
5.1.3 Reglersystem	22
5.1.4 Reglerventiler	22
5.1.5 Ställdon	23
5.1.6 Temperaturgivare	23
5.1.7 Givarnas noggrannhet vid valideringsmätningar	23
5.2 Kravspecifikation för simuleringsmodeller	24
5.2.1 Värmeväxlare	24
5.2.2 Reglerventiler	25
5.2.3 Ställdon	26
5.2.4 Temperaturgivare	26

6	REDOVISNING AV RESULTAT	27
	REFERENSFÖRTECKNING	28
	APPENDIX	

1 INLEDNING

Allt sedan 1990 har diskussioner förts i syfte att skapa en resurs som möjliggör funktions- och kvalitetsprovning av de större värmeväxlare, reglerutrustningar och kompletta prefabricerade system (Prefab) som används i svenska fjärrvärmesystem. De senaste årens diskussioner och olika förslag har dock visat att dels blir kostnaderna för en rent laborativ verksamhet omfattande och dels krävs en övergripande struktur i verksamheten för att denna skall kunna fungera långsiktigt.

Avsikten med denna undersökning är att *föreslå en provningsmetodik av både den kompletta abonnentcentralen och dess enskilda komponenter*. Vi avser att via en lämplig kombination av test i laboratorier och simuleringar på dator, kunna upprätta ett tekniskt fullvärdigt och samtidigt kostnads-effektivt och tidsbesparande sätt att prova utrustningar. Noggrannheten i arbetsförfarandet och erhållna resultat bör därför vara i paritet med vad som uppnås i laboremiljö, d v s 5 - 10% av uttagen effekt.

Den framtagna provningsmetodiken skall även vara möjlig att genomföra vid ett mättekniskt förfarande i lab. miljö. Det inses dock att en avsevärd arbetsinsats krävs för att genomföra det föreslagna provprogrammet genom enbart mätning.

Med ett väl avvägt och systematiskt förfarande, kan matematiska modeller härledas för de flesta komponenter som ingår i en abonnentcentral. Modellerna som avses att användas i detta arbete upprättas för värmeväxlare, regulatorer, ställdon etc. Modellerna beskrivs med hjälp av klassiska samband inom värmeöverföring, hydraulik och reglerteknik. En modell för en specifik komponent är efter genomförd validering giltig tills dess att komponenten modifieras eller att dess användningsområde förändras. Giltigheten bedöms utifrån uppställda krav på överensstämmelse mellan modell och fysikalisk komponent inom dess arbetsområde.

Karakteristiskt för abonnentcentralen är att den skall arbeta inom ett mycket brett lastområde. Vid vinterfallet utsätts radiatorsystemet för en stor belastning under relativt kort tid, medan sommarfallet karakteriseras av enbart ett tappvarmvattenbehov.

Det dynamiska beteendet i lasten varierar också avsevärt. Tappvarmvattensystemets dynamiska variationer sker momentant och med en stor slumpmässighet, medan radiatorsystemet utsätts för mycket långsamma variationer som förorsakas av förändringar i utetemperatur. Denna lastvariation accentueras av fjärrvärmensätets varierande temperaturer och differenstryck. Ytterligare en komplikation är den olinearitet som finns inneboende i de termodynamiska och hydrauliska processerna i de enskilda komponenterna, t ex värmeväxlare. Sammantaget ställer detta stora krav på arbetet i samband med dimensionering, injustering av reglersystemet samt analys och bedömning av abonnentcentralens prestanda.

2 OMFATTNING

Detta förslag avses att tillämpas på de produkter som förekommer i abonnentcentraler avsedda för fjärrvärmesystem. Med produkter menas här värmeväxlare och reglerutrustningar. (På sikt omfattas eventuellt även värmemätare, flödesbegränsare och differenstryckregulatorer.)

Förslaget omfattar ej abonnentcentraler med ackumulerande systemkopplingar.

Med hänvisning till den indelning av olika provningar som bl a görs i Svensk Standard SS-ENV 305 [Ref 12], har vi valt en klassificering med följande tre kategorier:

- typprovning av nya produkter
- acceptansprovning av nya produkter
- prestandaprovning av produkter i drift,

där

- typprovning innebär provning av serie- eller massproducerade nya produkter vilka är avsedda för användning i fjärrvärmesystem.
- acceptansprovning innebär provning av såväl massproducerade eller specialbyggda nya produkter. Provet genomförs ofta som en leveranskontroll.
- prestandaprovning vanligen innebär undersökning av produkten på fältet.

Detta förslag avses att i första hand gälla kategorin "typprovning av nya produkter", men huvuddragen i provningsmetodiken skall även kunna tillämpas på acceptansprovning och prestandaprovning på fältet.

Provningen innebär undersökning av *funktion och lastföljsamhet* samt *termodynamiska och hydrauliska prestanda*. Med funktion och lastföljsamhet avses abonnentcentralens/produktens förmåga att tillhandahålla värme och varmvatten för alla lastsituationer som den är dimensionerad för. Med prestanda avses att göra en bedömning av hur effektivt abonnentcentralen levererar värme och varmvatten vid varierande lastsituationer.

3 FÖRUTSÄTTNINGAR

3.1 Driftförutsättningar

Vid dimensionering av abonnentcentraler (AC) används olika förutsättningar, dels beroende på var abonnentcentralen är geografiskt belägen och dels utifrån de förutsättningar som tillverkaren av utrustningen har antagit gälla. För att kunna genomföra generella studier måste dessa förutsättningar vara definierade, d v s hur AC kommer att samverka med omgivningen, fjärrvärmenätet, stadsvattnet samt värmeförbrukaren.

Inom provprogrammet studeras endast de för abonnentcentralfunktionen viktigaste och ur dimensioneringssynpunkt besvärligaste lastfallen. Extra vikt kommer att läggas vid bedömning av lastföljsamhet i tappvarmvattensystemet. Klarar systemet bedömningskriterierna vid dessa lastfall, kommer systemet med största sannolikhet även att klara övriga lastsituationer.

De lastfall som AC skall undersökas vid, måste vara förankrade i verkligheten och avspegla de besvärligaste driftsituationerna som kan uppstå. Lastfallen måste samtidigt vara inom ramen för vad tillverkare av komponenter och prefabricerade system anser vara rimliga. *De övergripande driftförutsättningarna skall därför inför varje provning av en produkt eller ett system anges av tillverkaren.*

3.2 Avgränsning i provprogrammet

Avgränsningen omfattar temperaturer och tryck samt förmåga att hantera dynamiska driftförhållanden. Flöden bestäms utifrån de dimensionerande förutsättningar som anges av tillverkare.

3.2.1 Fjärrvärmenätet

Flertalet fjärrvärmesystem i Sverige arbetar med temperaturnivåer i framledningen som ej överstiger 120°C. Fjärrvärmenäten är genomgående dimensionerade för ett maximalt tryck av 16 bar. Generellt kan också sägas att lägsta teoretiskt förekommande temperatur på fjärrvärmesidan är 5°C. Tillsammans med rekommendationerna från Svensk Byggnorm (SBN), Boverket och Värmeverksföreningen (VVF), spänner ovan angivna temperaturer upp det tänkta arbetsområdet för en AC [Ref 8 och ref 11].

Beträffande dynamiska förlopp, kan två typer av dessa förekomma i fjärrvärmenätet. Dels de mycket snabba, fluida transienterna som passerar genom AC obemärkta av reglerutrustningarna. Dels de långsamma förloppen som varierar i takt med utetemperaturens variation. Endast den senare typen omfattas i detta provningsförfarande.

3.2.2 Radiatorsystemet

Radiatorsystemet skall leverera värme vid dimensionerande utetemperatur (DUT). Med en dimensionering av radiatorsystemet enligt VVF:s rekommendationer kommer fram- och returtemperaturer att följa de angivna temperaturprogrammen, se exempel i bilaga 1. För äldre bebyggelse tillämpas idag SBN - 67 med temperaturprogrammet 100-65/80-60°C för radiatorsystemet (Tidigare tillämpades 120-65/80-60°C.). För nyare bebyggelse tillämpas SBN - 75 med temperaturprogrammet 100-50/60-45°C.

Detta innebär att högsta förekommande temperatur i radiatorsystemen är 80°C, medan den lägsta temperaturen definieras av rumstemperaturen, d v s ca 20°C. De dynamiska förlopp som kan förekomma i systemet bedöms vara av underordnat intresse för de aktuella typerna av provobjekt.

3.2.3 Tappvarmvattensystemet

De belastningar som tappvarmvattensystemet utsätts för sker på ett slumpmässigt sätt. Tappvarmvattenlastens förändringar beror både typ av förbrukare (bostad, hotell, kontor etc) och förbrukarens storlek.

Under den senaste tiden har de dimensionerande förutsättningarna diskuterats och modifierats. Dels har temperaturen i vattenvärmaren höjts från 50°C till 55°C. Detta innebär att numera tillämpas som dimensionerande temperaturprogram 65-25/55-5°C. Dels har nya förslag framtagits vad gäller dimensionerande tappvarmvattenflöde, se bilaga 1.

Avgränsningen av temperaturer i tappvarmvattensystemet är således tappvarmvattentemperaturen 55°C och kallvattentemperaturen, ca 5°C.

I och med att flödesförändringar sker momentant på förbrukarsidan uppstår ofta transienta förlopp. Det dynamiska beteendet hos både flöden och temperaturförlopp bedöms vara av betydande intresse.

3.3 Rådande förutsättningar vid dimensionering och injustering

Dessa förutsättningar och anläggningsbeskrivningar erfordras inför varje undersökning enligt vad som sagts i moment 3.1.

3.3.1 Fjärrvärmenätet

Tappvarmvattensystemen eller de prefabricerade abonnentcentralerna är dimensionerade för ett visst bostadsbestånd under givna nätförhållanden. Gränserna, inom vilket område abonnentcentralen avses fungera, anges av tillverkarna. Nätförhållandet definieras av nättemperaturerna och differens-

trycket som funktion av utetemperaturen. Beskrivningen skall omfatta minsta erforderliga differenstryck som antagits vid dimensionering.

3.3.2 Radiatorsystemet

Tillverkarna skall ange vilken typ av radiatorsystem som abonnentcentralen är avsedd för. Denna beskrivning omfattar de sekundära temperaturerna och uttagen effekt vid en viss utetemperatur. Den angivna informationen omfattar möjliga konfigurationer av radiatorsystem.

3.3.3 Tappvarmvattensystemet

Även här skall dimensioneringsförutsättningarna anges. Dessa utgörs av maximalt tappflöde samt tappvarmvattentemperatur. Den metod som använts vid injustering av tappvarmvattenregulatorer skall också anges, samt hur VVC-flöde anslutits och injusterats. Det skall också anges vid vilken utomhustemperatur injusteringen är tänkt att genomföras.

4 PROVPROGRAM

Provningen omfattas av fyra olika moment som kan genomföras separat:

- Prov av enbart värmeväxlare (VVX)
- Prov av enbart reglerutrustningar
- Prov av tappvarmvattensystem (En VVX + ett reglersystem)
- Prov av komplett abonnentcentral (Flera VVX + flera reglersystem)

De två första momenten kan behandlas på två olika sätt: Dels som enskilda funktions- och kvalitetskontroller av VVX respektive reglerutrustningar. I detta fall skall produktens beteende jämföras med vad tillverkaren utlovar och utvärderas därefter. Dels kan provningen betraktas som en validering och identifiering av komponenterna för ett fortsatt eller framtida modelleringsarbete. Arbetet med valideringen av varje modell görs för att bekräfta att allt stämmer och är ytterst väsentlig. Detta arbete bör göras i lab. miljö.

De två följande momenten utgör provning av kompletta system. Dessa moment förutsätter, om proven skall ske i datormiljö, att en validering har skett av de ingående komponenterna.

4.1 Prov av VVX

Prov genomföres enligt provstandard ENV 1148 och VVF:s Tekniska bestämmelser nr 114 [Ref 5 och ref 10]. Dessa prov kan genomföras i lab. samt utvärderas och bedömmas på samma sätt som skett tidigare.

Om prov genomföres i valideringssyfte, måste även VVX dynamiska beteende undersökas. Detta provmoment ingår ej i ENV 1148 och måste läggas till eventuellt tidigare genomförda prov. Dessa provpunkter beskrivs i 5.1.1. De kompletterande proven bedöms kunna genomföras i tillverkarnas egna laboratorium eller på annan provplats. Avgörande för detta är vilken noggrannhet i mätningarna (både statiska och dynamiska) som en provplats kan uppvisa.

4.2 Prov av reglerutrustningar

Prov genomföres med den enskilda reglerutrustningen för validerings- och identifieringsändamål. Vid provningsförfarandet kan regulatorn antingen ingå som enda fysiska komponent i provningen och är då kopplad genom analog/digital-omvandlare till det simulerade systemet, (s k "hardware in the loop") eller som simulerad komponent. De övriga komponenterna i utrustningen (ställdon, reglerventil och givare) beskrivs alltid med matematiska modeller. Dessa prov kan genomföras överallt där en dator med lämplig kringutrustning i form av I/O-moduler finns. Provningen genomförs sedan i datormiljö.

En förutsättning för detta arbetssätt är att modellerna som använts har validerats. Denna jämförelse mellan modell och komponent kan ske hos tillverkaren eller på annan plats.

Provingen av reglerutrustningarna genomförs i analogi med VVX-provningen. Provprogrammet kommer att innehålla försök vid olika driftfall och med stegsvarmetoden fastställa utrustningens funktion vid olika parameterinställningar. Provprogrammet skall på samma sätt som för en enskild VVX, även kunna tillämpas i lab. miljö.

4.3 Prov av enskild VVX med reglerutrustning

Denna provning avser i första hand tappvarmvattensystemet. Detta utsätts för de största dynamiska påkänningarna i abonnentcentralkopplingen och det kan därför vara rimligt att prova detta system enskilt. Provingen kan liknas med den parallellkopplade (1-steps) abonnentcentralens tappvarmvattensystem under varierande driftförhållanden. Genomförandet är detsamma som för den enskilda reglerutrustningen.

Provprogrammet som genomförs är detsamma som för kompletta system, se avsnitt 4.4, dock utan bidrag från radiatorsystemet.

4.4 Prov av komplett system

Provingen genomförs i syfte att utvärdera den kompletta abonnentcentralen. Proven utgörs av statiska beräkningar med klimatpåverkan under ett helt år och av dynamiska beräkningar för extremlastningarna.

Två utvärderingar är av intresse, dels systemets termiska prestanda (effektivitet) och dels dess lastföljsamhet (komfort).

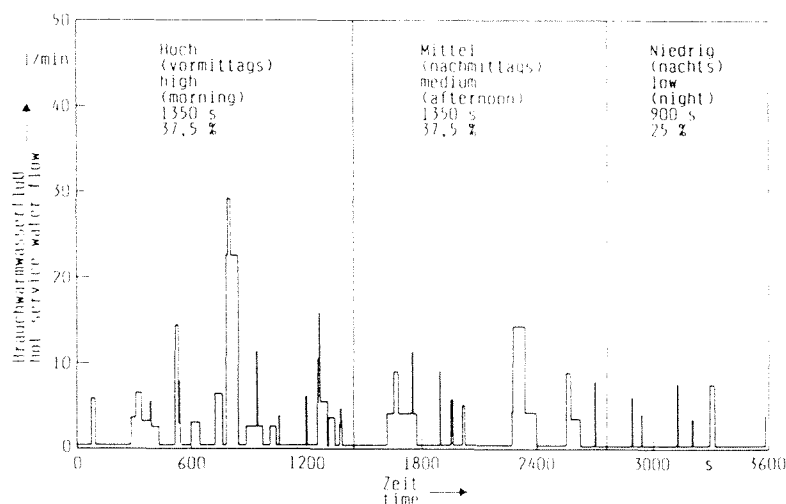
4.4.1 Termisk prestanda

För att undersöka abonnentcentralens termiska prestanda förefaller det logiskt riktigt att utvärdera denna vid naturliga driftförhållanden, dvs under ett klimatiskt år. Från det klimatiska året fås radiatorsystemets lastområde. Tappvarmvattensystemets årsvariationer är små, men däremot är lastförändringarna momentana och har en betydande variation under dygnet. Då abonnentcentralens termiska prestanda varierar med tappvarmvattenförbrukningen, får detta till följd att även den varierande tappvarmvattenförbrukningen bör ingå i utvärderingen av termisk prestanda.

Två olika förfaranden kan då användas för utvärdering av termisk prestanda med avseende på tappvarmvattenförbrukningens variationer.

Ett sätt att utvärdera är att använda ett tappvarmvattenflöde som förändras i enlighet med den aktuella förbrukaren. En närmare granskning av tappvarmvattenflödets tidsvariationer visar att flödet har en periodicitet av 24 timmar. På natten sker en mycket liten förbrukning, låglast. Morgontimmarna utgör höglastfallet, så även kvällstid. Eftermiddagen kan karakteriseras som medellastfallet. För att genom simulering beräkna en termisk prestanda som direkt kan jämföras med en årsmätning för en anläggning i drift, måste beräkningen genomföras vid alla förekommande utetemperaturer. För varje utetemperatur görs simuleringen därför *kontinuerligt under dygnets 24 timmar* med en tappvarmvattenlast som motsvarar den verkliga. Den tid som krävs för att genomföra denna provning blir hög såväl simulerad som i traditionella mätningar i lab.

Det andra sättet att utvärdera den termiska prestandan under hela året, är att för varje utetemperatur driva tappvarmvattensystemet med en lastcykel bestående av *tidsavsnitt* från de olika tidpunkter under dygnet där olika tappintensiteter förekommer. Dessa tidsavsnitt upptar den procentuella andelen motsvarande den tid dessa fall upptar under dygnet, se [Ref 14]. En simulerad last med en kombination av lastsituationer från olika tidsavsnitt framgår ur figur 1. Detta sätt att fastställa den termiska prestandan kräver en mindre tidsåtgång än det första sättet.



Figur 1:
Simulerad tappvarmvattenlast.

Sammanfattningsvis föreslås provningen av termisk prestanda omfatta ett helt klimatiskt år med alla förekommande utetemperaturer. Detta ger då lastområdet för radiatorsystemet, samt inkommande fjärrvärmetemperatur och differenstryck. Till detta läggs en tappvarmvattenlast bestående av tidsavsnitt från tidpunkter under dygnet där olika tappintensiteter förekommer, enligt exempel i figur 1. Simuleringen genomförs med ett system som är dimensionerat enligt tillverkarens rekommendationer och angivna förutsättningar.

4.4.2 Lastföljsamhet

Avsikten med detta provmoment är att bedömma hur den aktuella AC klarar att reglera tappvarmvattentemperaturen under alla driftförhållanden. Provmomentet kan genomföras som "hardware-in-the-loop" med den fysiska regulatorn kopplad till det simulerade systemet. Alternativt kan regulatorn beskrivas med hjälp av en matematisk modell. Provningsen skall därför vara så specifierad att det framgår ur resultatet om rekommendationerna klaras under alla förekommande driftförhållanden.

Testet har till uppgift att utvärdera tappvarmvattensystemets lastföljsamhet under de svåraste driftsituationerna som kan uppstå under året. Det är därför endast nödvändigt att utsätta systemet för dessa lastfall.

Mätningar, simuleringar och tidigare studier [Ref. 4] har visat att tre fall under året är av särskilt intresse för att studera lastföljsamheten. Det första lastfallet inträffar vid lägsta utetemperatur, d v s vid den högsta värmeeffekten i radiatorsystemet. Det andra lastfallet inträffar vid minsta "pinch point", d v s vid den minsta temperaturskillnaden mellan primär fram- och returtemperatur. Förekommer flera sådana arbetspunkter väljs den vid lägsta förekommande utetemperatur. Det tredje lastfallet inträffar då inget bidrag från radiatorsystemet erhålls.

För att undersöka abonnentcentralens lastföljsamhet bör följande faktorer studeras:

- val av dimensioneringsunderlag
- dynamisk karakteristik
- inverkan på VVX
- inverkan på förbrukare

Val av dimensioneringsunderlag

Beträffande val av *dimensioneringsunderlag* skall detta anges av tillverkaren. Det är väsentligt att fastställa utgångsvärden för temperaturer, varmvattenflöden och även storleken på flödet för varmvattencirkulationen (VVC) inför utvärderingen.

Dynamisk karakteristik

För den *dynamiska karakteristiken* konstateras att tappvarmvattenlasten innefattar tre störmoment. De tre momenten omfattar systemets beteende vid VVC-flöde, vid systemets största termiska tröghet och transporttidsfördröjning samt vid maximalt kapacitetsbehov. Samtliga driftsfall kan undersökas med en och samma lastcykel.

Inverkan på VVX

Tappvarmvattenlasten som används skall *påverka VVX* med variationer som är maximalt ogynnsamma för värmeväxlaren med avseende på termisk

prestanda och dess samspel med reglersystemet. Testet kommer att ge svar på när och vilka temperaturopppar som förekommer i VVX, samt vilken varaktighet dessa har.

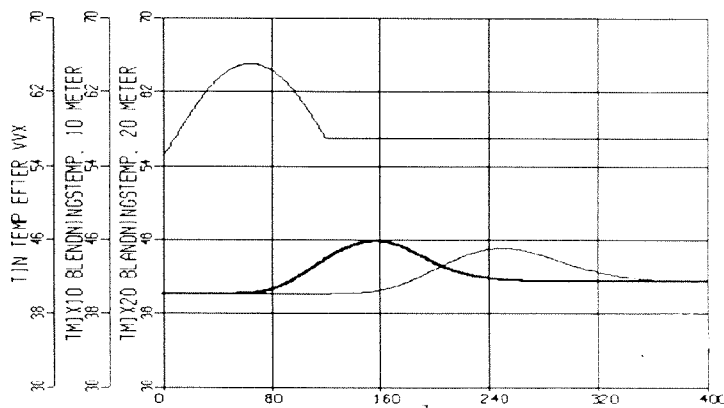
Inverkan på förbrukare

Inverkan på förbrukare omfattar hur AC uppfyller komfortkraven. För att bedömma detta har vi utgått från den Finska Värmeverksföreningens rekommendationer [Ref 7] som säger att:

1. Kvarstående felet under stationära förhållanden skall vara $\leq 2^{\circ}\text{C}$.
2. Största tillåtna momentana temperaturavvikelsen skall vara $\leq 10^{\circ}\text{C}$, då belastningsförändringen motsvarar till storleken 50% av den reglerade processens största effekt.
3. Den största tillåtna temperaturpendlingens amplitud skall vara $\leq 2^{\circ}\text{C}$. Bestående vaggning är ej tillåten då belastningen är större 30% av den reglerade processens största effekt.
4. Den största tillåtna tiden från förändringens början till den stund då temperaturen uppfyller punkt 1 skall vara ≤ 120 sekunder.

Till detta skall läggas VVF:s krav på att tappvarmvattentemperaturen ut ur VVX inte får överstiga 65°C mer än under högst 10 sekunder [Ref 9].

Om man tar dessa rekommendationer och studerar effekterna vid tappstället för en belastningsändring som motsvarar en minskning av flödet med 50% av maximal kapacitet fås temperaturvariationer enligt figur 2. Den övre kurvan beskriver temperaturen ut ur VVX, medan de två undre kurvorna beskriver temperaturen vid ett tappställe 10 m respektive 20 m från VVX.



Figur 2:

Tappvarmvattentemperaturen efter VVX, samt tappställets blandningstemperatur 10 och 20 meter från värmeväxlaren. (Maximal temperatur med varaktighet enligt [Ref 7].)

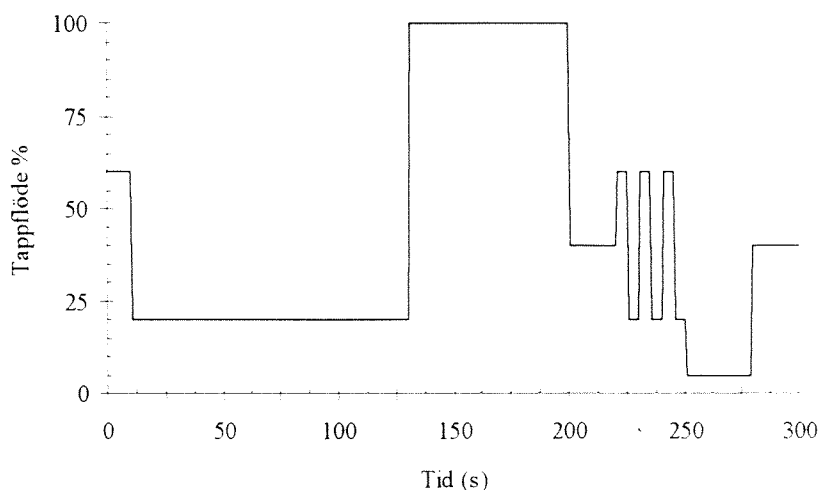
Temperaturen ut från den tänkta VVX har vid beräkningen lagts precis på gränsen av tillåtna värden enligt [Ref 7]. Den tänkta blandningstemperaturen är från början 40°C och temperaturen från växlaren är 55°C . Rörets

innerdiameter är 30 mm, materialet är koppar, godstjockleken är 2 mm och belastningsändringen sker från 20 till 10 liter/min.

Samma inställningsvärden måste bibehållas under testet. Detta ställer stora krav på reglerutrustningen då flera olika lastsituationer provas (t ex varierande framledningstemperatur och differenstryck under året). I punkt 2 i de finska rekommendationerna anges ej vad sluttillståndet i flödet skall vara vid testet. Med andra ord har ej kravet på minsta flöde angivits. Detta kan innebära att tappvarmvattenflödet t ex kan ändras från 55 % till 5 % av dimensionerande flöde, vilket är ett mycket tufft lastfall p g a termisk tröghet och transporttidsfördröjning i VVX och rör.

Vi föreslår ett kompletterande provprogram som tar hänsyn till de olika lastfallen och som utformas med hjälp av en syntetisk tappvarmvattenlast enligt figur 3. Den syntetiska lasten innehåller först en minskning av tappflödet från 60 % till 20 %. Detta fall medför ofta svårigheter för reglersystemet då den termiska trögheten i kombination med transporttidsfördröjningar i VVX gör sig gällande. En utvärdering av lastföljsamheten enligt den finska modellen kan låta sig göras för denna första belastningsändring.

Därefter följer en tappning som utgör maximalkapacitetsfallet. Sedan följer en serie snabba tappningar vid medelnivå. Dessa tappningar är vanliga och motsvaras intensitetsmässigt av tappningar för handtvätt/disk. Efter 250 sekunder genomförs ett test av stabiliteten vid enbart VVC-flöde. Slutligen görs ett test på tappning från nollnivå till medelnivå.



Figur 3:
Syntetisk tappvarmvattenlast

Sammanfattningsvis föreslås att provningen av lastföljsamheten undersöks vid ett fåtal driftsfall med en syntetisk tappvarmvattenlast enligt figur 3. De driftspunkter som föreslås är följande tre värmelastfall:

- vid högsta värmeeffekt i radiatorsystemet
- vid minsta skillnad mellan primär fram- och retur-temperatur (oftast vid den s k "brytpunkten")
- då radiatorsystemet är avstängt.

Simuleringen genomförs med ett system som är dimensionerat enligt tillverkarens rekommendationer och angivna förutsättningar.

4.5 Kriterier för utvärdering av provresultat

4.5.1 Termisk prestanda

Ett flertal utvärderingsmått är möjliga att använda. Måttet eller måtten skall utvärderas i ett antal punkter. Exempelvis kan utvärderingen ske vid alla förekommande utetemperaturer och redovisas vid dessa eller sammanvägt över den totala perioden. Detta kräver som tidigare nämnts, en noggrann beräkning av tappvarmvattensystemets beteende, se 4.4.1. Ett alternativ är att släppa kravet på kvantitativ överensstämmelse med verkligheten. Det är då möjligt att utvärdera även den termiska prestandan med den tidigare beskrivna syntetiska tappvarmvattenlasten.

Måttet eller måtten som kan användas vid utvärderingen kan t ex vara *graddtidalet* [Ref 6], *abonnentcentralens temperaturverkningsgrad* [Ref 1] eller *returtemperaturen* till produktionsanläggningen. För samtliga mått förutom graddtidalet skall en viktning med exempelvis primärflödet göras. De mest naturliga måtten är kanske graddtidalet och returtemperaturen.

Genom användning av graddtidalet kan en ekonomisk värdering av temperaturnivåns inverkan genomföras av samtliga energiverk oberoende av produktionsmix. Måttet kan även användas vid utvärdering av ett mindre antal provade punkter. Vi föreslår därför graddtidalet som utvärderingsmått i första hand. Detta definieras som :

$$G = \sum_{i=1}^{i=8760} \frac{T_{pin}^i + T_{put}^i}{2} - T_{ute}^i$$

där

- i = timme i av årets 8760
- T_{pin}^i = primär framtemperatur °C vid timme i
- T_{put}^i = primär returtemperatur °C vid timme i
- T_{ute}^i = utetemperatur °C vid timme i

För att göra provresultaten än mer verklighetsanknutna föreslår vi att även den flödesviktade returtemperaturen redovisas för de genomförda proven.

Det tredje alternativet är som tidigare nämnts, att använda den flödesviktade temperaturverkningsgraden. I detta fall betraktar man abonnentcentralen som en mot- eller tvärströmskopplad värmeväxlare. Fördelen med detta mått är att man kan, på samma sätt som med returtemperaturen, redovisa värden som funktion av utetemperaturen. D v s abonnentcentralens beteende framgår vid varje enskild utetemperatur. Temperaturverkningsgraden ϵ_t definieras som:

$$\epsilon_t = \frac{\delta_p}{\Delta} = \frac{T_{pin} - T_{put}}{T_{pin} - T_{kall}}$$

där T_{kall} = Inkommande kallvattentemperatur i °C.

Den viktning av prestandamått som skall genomföras sker enligt det arbetssätt som finns beskrivet av Råberger m fl [Ref 17]. Detta innebär t ex att den primärflödesviktade temperaturverkningsgraden vid en viss utetemperatur beräknas som:

$$\bar{\epsilon}_t = \frac{\int_0^{t_{max}} \epsilon_t * VP \, dt}{\int_0^{t_{max}} VP \, dt}$$

där VP = Primärflöde i l/s.

4.5.2 Lastföljsamhet

Utvärderingen kan som förslag genomföras enligt den Finska Värmeverksföreningens modell med motsvarande krav på insvängningstider och maximalt tillåtna temperaturavvikelser. I dessa rekommendationer framgår dock ej under vilka förutsättningar proven skall genomföras (framlednings-, kallvatten-, tappvarmvattentemperatur samt differenstryck). Förutsättningarna måste således fastställas. De angivna begränsningarna får ej över- eller underskridas för något driftsfall.

Som ytterligare krav föreslås att temperaturen endast får avvika 5°C från rekommenderat värde i ett tänkt tappställe 10 meter från värmeväxlaren. Hänsyn har då tagits till varmvattenledningens värme-ackumulerande verkan samt transporttidsfördröjning i röret.

En definition av vilka krav som skall ställas på regleringen av temperaturen hos tappvarmvattnet bör formuleras.

Utvärderingsresultatet kan vara ej godkänd och godkänd. Omdömet väl godkänd ges i de fall då exceptionellt god lastföljsamhet uppvisas vid varierande framledningstemperatur, varierande differenstryck och tappvarmvattenflöde.

5 RESURSBESKRIVNING

5.1 Kravspecifikation för framtagande av valideringsunderlag

Provningen som beskrivs i denna rapport är i första hand tänkt att genomföras med hjälp av simuleringsmodeller. Det är då av största vikt att dessa modeller har en god överensstämmelse med de produkter som de avser att simulera inom komponenternas hela arbetsområde. Med god överensstämmelse menas i första hand det kvalitativa beteendet hos modellerna, i andra hand det kvantitativa. Denna goda överensstämmelse uppnås genom användning av ett systematiskt arbetsförfarande. Arbetsförfarandet med framtagande av matematiska modeller för komponenter tillhörande AC finns beskrivet i [Ref 1]. De komponenter som är aktuella i denna funktions- och kvalitetsprovning är i första hand:

- Värmeväxlare
- Temperaturgivare
- Regulatorer
- Ställdon
- Reglerventiler

Andra komponenter som senare kan komma ifråga är:

- Värmemängdsmätare
- Differenstrycktsregulatorer
- Flödesbegränsare

För att styrka en matematisk modells överensstämmelse med sin fysikaliska motsvarighet krävs mätningar inom komponentens avsedda arbetsområde. Om man kan styrka att komponenten i huvudsak har ett linjärt beroende krävs endast mätning i två skilda arbetspunkter/lastsituationer. Har komponenten ett olinjärt beroende krävs däremot mätningar inom samtliga arbetspunkter/lastsituationer. Genom en analys av det fysikaliska beroendet kan antalet arbetspunkter/lastsituationer reduceras. Detta gäller exempelvis värmeväxlaren.

Beroende på syftet med provningen av AC/Prefab kan omfånget av såväl mätinsatsen som modelleringsinsatsen variera avsevärt. Denna aspekt måste markeras tydligt av avnämarna av provningsinsatsen. I klartext avses således simuleringsresultatens signifikans och noggrannhet. *Skall provningen ge en kvalitativ eller en kvantitativ spegling av abonnentcentralens funktion under normala driftsbetingelser?*

Den kvalitativa aspekten avser huvudsakligen abonnentcentralens funktion med avseende på lastföljsamhet. Denna ställer mindre krav på valideringsunderlagets noggrannhet med avseende på systematisk avvikelse (stationära nivåer).

Den kvantitativa aspekten avser abonnentcentralens termiska prestanda. Beroende på ställda noggrannhetskrav mellan modellens överensstämmelse med det avbildade systemet, kommer kraven på noggrannhet av valideringsunderlaget att öka, liksom på tillverkarnas angivelse av tillverkningstolerans.

Ytterligare en aspekt tillkommer beträffande modellernas överensstämmelser, som har sin grund i abonnentcentralens breda arbetsområde. Man kan definiera arbetsområdet hos tappvarmvattensystemet som tre skilda processer:

1. Inget flöde (endast värmeledning)
2. Litet vattenflöde (laminär strömning)
3. Större vattenflöde (turbulent strömning)

Fall 3 är det fall som är mest aktuellt att studera. God noggrannhet vid validerande mätningar kan utan större svårigheter erhållas i detta område. Fall 2 kräver i regel en mycket god kontroll hos den som utför mätningen (t ex fås skiktade temperaturer) samt mätutrustning av hög kvalitet. Fall 1 utgör det svåraste mättekniska fallet på grund av systemets distribuerade natur (förlopp sker inne i komponenter).

Fall 1 kan jämföras med en felande VVC-pump och har liten betydelse med avseende på lastföljsamheten. Däremot kan fall 1 ge upphov till hög returtemperatur. Fall 2 kan ge upphov till periodiska pendlingar på grund av dåligt injusterad regulator. Dessa pendlingar kan ge upphov till erosion i reglerventilen med läckflöden som följd, samt förslitning av ventildonet med haveri som följd. Fall 1 och 2 ligger egentligen utanför AC:s normala funktion under drift, men kan uppenbart förorsaka vissa driftproblem. Skall dessa fall ingå i studien ger det upphov till en väsentligt utökad mät- och modelleringsinsats om kvantitativ överensstämmelse eftersträvas. Om endast en kvalitativ överensstämmelse eftersträvas kan man i stort sett bortse från mätningar i dessa regioner. Fall 3 är det vanligast förekommande och även det enklaste att uppnå såväl kvalitativ som kvantitativ överensstämmelse, där mätinsatsen kan sägas vara normal.

Det är dock viktigt att utifrån dessa aspekter diskutera vilken överensstämmelse som erfordras med tanke på mätinsatsens omfattning. Diskussionerna rör i första hand värmeväxlarna. Nedan följer en diskussion beträffande den mätinsats som vi föreslår bör genomföras för att generera identifierings- och valideringsunderlag för modelleringsinsatsen komponentvis.

5.1.1 Värmeväxlare

I detta avsnitt utgår vi från den provning som finns beskriven i ENV 1148. Som tidigare diskuterats innehåller funktionsprovning av AC/Prefab dynamiska förlopp. Detta innebär att valideringsunderlaget även måste

innehålla momentana laständringar i värmeväxlarens hela lastområde då temperatur- och tryckfallsberoendet är olinjärt. Detta för att generera lastkombinationer av förloppen på primär- och sekundärsidan, vilka ju är kopplade till varandra. Förlopp som transporttidsfördröjningar och termisk tröghet varierar avsevärt inom VVX:s arbetsområde.

I den Europeiska prestandan ENV 1148 har man valt att beskriva VVX:s arbetsområden genom temperatur- och flödeskombinationer. Avgränsningen beträffande temperaturer och massflöden är giltig för svenska förhållanden ("range 2 heating", "range 3 domestic warm water"). Samma avgränsning beträffande min- och maxtemperaturer kan gälla vid framtagande av valideringsunderlag för VVX. Antalet flödespunkter bör dock utökas. Vi anser att en utökning är nödvändig för att ett tillräckligt antal flödes- och temperaturvariationer skall kunna utgöra ett fullgott valideringsunderlag. Då provningen avser vatten/vatten-VVX, samt att det svagare fysikaliska beroendet utgörs av medietemperaturen och det starkare av flödet, är ett mindre antal temperatur- och ett större antal flödeskombinationer nödvändiga. Då flödesändringar dessutom ger upphov till en förskjutning av temperaturprofilen i värmeväxlaren kan temperaturkombinationerna hållas nere till ett minimum.

Med tidigare erfarenhet från framtagande av valideringsunderlag för VVX samt hur VVX-tillverkare själva arbetar, föreslås att provning av värmeväxlare genomförs enligt ENV 1148 med specificerade tillägg för korstestförfarandet i tabell 1 nedan.

Tabell 1a

Flödeskombinationer för valideringsmätningar.

Punkt #	Primärflöde % av max	Sekundärflöde % av max
F1	100	100
F2	100	50
F3	100	25
F4	100	10
F5	50	50
F6	50	25
F7	50	10
F8	25	50
F9	25	25
F10	25	10
F11	10	25
F12	10	10

Flödesändringarna i tabell 1a genomförs momentant och stegvis. Efter en genomförd stegändring av flödet skall då temperaturerna intagit stationärt tillstånd, en temperaturutjämningsperiod på minst 60 sekunder genomlöpas innan nästa flödesändring genomförs. Samplingsfrekvensen skall vara lägst 2 Hz.

Flödeskombinationerna i tabell 1a är ett minimum av driftfall som skall genomlöpas för olika nivåer av inloppstemperaturer på primär- och sekundärsidan enligt tabell 1b. Flera flödeskombinationer bör genomföras om så bedöms vara nödvändigt.

Temperaturerna i tabell 1b avser endast att åstadkomma nödvändiga variationer i vattnets medieegenskaper med avseende på temperaturberoendet. Då detta är av mindre betydelse än flödesvariationen skall provpunkt T2 väljas som ett minimum. Övriga kombinationer genomföres om så bedöms vara nödvändigt.

Tabell 1b:

Temperaturkombinationer på värmeväxlarens inlopp.

Prov #	Primär framtemp °C	Sekundär framtemp °C
T1	120	25
T2	100	25
T3	80	25
T4	65	25

5.1.2 Reglersystem

Reglersystemet består av ventil, ställdon, regulator samt temperaturgivare. I det tänkta arbetssättet för provningen beskrivs alla komponenter utom själva regulatorn av modeller. Injustering av regulatorn görs efter det förfarande som tillverkarna anger. Ingen modelleringsinsats blir därför nödvändig för regulatorn. Det återstår då endast tre komponenter tillhörande reglersystemet att modellera. Dessa komponenter kräver endast en mindre mätinsats för att avbilda. Då dessa komponenter tillhör reglerloopen är de stationära nivåerna av underordnad betydelse och det dynamiska beteendet av stor betydelse.

5.1.3 Regulatorer

Validering och identifiering av regulatoralgoritm genomförs med variation av parameterinställningar i kombination med exempelvis stegsvar, se [Ref 16].

5.1.4 Reglerventiler

I första hand är det ventilens karakteristik, d v s flödeskoefficienten som funktion av ventilläge, som i huvudsak beskriver ventilen. Kavitations-egenskaperna är även viktiga att undersöka. Förfarandet för framtagande av denna information är välkänd och beprövad. Inga krav på givarnas dynamiska beteende är nödvändig för framtagande av valideringsunderlag.

5.1.5 Ställdon

Ställdonens gångtid samt dess tryckberoende kan med enkla mätningar bestämmas. Ställdonets läge som funktion av regulatorsignal samt dödband och hysteres följer samma mönster. Svårigheterna att genomföra signifikanta mätningar för att identifiera och validera ställdonen är ringa.

5.1.6 Temperaturgivare

Då temperaturgivaren arbetar i vatten kan dess dynamiska beteende beskrivas med ett linjärt samband emedan värmeövergången från mediet till givare är stor i förhållande till värmeledningen i givaren. Två mätningar av stegsvaret i temperaturförändring mellan två nivåer är därför tillräckliga för att bestämma temperaturgivarens tidskonstant. Givarens statistiska karakteristik, utsignal som funktion av temperatur måste upprättas då de flesta temperaturgivarna har ett mycket olinjärt temperatursamband.

5.1.7 Givarnas noggrannhet vid valideringsmätningar

Den mätnoggrannhet som finns föreskriven i ENV 1148 är tillräcklig för en kvantitativ beskrivning av värmeväxlarnas stationära prestanda. Beskrivningen i ENV 1148 tar dock inte upp givarnas dynamiska beteende. Kännedom om flödesmätarnas och temperaturgivarnas tidskonstanter är nödvändig för att en kompensering för dessa skall kunna genomföras.

Den tillåtna mätosäkerheten hos de givare som används vid valideringsmätningar på komponenter i AC följer gränserna som anges i ENV 1148 med tillägg av angivelse av givarnas tidskonstanter. I tabell 2 framgår givarnas onoggrannhet med ovan angivna tillägg. Värdena förutom tidskonstanterna syftar på de stationära nivåerna. Vid de dynamiska mätningarna kan således en större mätosäkerhet tillåtas för absolutvärdet, medan det då ställs högre krav på givarens tidskonstant.

Tabell 2:

Tillåten mätosäkerhet vid valideringsmätningar.

Mätstorhet	Onoggrannhet	Tidskonstant
Temperatur	Upp till 100 °C ± 0.1 °K Över 100 °C ± 0.15 °K	1s $\pm 10\%$
Flöde	$\pm 2\%$ av avläst värde	2s $\pm 10\%$
Tryck	± 10 kPa	-
Tryckfall	$\pm 1\%$ av avläst värde eller 2 kPa (det största värdet gäller)	-
El-spänning	$\pm 1\%$ av avläst värde	0.2s $\pm 10\%$

5.2 Kravspecifikation för simuleringsmodeller

Jämförelsen mellan mätresultat och beräkningsresultat från simuleringsmodellerna genomförs komponentvis. Nedan beskrivs arbetsgången för själva valideringen och dess noggrannhetskrav.

5.2.1 Värmeväxlare

Mätresultatet från VVX-provningen är valideringsunderlaget. Mätresultatet filtreras med avseende på extremt avvikande mätpunkter, s k "outliers", samt givarnas tidskonstanter. Kraven på stationärt tillstånd av minst 10 sekunder före första belastningsändring skall beaktas. Mätningen skall bestå av följande storheter:

Tabell 3:

Värmeväxlarvalidering, mätdatafil.

Mätdatakolumn	storhet	beteckning	användning	enhet
1	Tid	T	kontroll	s
2	Primärflöde	V _{pm}	indata	m ³ /s
3	Sekundärflöde	V _{sm}	indata	m ³ /s
4	Primär inloppstemp.	t _{11m}	indata	°C
5	Primär utloppstemp.	t _{12m}	utdata	°C
6	Sekundär inloppstemp.	t _{21m}	indata	°C
7	Sekundär utloppstemp	t _{22m}	utdata	°C
8	Primärt tryckfall	DPP _m	utdata	Pa
9	Sekundärt tryckfall	DPS _m	utdata	Pa

Tillsammans med mätresultatets indata, tabell 3, matas simuleringsmodellen med samplingsfrekvensen. Under valideringen beräknas modellens kvalitetsmått för kontrolländamål. (m i variabelbeteckningen kännetecknar mätresultat, b kännetecknar simuleringsresultat). Kvalitetsmåttan beräknas sedan som medelavvikelsen under valideringsperioden. Det första måttet utgörs av det absoluta temperaturmedelfelet ATF. Måttet beräknas som absoluta skillnaden mellan uppmätt och beräknad uttemperatur från VVX primär- och sekundärsida. För varje tidssteg summeras avvikelsen för att sedan medelvärderas under valideringsperioden T_{max}, se tabell 4.

Tabell 4:

Medeltemperaturavvikelse.

Primärsidan	Sekundärsidan
$\overline{ATF}_p = \frac{\sum_{T=0}^{T=T_{max}} t_{12m} - t_{12b} }{T_{max}}$	$\overline{ATF}_s = \frac{\sum_{T=0}^{T=T_{max}} t_{22m} - t_{22b} }{T_{max}}$

ATF bör vara mindre än 2°C för god överensstämmelse under turbulenta förhållande. Det andra måttet utgörs av energibalansen på respektive sida av växlaren, se tabell 5. Ett rimligt krav är att energibalansen mellan:

primär- och sekundärsidan i modellen, likaväl som i mätningen, skall vara bättre än 5%. Detta kan uttryckas som $\Delta\dot{q}_b \leq \Delta\dot{q}_m \approx 5\%$.

Tabell 5:
Energibalanser.

Primärsidan	Sekundärsidan	Medelenergiavvikelse
$\dot{q}_{pm} = \frac{\sum_{T=0}^{T=T_{max}} V_{pm} \cdot (t_{11m} - t_{12m}) \cdot c_p \cdot \rho}{T_{max}}$	$\dot{q}_{sm} = \frac{\sum_{T=0}^{T=T_{max}} V_{sm} \cdot (t_{22m} - t_{21m}) \cdot c_p \cdot \rho}{T_{max}}$	$\Delta\dot{q}_m = \dot{q}_{pm} - \dot{q}_{sm}$
$\dot{q}_{pb} = \frac{\sum_{T=0}^{T=T_{max}} V_{pm} \cdot (t_{11m} - t_{12b}) \cdot c_p \cdot \rho}{T_{max}}$	$\dot{q}_{sb} = \frac{\sum_{T=0}^{T=T_{max}} V_{sm} \cdot (t_{22b} - t_{21m}) \cdot c_p \cdot \rho}{T_{max}}$	$\Delta\dot{q}_b = \dot{q}_{pb} - \dot{q}_{sb}$

5.2.2 Reglerventiler

Ventilkaraktistiken kontrolleras genom att från mätdatafilen beräkna flödeskaraktistiken med hjälp av differenstryck och flöde. Denna mätdatafil skall innehålla följande storheter, tabell 6:

Tabell 6:
Validering av ventilkaraktistik, mätdatafil.

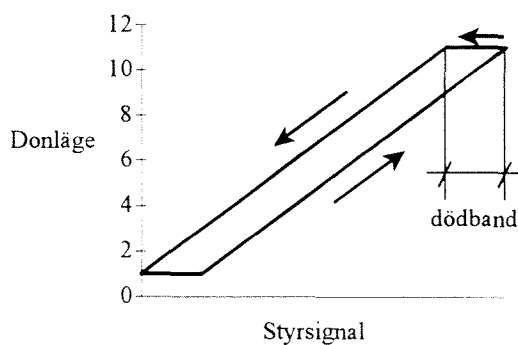
Ventilläge	Flöde	Tryckfall
%	m3/s	Pa
2	x	y
4	x	y
6	x	y
8	x	y
10	x	y
15	x	y
20	x	y
30	x	y
40	x	y
50	x	y
60	x	y
70	x	y
80	x	y
90	x	y
100	x	y

Beskrivningen av ventilkaraktistiken kan då med kännedom om ventilläget och den beräknade flödeskaraktistiken jämföras. Eftersom de flödesändringar som orsakas av reglerventilen verkställs momentant är dynamiken ej av intresse i detta fall. Felet mellan verklig och simulerad flödeskaraktistik ger upphov till ett fel i flödet av samma storleksordning. Därför bör det systematiska felet vara i samma storleksordning som hos flödet vid mätning. Då reglerventilen tillhör reglerkomponenterna kommer en avvikelse att ge upphov till ett temperaturfel, vilket kompenseras med en reglermanöver. Felet kommer i detta fall att vara av mindre betydelse.

Ett rimligt krav på maximalt tillåten differenstryckavvikelse mellan mätning och beräkning är 5 %.

5.2.3 Ställdon

Ställdonet karakteriseras av gångtid, dödband, glapp samt sambandet mellan insignal och donets läge. Gångtiden kontrolleras genom att belasta ventilen med det specificerade arbetsstrycket och från öppet eller stängt läge ge en startsignal. Gångtiden bestäms som den tid det tar för ställdonet att förflytta sig mellan extrempunkterna. En gångtid i vardera riktningen uppmäts. Förfarandet upprepas med obelastat don. Dödband och glapp är svåra att särskilja. I detta sammanhang betraktas dessa som en sammansatt företeelse. Dödbandet fås genom att lägga på en styrsignal i en riktning och variera denna långsamt i en riktning och därefter ändra riktning, figur 7. Donet kommer därvid att förbli stillastående tills dödbandets ändläge uppnås varpå det startar på nytt. Förfarandet genomförs i hela donets arbetsområde.



Figur 7:

Ställdonets läge som funktion av styrsignal med dödband.

Sambandet mellan styrsignal och donläge erhålles genom att variera styrsignalen från min till max och då samtidigt registrera donläget. I detta fall gäller samma resonemang beträffande noggrannheten som i fallet med reglerventilen.

5.2.4 Temperaturgivare

Temperaturgivarens dynamik är en mycket väsentlig storhet. Då det endast gäller givare som placeras i dykrör eller är monterade utanpåliggande, är det tilläckligt att beskriva dessa som första ordningens linjära system. Se vidare förklaring i [Ref 1]. Tidskonstanten erhålles genom att utsätta givaren för en stegstörning då den är placerad i sin rätta miljö, nedsänkt i en rörledning med omströmmande vatten eller monterad på ett rör med genomströmmande vatten. Framtagande av tidskonstanten finns beskrivet i bilaga 2. Samma resonemang beträffande noggrannheten som i fallet med reglerventilen gäller.

6 REDOVISNING AV RESULTAT

Avrapportering och utformande av provprotokoll skall ske enligt de riktlinjer som finns beskrivna i EN 45001, avsnittet "Test reports" [Ref 13].

Diagram och tabeller som härrör från mätningar eller simuleringar skall bifogas till redovisningstexten.

I redovisningen skall det framgå med vilken noggrannhet mät- eller simuleringsresultaten har framtagits.

Referensförteckning

1. GUMMÉRUS, P

Analys av konventionella abonnentcentraler i Fjärrvärmesystem.
Doktorsavhandling, Inst. f. Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola,
Göteborg, ISBN-91-7032-467-0. 1989.

2. WINBERG, A och WERNER, S

Avkylning av fjärrvärmevatten i befintliga abonnentcentraler.
Hetvattenteknik 272, Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, Stockholm.
1987.

3. HOLMBERG, S

Flow rates and power requirements in the design of water services.
Thesis, Statens Institut för Byggnadsforskning, Gävle. 1987.

4. WALLETUN, H

Provning av vattenvärmare och fastighetsaggregat.
Arbetsrapport ED-91/22, Studsvik AB. 1991.

5. Heat exchangers - Water to water heat exchangers for district heating -
Test procedures for establishing the performance data.
European Prestandard ENV 1148, CEN, Bryssel. 1993.

6. WERNER, S

Gradtidal för fjärrvärmedistribution, VVS 53(1982):2, s 63-64.

7. Rekommendation för abonnentens fjärrvärmeanläggning.

Abbonentcentralkommittén, Finska Värmeverksföreningen, Helsingfors.
1983.

8. Tekniska bestämmelser för leverans av fjärrvärme.

Blå serien nr 106, Värmeverksföreningen, Stockholm. 1993.

9. Handbok för värmeväxlare för fjärrvärme och installationer i
abbonentcentraler.

Blå serien nr 113, Värmeverksföreningen, Stockholm. 1993.

10. Provprogram för värmeväxlare och vattenvärmare i fjärrvärmesystem.

Blå serien nr 114, Värmeverksföreningen, Stockholm. 1993.

11. Krav på kall- och varmvatten i tappvatteninstallationer.

Boverkets byggregler BFS 1993:57, Karlskrona. 1993

12. Värmeväxlare - Definition av prestanda för värmeväxlare och generell
provningsrutin för att fastställa prestanda för all typer av värmeväxlare.

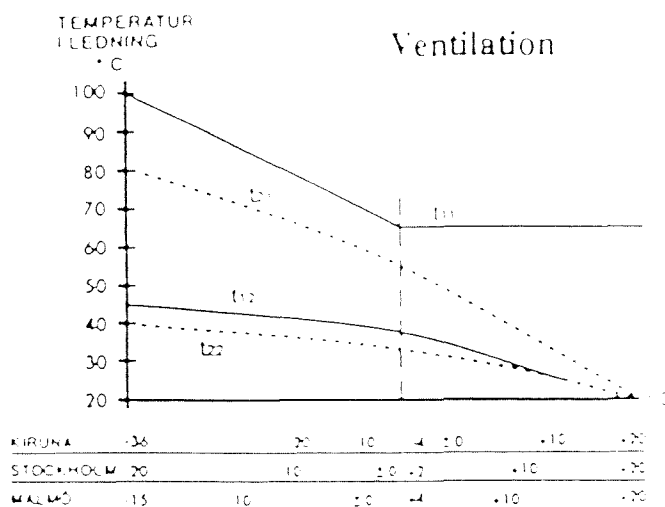
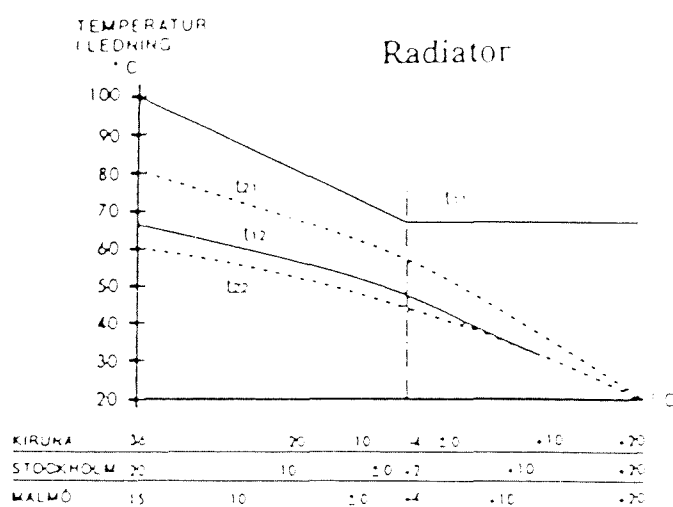
Svensk Standard SS-ENV 305, SMS, Sveriges Mekanstandarisering,
Stockholm. 1991.

13. Provningslaboratorier - Allmänna krav på verksamhet.
Svensk Standard SS-EN 45001, SMS, Sveriges Mekanstandarisering, Stockholm. 1990.
14. GUMMÉRUS, P
The performance of consumer substations.
Fernwärme international, H. 7/8, s. 398-410. 1991.
15. GUMMÉRUS, P
Analysverktyg för abonnentcentraler i fjärrvärmesystem. Intern rapport, AB Energiuppdrag. 1994.
16. HÄGGLUND, T
Praktisk processreglering.
Studentlitteratur, Lund, ISBN 91-44-31301-2. 1980.
17. RÅBERGER, L, GUMMÉRUS, P och WALLETUN, H
Prestandabestämning och förbättring av abonnentcentraler < 50 kW.
Hetvattenteknik 505, Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, Stockholm. 1994.

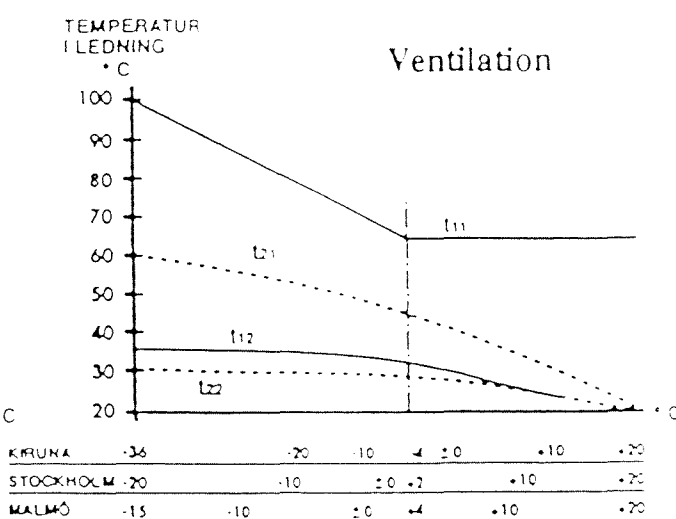
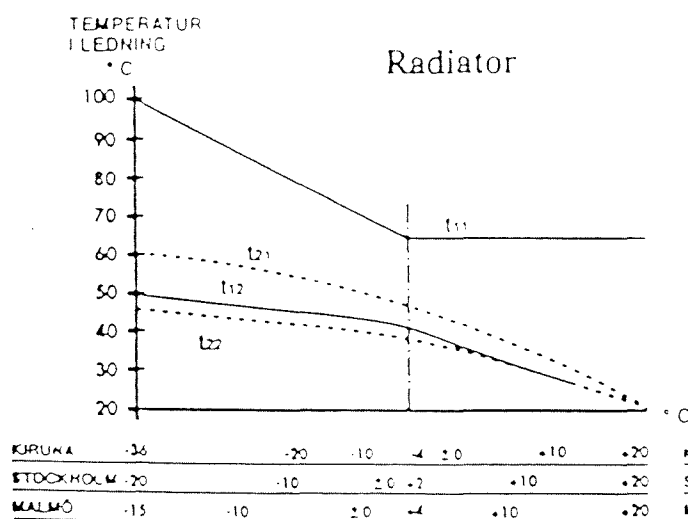
t_{11} = primär tillloppstemperatur t_{21} = sekundär tillloppstemperatur
 t_{12} = primär returtemperatur t_{22} = sekundär returtemperatur

Primär returtemperatur ska vara högst 5°C över sekundär returtemperatur

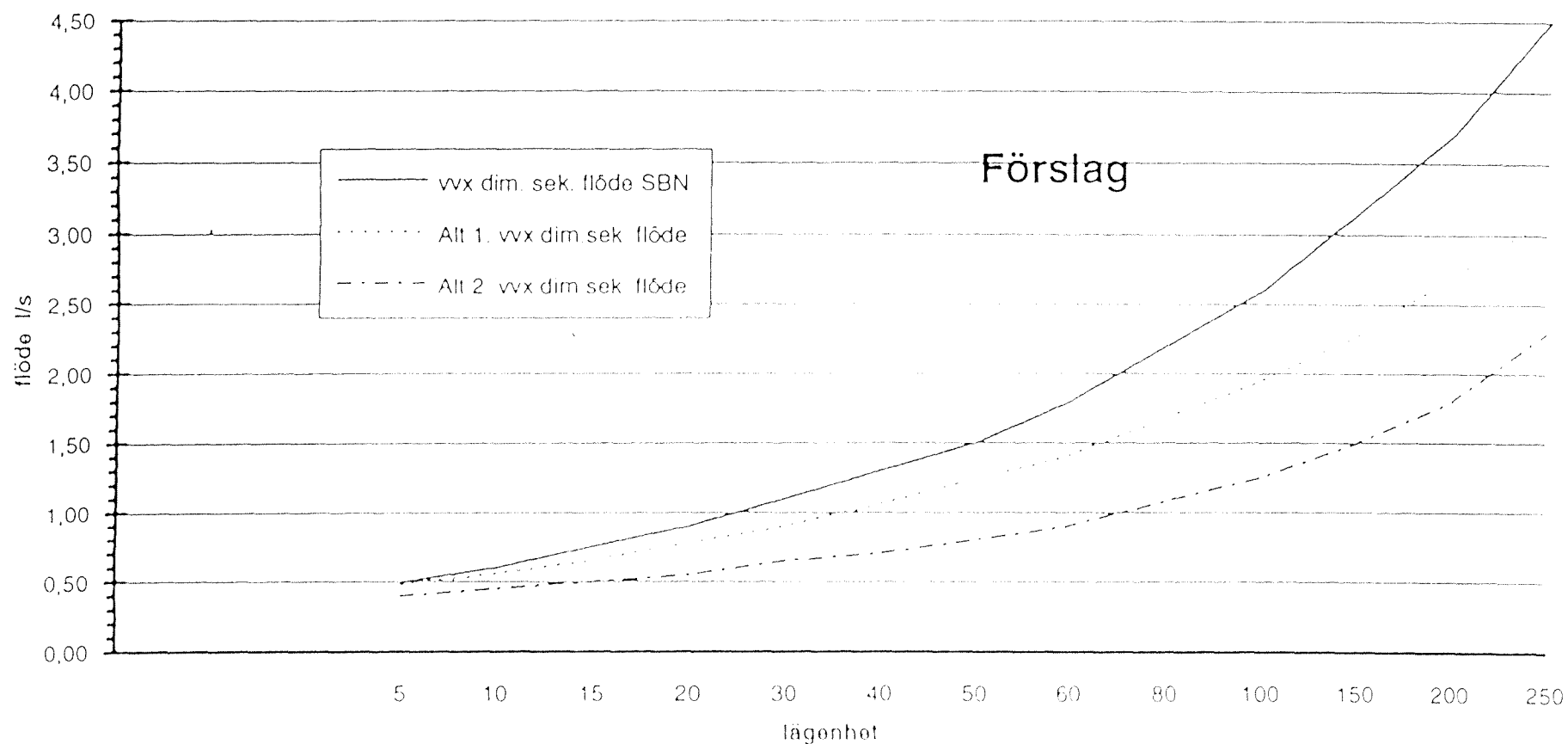
Hus byggda enligt SBN 1967 eller tidigare



Hus byggda enligt SBN 1975 eller senare



Dimensionering av värmeväxlare för tappvarmvatten diagram 2



Dimensionerande tappvarmvattenflöde, enl SBN (heldragen linje). Alternativ 1 är ett medelvärde mellan SBN och alternativ 2. Alternativ 2 är mätningar enligt Landis & Gyr. Enligt tidigare mätningar av exempelvis Holmberg [Ref 3] framgår att rimliga maxvärden ligger närmare alternativ 2 än den äldre normen enligt SBN.

ZW

ENERGITEKNIK

REPORT / RAPPORT ZW-95/04

**FUNKTIONS- OCH KVALITETSPROVNING AV
ABONNENTCENTRALER I FJÄRRVÄRMESYSTEM**

Del 2 - Demonstration av en provningsmetodik

Peter Gummérus och Håkan Walletun

**ZW Energiteknik AB
P. O. Box 137
S-611 23 Nyköping
Sweden**

**mph AB
Erik Dahlbergsg. 36
S-411 26 Göteborg
Sweden**

Maj 1995

SUMMARY

This report describes the work which was carried out in order to demonstrate a test procedure for consumer substations which are intended for district heating systems. The test procedure has been developed in 1994 by Peter Gummérus and Håkan Walletun on behalf of the consumer substation working group at the Swedish District Heating Association and of the Hot Water Distribution Group at the Swedish Thermal Engineering Research Institute.

The demonstration comprised a test according to the proposed testing procedure. The test was carried out in co-operation with a manufacturer of a prefabricated consumer substations. In this report the evaluation procedures at the different manufacturers of the composing components are described as well as results from simulations of the response behaviour of the consumer substation and its significance for efficiency and comfort.

Furthermore, the report contains a proposal for the layout of the test report according to the Standard EN 45001, also including the description of all the components integrated in the consumer substation.

FUNKTIONS- OCH KVALITETSPROVNING AV ABONNENT-CENTRALER I FJÄRRVÄRMESYSTEM

Demonstration av en provningsmetodik

Peter Gummérus, *mph AB*
Håkan Walletun, ZW Energiteknik AB

SAMMANFATTNING

Denna rapport redovisar det arbete som genomförts för att demonstrera ett föreslaget provprogram för provning av abonnentcentraler i fjärrvärmesystem. Provprogrammet utarbetades under 1994 av Peter Gummérus och Håkan Walletun på uppdrag av Svenska Fjärrvärme-föreningens Abonnentcentralgrupp och Hetvattengruppen i Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning.

I arbetet har ett prov genomförts på det sätt som föreslås i det ovan nämnda provprogrammet tillsammans med en tillverkare av prefabricerade abonnentcentraler (Prefab). Rapporten redovisar både genomförda mätinsatser vid berörda tillverkare samt modellerade och simulerade resultat av den undersökta abonnentcentralens egenskaper vad gäller effektivitet och komfort.

Rapporten innehåller också förslag till provprotokoll och redovisning av provobjektets ingående komponenter. Provprotokollet har upprättats på ett sådant sätt att EN 45001 uppfylles.

INNEHÅLL

	<u>Sid</u>
SAMMANFATTNING	2
1 BAKGRUND	4
2 BESKRIVNING AV ARBETSGÅNG	5
2.1 Ingående moment i provningen och simuleringen	5
2.2 Produktspecifikation	5
3 VALIDERINGAR	6
3.1 Värmeväxlare Cetetherm	6
3.1.1 Prov av värmeväxlare	6
3.1.2 Förutsättningar	6
3.1.3 Resultat	7
3.1.4 Slutstats	8
3.2 Reglerutrustning Landis & Gyr	10
3.2.1 Prov av reglerutrustning	10
3.2.2 Slutsats	14
4 PROGRAM OCH MODELLER	14
5 GENOMFÖRDA SYSTEMPROVNINGAR	15
5.1 Prov av enskild VVX med reglerutrustning	15
5.1.1 Förutsättningar	15
5.1.2 Resultat	16
5.1.3 Slutsats	18
5.2 Prov av komplett abonnentcentral	19
5.2.1 Förutsättningar	19
5.2.2 Resultat	20
5.2.3 Slutsats	22
6 PROVPROTOKOLL (Exempel)	23
Referensförteckning	25

1 BAKGRUND

Under 1994 genomfördes ett projekt där ett provprogram och en metodik för funktions- och kvalitetskontroll av värmeväxlare och reglerutrustningar utarbetades. Det genomförda projektets syfte var att upprätta ett tekniskt fullvärdigt och samtidigt kostnadseffektivt samt tidsbesparande sätt att prova prefabricerade abonnentcentraler (Prefab) jämfört med enbart laboratorieprovning. Detta skulle ske genom att utnyttja en blandning av test och datorsimuleringar. Det framtagna provprogrammet har utarbetats av Peter Gummérus och Håkan Walletun på uppdrag av Svenska Fjärrvärmeföreningens Abonnentcentralgrupp och Hetvattengruppen i Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning [Ref 1].

Provningsförfarandet har för avsikt att genom en kombination av mätning och matematisk modellering/simulering möjliggöra test av såväl lastföljsamhet (komfort) som termisk prestanda (effektivitet) för prefabricerade abonnentcentraler. Det föreslagna provningsförfarandet omfattar de flesta förekommande lastfall en abonnentcentral utsätts för under ett klimatiskt år, såväl extrema som vanligt förekommande.

Den 8 juni 1994 hölls ett informationsmöte på VVF för berörda tillverkare av värmeväxlare (V VX) och reglerutrustningar. Ett utkast till provprogram visades och det långsiktigt planerade arbetssättet redovisades. De närvarande var genomgående positiva till det presenterade provningsförfarandet och såg fram emot en första tillämpning under hösten.

I november 1994 fattades beslut om att en demonstration skulle genomföras av den framtagna provningsmetodiken. Denna rapport redovisar det arbete som genomförts för att demonstrera det föreslagna provningsförfarandet. Rapporten kan betraktas som ett appendix till [Ref 1], då hänvisningar sker på ett flertal ställen till kapitel och avsnitt i densamma.

Finansieringen för att genomföra detta projekt har skett med medel från TA Incentive Group, Landis & Gyr Building Control AB, Danfoss AB, Armaturjonsson AB, ELGE AB, Focus TMV-Värme AB, Cetetherm, Alfa Laval Industri AB, Swep/ReHeat AB, ABB Fjärrvärme, Svenska Fjärrvärmeföreningen samt Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning.

Därtill har ett flertal personer vid Cetetherm AB i Ronneby och Landis & Gyr Building Control AB i Huddinge ställt upp med både mantid och laborativa resurser som gjort arbetets genomförande möjligt. Vi vill tacka alla inblandade för gott samarbete.

2 BESKRIVNING AV ARBETSGÅNG

2.1 Ingående moment i provningen och simuleringen

Provningsmetodiken är uppdelad i fyra delar:

1. Prov av värmeväxlare, VVX
2. Prov av reglerutrustningar
3. Prov av reglerutrustning + värmeväxlare; lastföljsamhet
4. Prov av komplett abonnentcentral; termisk prestanda

Del 1 och 2 kan behandlas på två olika sätt: Dels som enskilda och fristående funktions- och kvalitetskontroller av VVX respektive reglerutrustningar. Då jämförs produktens beteende med vad tillverkaren utlovar och utvärderas därefter. Dels kan provningen betraktas som en validering och identifiering av komponenterna inför ett fortsatt eller framtida modelleringsarbete. Arbetet som beskrivs i denna rapport, avser det senare av de två sätten och redovisas under kapitel 3, Valideringar.

Del 3 och 4 utgör provning av system och systemfunktion. Dessa redovisas under kapitel 5, Genomförda systemprovningar.

2.2 Produktspecifikation

I detta arbete har även ingått att försöka utforma en enhetlig produktspecifikation. Denna har egentligen två uppgifter att fylla. Dels skall den beskriva en Prefab eller någon annan komponentkombination på ett sådant sätt att användaren känner igen produkterna med sina egna installationer eller upphandlingsunderlag. Men specifikationen skall även vara en beskrivning av produkterna som kan göra det möjligt att särskilja skillnader som kan uppstå i samband med produktutveckling.

Ett exempel kan vara ett ställdon som genomgår en produktutveckling så att gångtiden förändras och donet blir 10 sekunder snabbare, men utseendet på produkten i övrigt är detsamma. En sådan uppgift som påverkar hela Prefab-utrustningen beteende bör därför ingå i produktbeskrivningen.

Vi föreslår också att varje produkt som har validerats, redovisas med produktens tillverkningsnummer, se bilaga 2. Tillverkare av komponenter kan sedan vid förfrågan, svara på om någon produktförändring har inträffat för produkter med ett senare tillverkningsnummer.

Föreslagen produktbeskrivning återfinns för den undersökta Prefab-utrustningen i bilaga 1.

3 VALIDERINGAR

3.1 Värmeväxlare Cetetherm

Valideringsmätningar har genomförts vid Cetetherm AB i Ronneby den 15 februari. Därtill har kompletterande mätningar även gjorts i mars av Cetetherm AB. Mätningar enligt föreskriven metodik genomfördes på 2 st plattlödda värmeväxlare, CETEPAC 422-30 och 420-30.

Mätningarna från det första tillfället har använts för att fastställa värmeväxlarens dynamiska egenskaper. Mätningarna från det andra tillfället har fastställt de statiska egenskaperna.

3.1.1 Prov av värmeväxlare

Då värmeväxlarmodeller testas förutsätts det att dynamiska matematiska modeller som beskriver värmeväxlarens temperaturtröghet (temperatur-dynamik), stationära förhållanden samt tryckfall är framtagna. Undersökningsområdet bestäms av vad tillverkaren anser vara maximal kapacitet för VVX under givna fjärrvärmeförhållanden. Därvidlag anges maximala och intemperaturer samt maximalt tillåtna tryckfall (alternativt anges flödet som ger maximalt tryckfall).

Modellerna provas genom att mätdata på aktuellt provobjekt registreras på en av tillverkaren föreslagen provplats. Mätningarna genomförs i form av ett sk korstest. Undersökning av mätdata genomförs enligt föreslagen provningsmetodik [Ref 1, sid 21-22, 24] och värmebalanser på primär- och sekundärsidan beräknas [Ref 1, sid 25]. Det förutsätts att mätsystem med erforderlig noggrannhet har använts [Ref 1, sid 23].

Därefter studeras temperatur- och differenstrycksamband genom att modellen av VVX matas med primärt och sekundärt flöde samt inloppstemperaturer på respektive sida. Jämförelser mellan uppmätta och beräknade uttemperaturer kan därefter göras, för att bedömma modellens överensstämmelse med provobjektet.

3.1.2 Förutsättningar

Maximala flöden valdes så att tryckfallet över VVX blev 120 kPa på respektive sida. Temperaturspannet valdes till ca 115°C in primärt och 9°C in sekundärt vilket var normala laboratorieförutsättningarna vid den aktuella provplatsen.

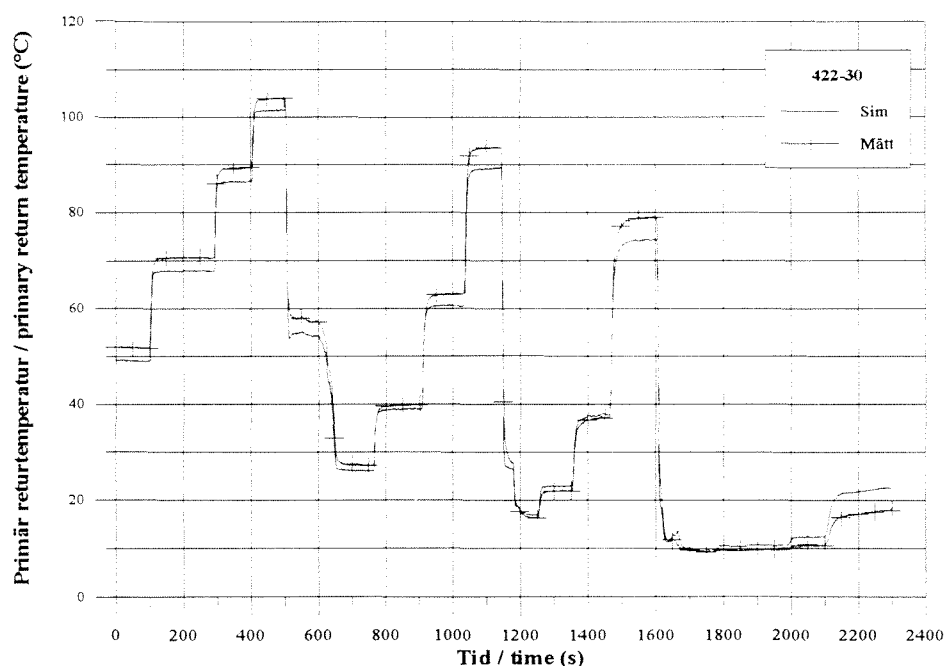
Beräkningsunderlaget som ligger till grund för värmeöverförings- och tryckfallsberäkningen är framtaget av Cetetherm AB.

3.1.3 Resultat

Två mätningar genomfördes på 422-30. Den första mätningen (prov 1) genomfördes under dynamiska förhållanden. Mätningen underkändes delvis på tre orsaker:

1. Otillräcklig överensstämmelse i registrerad värmebalans. Vi bedömer att felkällan har varit den sekundära flödesmätaren.
2. Temperaturgivarnas tidskonstanter var större än kravspecifikationen.
3. Differenstryckgivaren på sekundärsidan bottnade redan vid 68.5 kPa.

Resultatet från prov 1 visar på god dynamisk överensstämmelse mellan modell och mätvärden, se figur 1.



Figur 1: Primär returtemperatur, CETEPAC 422-30.

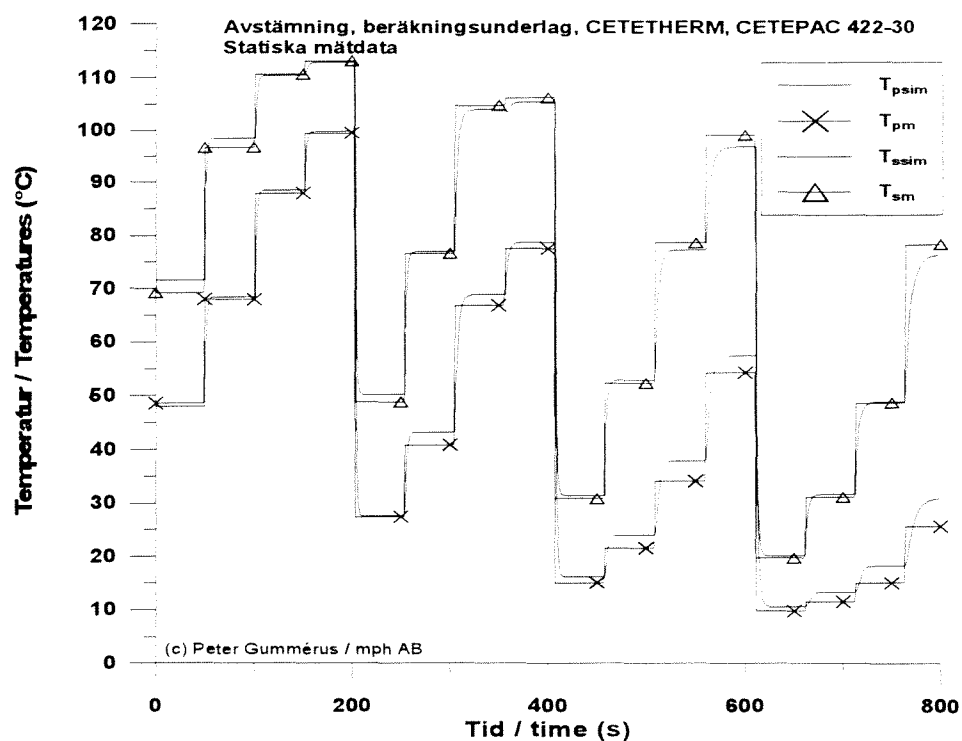
Figure 1: Primary outlet temperature, CETEPAC 422-30.

Den andra mätningen (prov 2) genomfördes med statiska förhållanden. Mätresultatet (16 punkter) beskriver de statiska nivåerna som erhålls för varje flödeskombination. Genom att sedan duplicera varje mätpunkt 50 gånger, kan detta resultat matas till den dynamiska modellen. Det dynamiska svaret från valideringen av värmeväxlaren är här ointressant, då endast de statiska nivåerna är av intresse vid denna mätning.

Den goda överensstämmelsen mellan de uppmätta och simulerade temperaturerna i de statiska nivåerna framgår tydligt ur figur 2. En beräkning av medeltemperaturavvikelsen och medeleffektavvikelsen enligt [Ref 1 sid 24] gav

$$\begin{aligned}\Delta Q_p &= 5.9 \\ \Delta Q_s &= 9.0 \\ \frac{\Delta Q_p}{ATF_p} &= 2.2 \\ \frac{\Delta Q_s}{ATF_s} &= 1.9\end{aligned}$$

Det skall noteras att medeleffektavvikelsen beräknad enbart utifrån mätningarna blev 2.4 % i prov 2 och enbart beräknad på simuleringsresultatet 1.0 %.



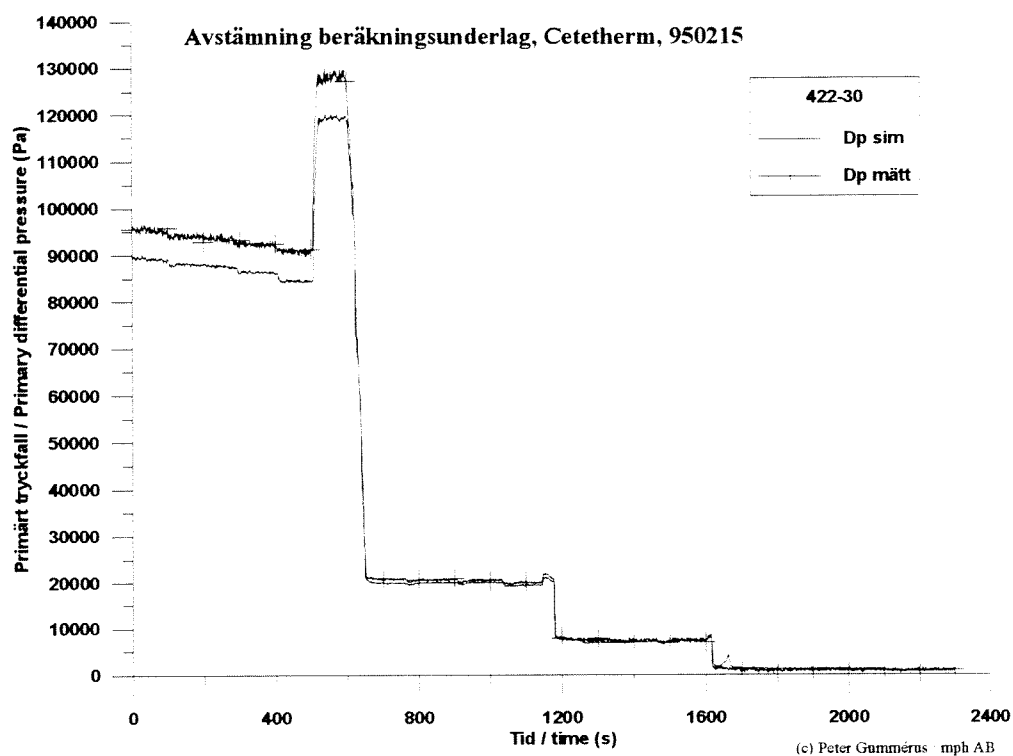
Figur 2: Validering av beräkningsunderlag, statiska förhållanden, CETEPAC 422-30

Figure 2: Validation of model description, static conditions, CETEPAC 422-30

I figur 3 och 4 visas på samma sätt överensstämmelsen mellan uppmätta och simulerade värden för primärt och sekundärt differenstryck. Överensstämmelsen för de primära värdena är godtagbara, medan avvikelsen är kraftig för den sekundära sidan. Vi tror att även detta är förorsakat av bristande noggrannhet för den sekundära flödesmätaren.

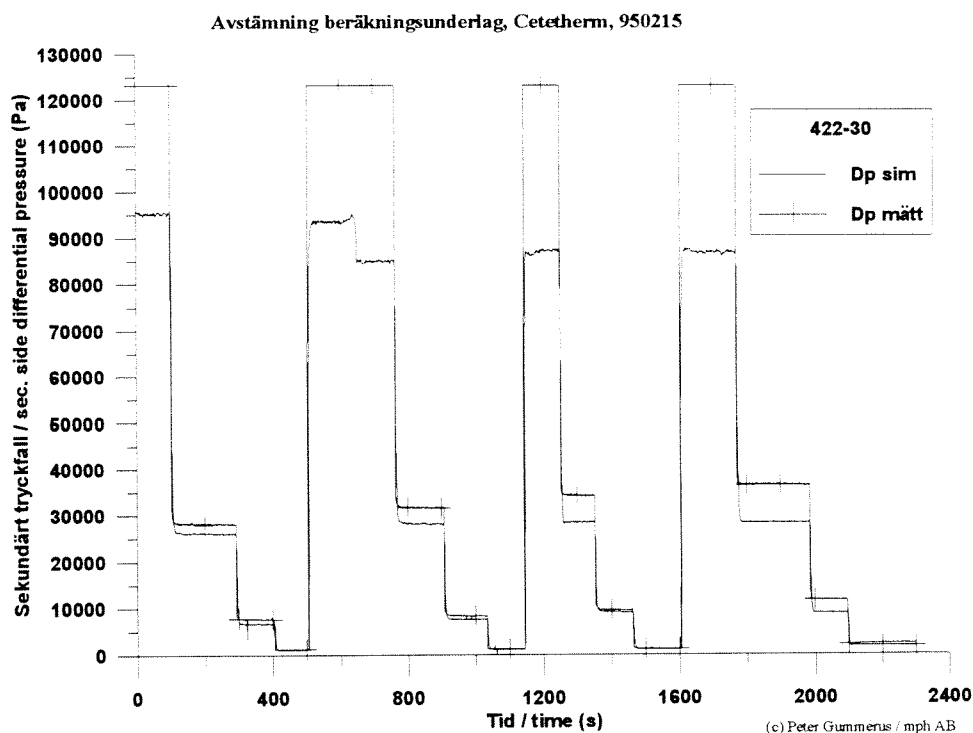
3.1.4 Slutsats

Cetetherm AB bekräftar att den matematiska värmeväxlarmodellen beskriver provobjektet på ett godtagbart sätt.



Figur 3: Primärt differenstryck, CETEPAC 422-30

Figure 3: Primary side differential pressure, CETEPAC 422-30



Figur 4: Sekundärt differenstryck, CETEPAC 422-30

Figure 4: Secondary side differential pressure, CETEPAC 422-30

3.2 Reglerutrustning Landis & Gyr

Valideringsmätningar på reglerutrustning har skett vid Landis & Gyr Building Control AB i Hudding den 16 mars.

Mätningar enligt föreskriven metodik genomfördes på ställdon SKD 62, reglerventil VVF 5215-3.2 och temperaturgivare QAD21.2

3.2.1 Prov av reglerutrustning

Ställdon SKD62

En karakterisering och avstämning mot tillverkarens beskrivning av det elektrohydrauliska ställdonet Landis & Gyr SKD62 har genomförts. Noggrannheten vid mätningarna av flöden, absolut tryck, tryckdifferens samt elektriska storheter är bättre än 1 % av avläst värde enligt uppgift från tillverkaren (Landis & Gyr).

De storheter som har undersökts är gångtid samt dödband enligt [Ref 1, sid 26]. Utöver dessa prov undersöktes ställdonets kompensation av olineariteter i ventilkarakteristik.

Den från Landis & Gyr angivna (enligt produktblad) gångtiden för öppning/stängning var ca 30/15 sekunder. Landis & Gyr bekräftade dock att tiden för stängning ofta är kortare. Vi har själva vid flera tillfällen uppmätt en stängningstid på ca 10 sekunder. De uppmätta gångtiderna vid varierande belastning redovisas i tabell 1. Ställdonets dödband var i hela arbetsområdet 0.1 V.

Manöver, difftryck före och efter	Gångtid Ö/S
(-)	(s)
Gångtid öppna/stäng, 0/0 bar	34.0/9.2
Gångtid öppna/stäng, 1.0/0.2 bar	33.6/9.1
Gångtid öppna/stäng, 2.0/0.5 bar	34.4/9.2
Gångtid öppna/stäng, 6.0/1.4 bar	33.5/9.2

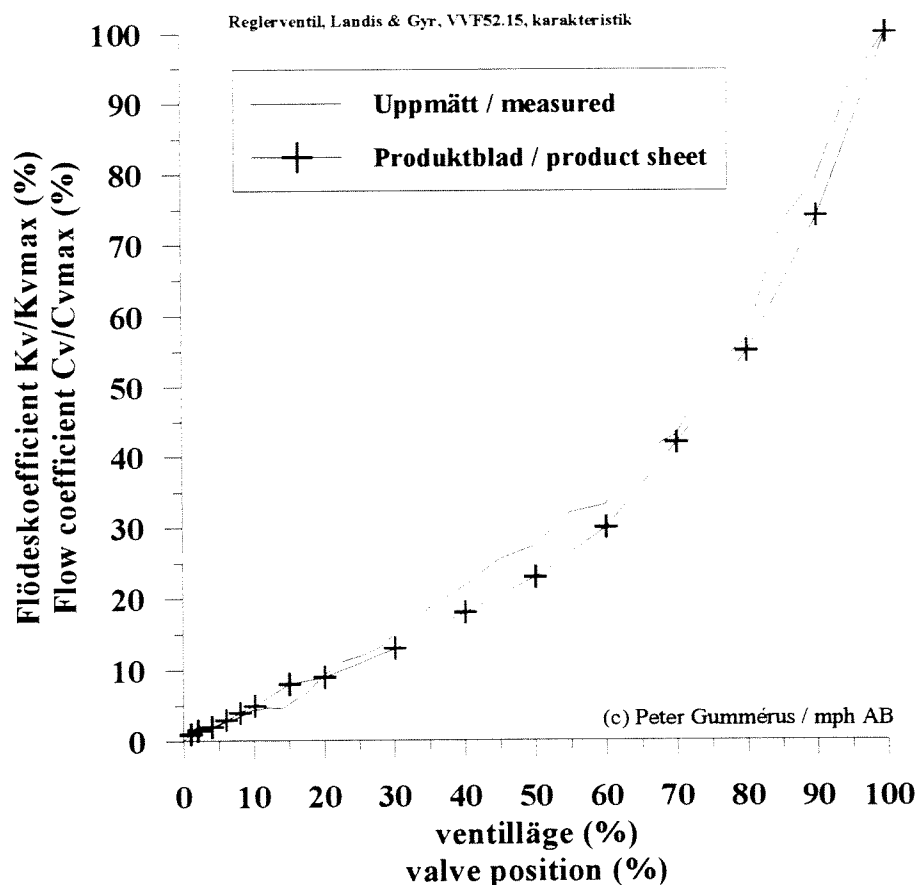
Tabell 1: Gångtider vid olika belastning objekt; SKD62

Table 1: Opening and closing time for various load levels, valve actuator; SKD62.

Reglerventil VVF52.15-3.2

En karakterisering och avstämning mot tillverkarens beskrivning av reglerventil VVF52.15-3.2 genomfördes enligt [Ref 1, sid 25]. Noggrannheten i mätningar av flöden, absolut tryck, tryckdifferens samt elektriska storheter är bättre än 1 % av avläst värde enligt uppgift från tillverkaren.

Provet genomfördes för avstämning mot produktspecifikationen. Mätningen genomfördes två gånger. Den andra gången genomlöptes endast öppningsgrader vid positioner nära stängning. Ur figur 5 framgår överensstämmelsen mellan ventil i produktblad och med den uppmätta karakteristiken. Sammantaget över hela arbetsområdet är överensstämmelsen ca 5 %.

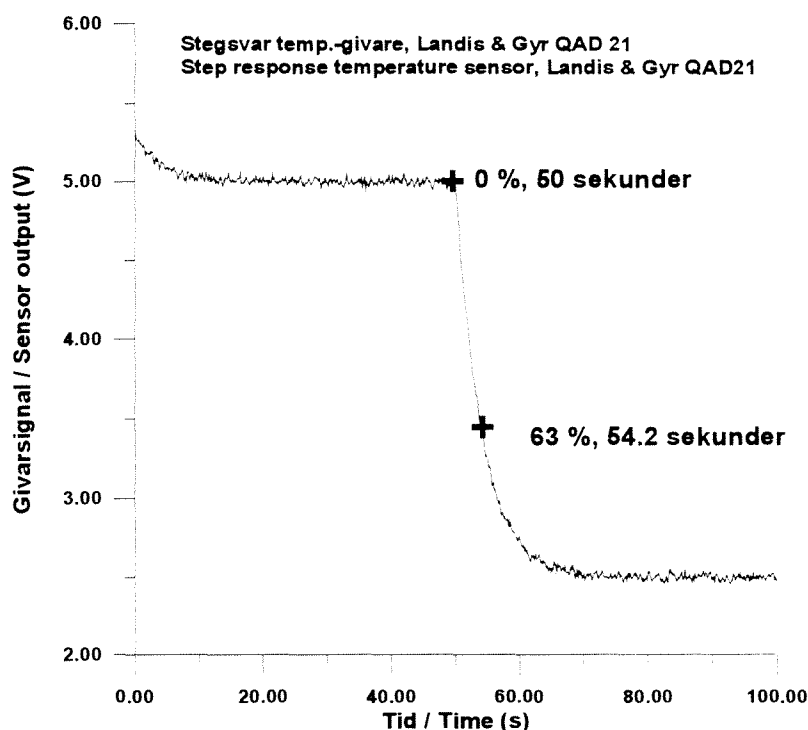


Figur 5: Ventilkarakteristik, angiven och uppmätt, VVF52.15

Figure 5: Valve characteristic, specified and measured, VVF52.15

Temperaturgivare QAD21.2

En jämförelse mellan den angivna produktspecifikationen och verklig karakteristik beträffande temperaturtrögheten hos temperaturgivaren genomfördes enligt [Ref 1, sid 26]. En beräkning av tidskonstanten hos temperaturgivaren ger vid handen att modellen har en godtagbar överensstämmelse med produktspecifikationen. Temperaturgivarens stegsvar framgår av figur 6.



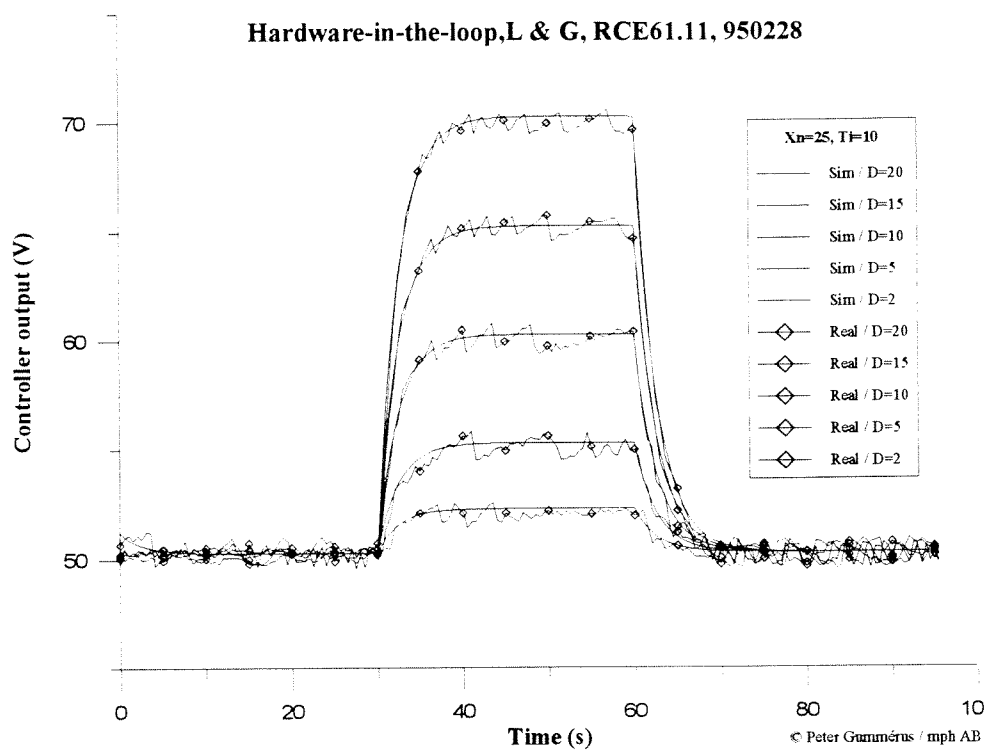
Figur 6: Stegsvär på temperaturgivare, QAD21

Figur 6: Step response of temperature sensor, QAD21

Regulator RCE61.11

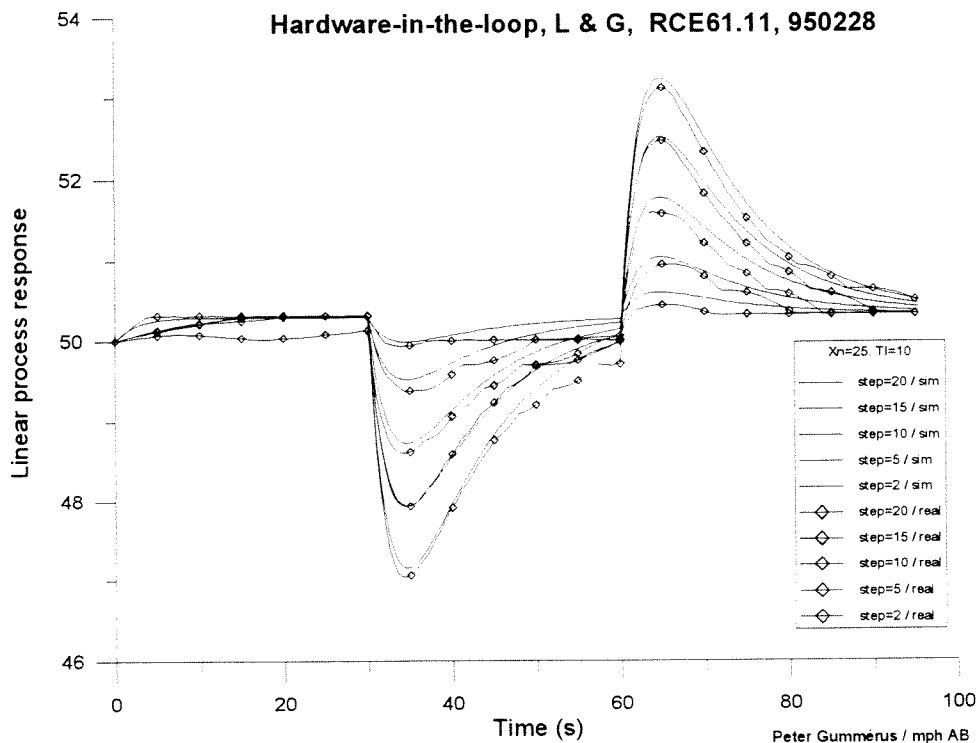
En regulator avsedd för temperaturreglering av tappvarmvatten testades. Proven utfördes på så sätt att en modell av regulatorn jämfördes mot den verkliga regulatorn. Provet genomfördes genom att låta den verkliga regulatorn reglera en enkel simulerad process i datorn. Den verkliga regulatorn kopplades genom A/D-kort till den simulerade processen (s k "hardware-in-the-loop"). En simuleringsmodell av regulatorn jämfördes mot den verkliga regulatorn genom att modellen reglerade en identisk enkel process parallellt. Processen utsattes för stegstörningar med varierande amplitud.

De identiska enkla processmodellerna utsattes för identiska störningar. Regulatorernas börvärden och regulatorparametrar sattes lika. Den verkliga och den simulerade regulatorns respons på processstörningarna samt processens respons jämfördes. Överensstämmelsen mellan modell och verklig regulator samt processens respons framgår ur figur 7 och figur 8. Denna bedöms vara godtagbar.



Figur 7: Verklig och simulerad regulator vid reglering av identisk process utsatt för identiska störningar, vid variation av störningarnas amplitud, RCE61.11

Figure 7: Real and simulated controller when controlling identical process with identical disturbances with different amplitude, RCE61.11



Figur 8: Jämförelse av respons mellan process reglerad med verklig och simulerad regulator för processtörningar av varierande amplitud, RCE61.11

Figure 8: Comparison of process response to disturbances with varying amplitude of two identical processes controlled by real and simulated controller, RCE61.11

3.2.2 Slutsats

Landis & Gyr AB bekräftar att de matematiska modellerna för reglerutrustningen beskriver provobjekten på ett godtagbart sätt och kan användas i de fortsatta simuleringarna.

4 PROGRAM OCH MODELLER I ACSL

Simuleringarna är gjorda med programmet ACSL (version 10 FX).

Förfarandet och tillvägagångssätt för uppbyggnad av de matematiska modellerna finns beskrivna i [Ref. 2].

5 GENOMFÖRDA SYSTEMPROVNINGAR

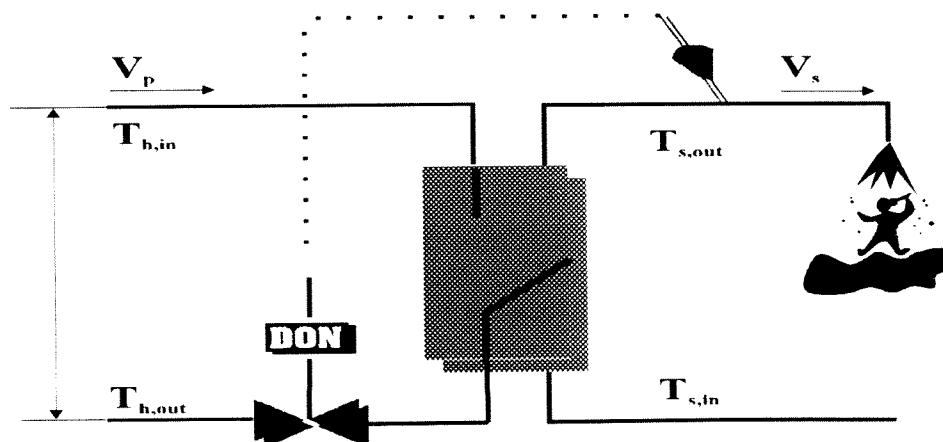
5.1 Prov av enskild VVX med reglerutrustning

Ett test av kombinerat värmeväxlare och reglerutrustning har genomförts för att utröna det sammansatta systemets harmonisering. Provet är utfört som ett så kallat "hardware-in-the-loop" försök. D v s att samtliga komponenter är simulerade förutom regulatorn. Två försök har genomförts, vinterfallet och sommarfallet. Provet finns mer ingående beskrivet i [Ref 1, sid 14-16].

5.1.1 Förutsättningar

Systemet som skall provas består av en plattvärmeväxlare och en reglerutrustning, se figur 9. I systemet ingår ingen VVC-krets. VVX utgörs av CETEPAC 422-60-2. Denna VVX är i själva verket två CETEPAC 422-30 i serie. Reglerutrustningen består av regulator Landis & Gyr RCE61.11, reglerventil VVF52.15-3.2, samt ställdon SKD62. En syntetisk last vilken utgörs av ett tappvarmvattenflöde med maximalt värde av 1 l/s driver systemet under 1000 sekunder.

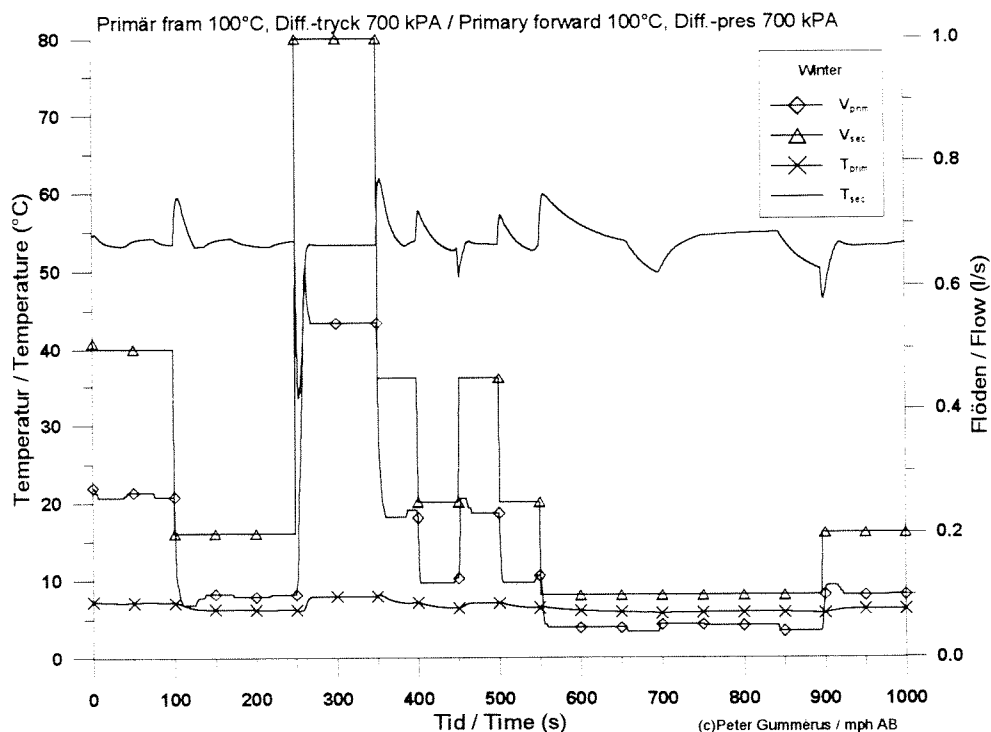
Två prov med en och samma regulatorinställning har genomförts. Det första provet betecknas "Vinterfallet" då den primära framledningstemperaturen är 100°C och differenstrycket 700 kPa. Det andra provet betecknas "Sommarfallet" då den primära framledningstemperaturen är 65°C och differenstrycket 120 kPa. Temperaturgivare är placerad direkt efter värmeväxlaren, d v s gynsammaste förutsättning. Regulatorn är injusterad för vinterfallet. För att finna rätt injustering av regulatorparametrar användes Ziegler-Nichols stegvarsmetod, vilka finjusterades för att passa systemet. Bästa regulatorinställning gavs vid $X_p = 60$, $T_i = 10$ och tappvarmvattentemperaturens börvärde valdes till 55°C.



Figur 9: Tappvarmvattensystemet
Figure 9: Hot service-water system

5.1.2 Resultat

Vinterfallet simulerades under 1000 sekunder. Temperatur- och flödesförloppen på primär- och sekundärsidan framgår av figur 10.



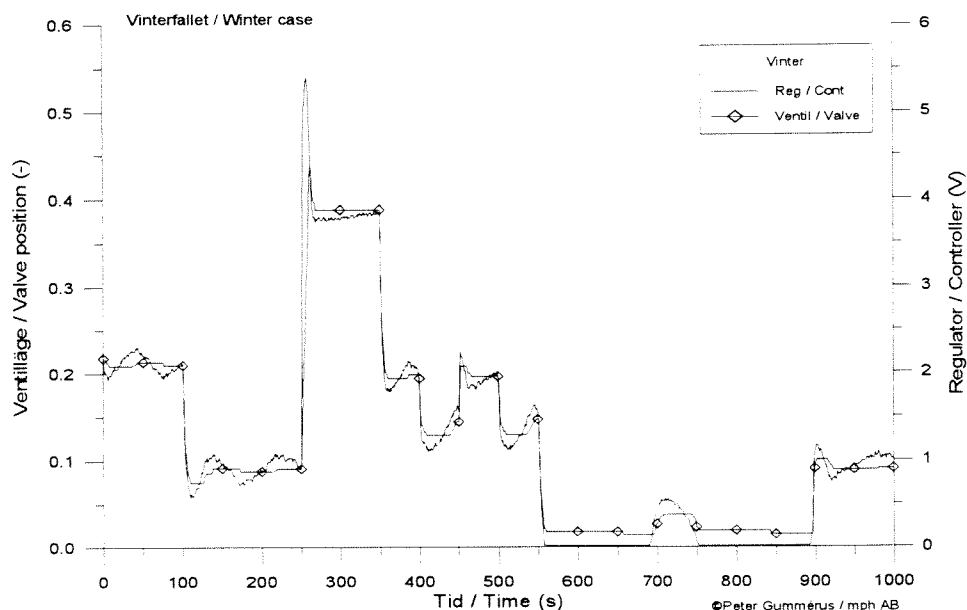
Figur 10: Primär och sekundär uttemperatur samt flöde, vinterfallet.
Figure 10: Primary and secondary temperatures and flow rate, winter conditions

Ur figur 10 framgår att den reglerade temperaturen ligger inom komfortkraven som säger att största tillåtna momentana temperaturavvikelse skall vara $\leq 10^\circ\text{C}$. Den första perioden 0-250 sekunder utgörs av en kraftig flödesminskning. Detta leder till att tappvarmvattentemperaturen stiger till en början. Maximala temperaturen överskrider dock ej 60°C . Temperaturen är åter stabil inom 40 sekunder.

Den andra perioden 250-350 sekunder utgör prov av kapacitet vid maximalt flöde. Ur figur 10 framgår att temperaturen under kort tid sjunker till ca 35°C , men snabbt återhämtar sig till 55°C .

Tiden mellan 350-550 sekunder utgörs sedan av normalbelastningen. Temperaturen regleras då bra.

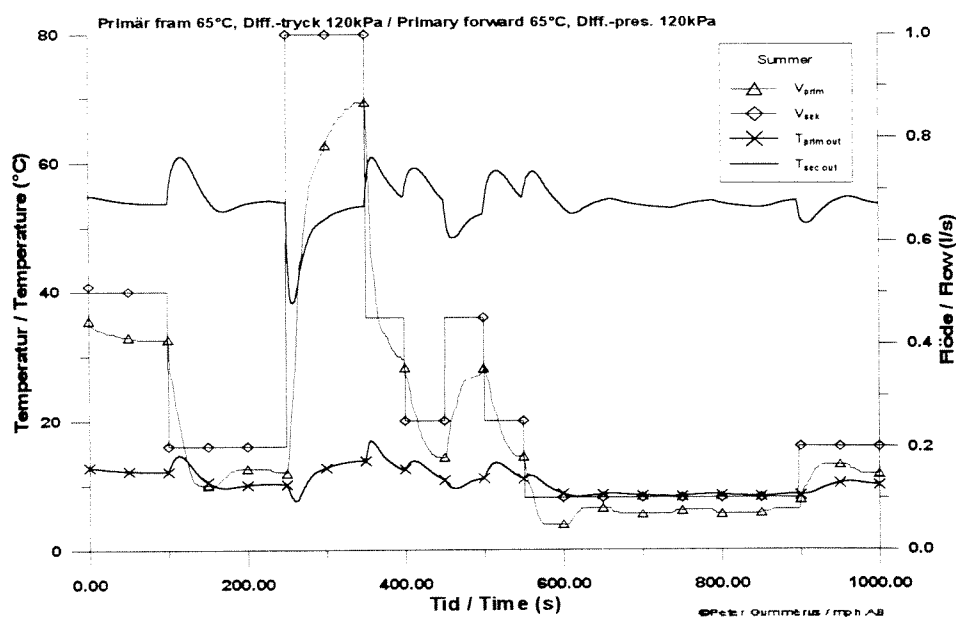
Test av stabilitet vid lågt flöde sker mellan 550-900 sekunder. I diagrammet kan man se mindre antydningar till temperaturpendlingar. Några systematiska kvarstående pendlingar förekommer dock ej.



Figur 11: Reglerventilens läge samt regulatorns utsignal, vinterfallet.
Figure 11: Valve position and controller output, winter conditions.

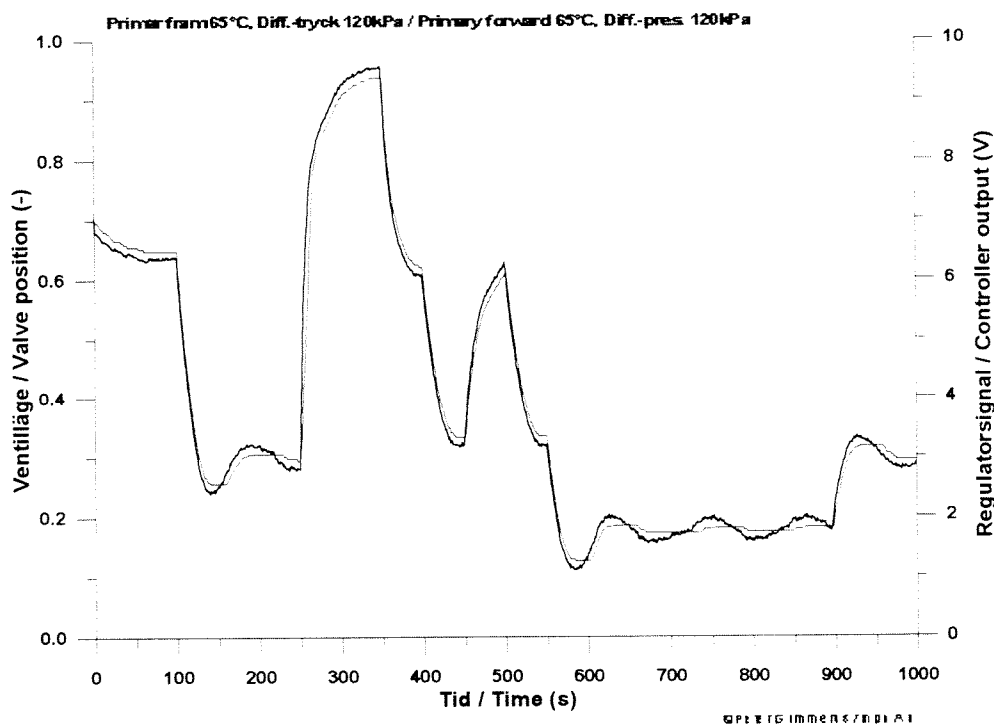
Reglerutrustningens dynamiska förlopp framgår av figur 11. Inga anmärkningsvärda regleråtgärder förekommer trots den stora lastvariationen.

Samma försök genomfördes sedan under andra förutsättningar. Vid "Sommarfallet" upprepades den syntetiska lastcykeln, se figur 12.



Figur 12: Primär och sekundär uttemperatur samt flöde, sommarfallet.
Figure 12: Primary and secondary temperatures and flow rate, summer conditions

Regleringen av tappvarmvattentemperaturen sker även för sommarfallet problemfritt. Återhämtningen av tappvarmvattentemperaturen går dock långsammare än vid vinterfallet beroende på den lägre förstärkningen i systemet. Reglersystemets dynamiska förlopp framgår av figur 13.



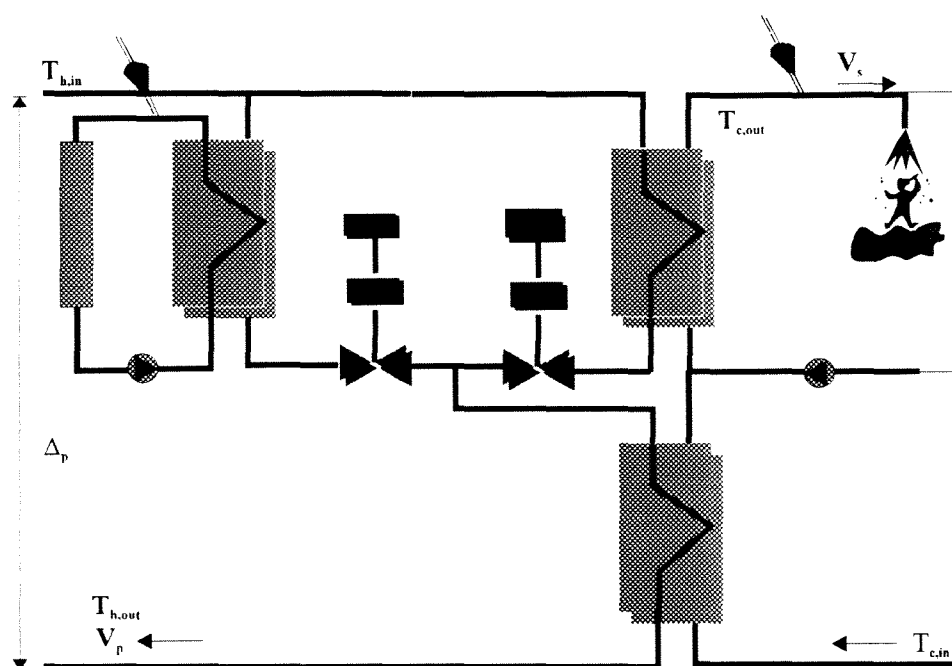
Figur 13: Reglerventilens läge samt regulatorns utsignal, sommarfallet.
Figur 13: Valve position and controller output, summer conditions

5.1.3 Slutsats

Tappvarmvattenregleringen under extremförhållanden klaras utan anmärkning. Systemkopplingens lastföljsamhet uppfyller förslagen till ställda krav.

5.2 Prov av komplett abonnentcentral

Slutligen har en test av den termiska prestandan genomförts för den kompletta tvåstegskopplade abonnentcentralen. En simulering under samtliga utetemperaturer mellan -16 till 20 grader under dynamiska lastförhållanden har genomförts. Det principiella utseendet av det simulerade systemet framgår av figur 14. I detta system ingår även en VVC-krets. En mer ingående beskrivning ges i [Ref 1, sid 12-13].



Figur 14: Komplet system, tvåstegskopplad abonnentcentral.

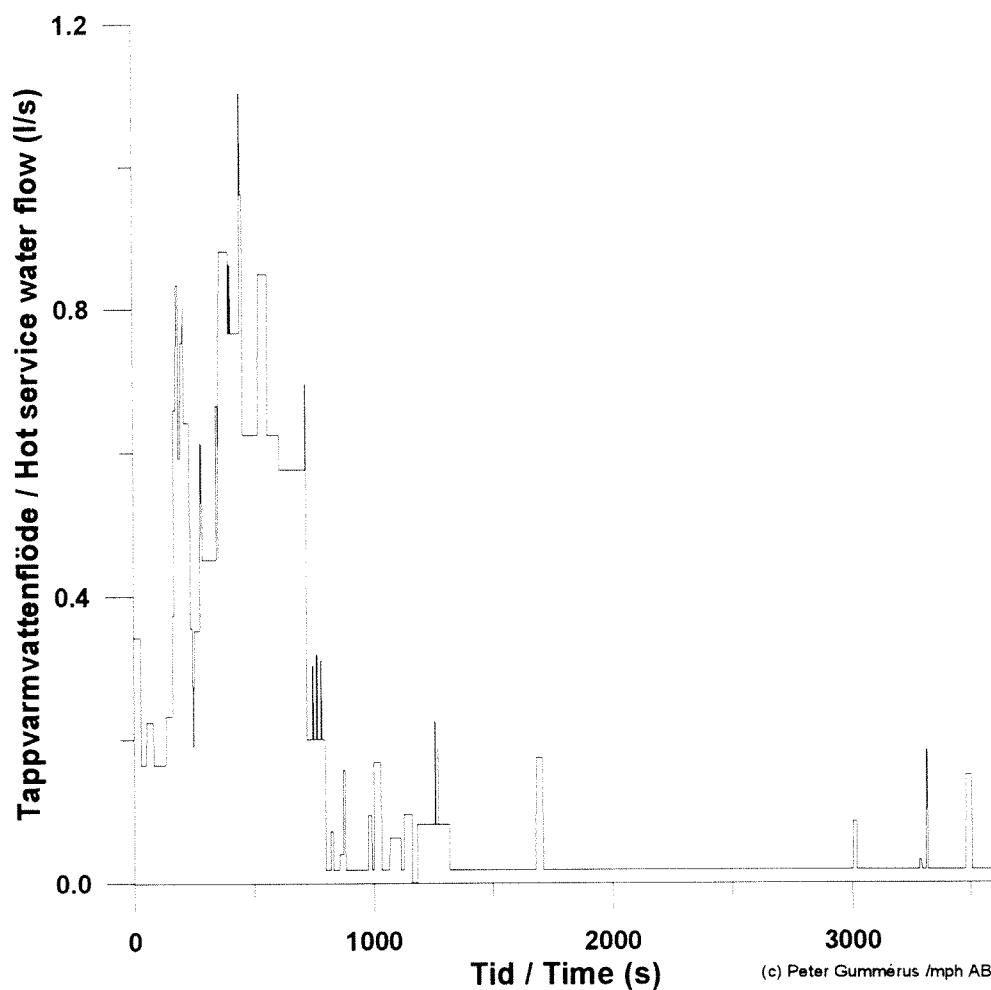
Figure 14: Complete system, two stage configured consumer substation.

5.2.1 Förutsättningar

Det kompletta systemet är konfigurerat av Cetetherm AB och systemet ingår i deras produktsortiment under beteckning CETEPREF A9960. Produkten finns beskriven i specifikationen, se bilaga 1. Maximalt differenstryck under vinterförhållanden uppgår till 700 kPa och maximal primär framtemperatur till 100°C. En brytpunkt i temperaturprogrammet är satt till 2°C, vilket dock inte framgår ur dokumentationen från Cetetherm AB, se bilaga 3. Sommarförhållanden utgörs av ett differenstryck av 120 kPa samt 65°C primär framledningstemperatur.

Utvärderingen av prestandan genomförs sedan för varje utetemperatur under det att systemet drivs med en tappvarmvattenlast enligt figur 15.

I en förlängning av provningsverksamheten skall olika tappvarmvattenlaster finnas tillgängliga för att kunna kopplas till tappvarmvattensystem av varierande storlekar. Detta är angeläget eftersom sammanlagrings-effekterna är av stor betydelse. På samma sätt föreslås det att några olika varaktigheter för utetemperaturen, d v s olika klimatområden, kan väljas. Klimatvariationerna är dock inte av lika stor betydelse i detta sammanhang som val av tappvarmvattenlast.

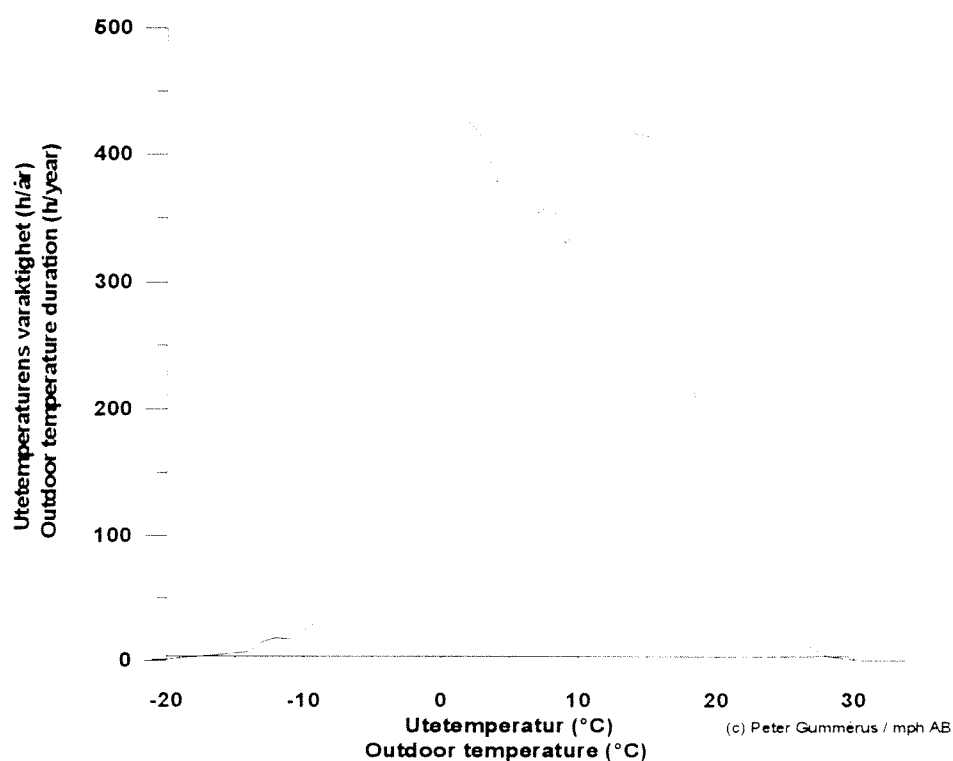


Figur 15: Tappvarmvattenlast

Figure 15: Hot service-water load cycle

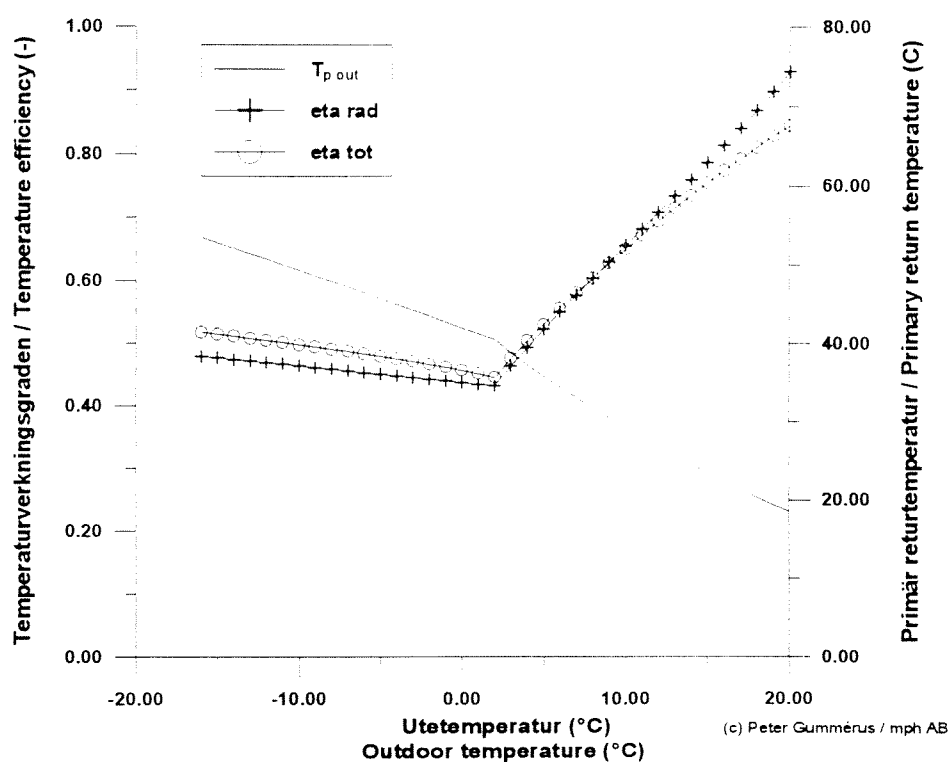
5.2.2 Resultat

Utvärderingen är genomförd med ett antal godhetstal [Ref 2 och ref 3]. Den använda varaktigheten för utetemperaturen motsvarar klimatområde "Västra Sverige" enligt figur 16. De utvärderade godhetstalen varierade med utetemperaturen enligt figur 17.



Figur 16: Utetemperaturens varaktighet

Figure 16: Duration of outdoor temperature



Figur 17: Godhetstalen som funktion av utetemperaturen,

Figure 17: Performance index as a function of outdoor temperature

Årsmedelvärde för dessa godhetstal är beräknade enligt [Ref 2]. D v s att årsmedelvärden är flödesviktade och kopplade till den nämnda varaktigheten för utetemperaturen. Resultatet från utvärderingen blev då följande:

Godhetstal	Värde
Radiatorsystemet *)	61.0 %
Kompletta systemet *)	60.5 %
Primär returtemperatur	32.7°C
Gradtidtal	365197°C h/år

*) Dessa värden gäller temperaturverkningsgrad.

Felen i de uppnådda resultaten är kopplade till dels de fel som härrör från valideringsmätningar och dels de fel som finns i modellanpassningarna. För att kunna uppskatta onoggrannheten i dessa resultat har därför olika bedömningar gjorts.

En mindre känslighetsanalys har gjorts där en förändring infördes på samtliga VVX:s värmeövergångstal. Förändringen genomfördes på både primär- och sekundärsidan. Det största införda "felet" innebar att samtliga värmeövergångstal fick ett värde som uppgick till endast 90% av det som använts i beräkningarna. Detta relativt stora fel innebar att årsmedelvärdena för temperaturverkningsgraden minskade som mest med 0.9% och att den flödesviktade returtemperaturen ökade 0.5°C.

Sammantaget med övriga felkällor bedömer vi att onoggrannheten i temperaturverkningsgrad är $\pm 2\%$ och i returtemperatur $\pm 1^\circ\text{C}$.

5.2.3 Slutsats

Systemet uppvisar god termisk prestanda. Någon explicit kravnivå för godkänd eller underkänd har ännu inte upprättats.

6 PROVPROTOKOLL (Exempel)

PROVPROTOKOLL FÖR PREFABRICERAD ABONNENT-CENTRAL

Protokoll nr: ZW-95/xxxx

Provobjekt: CETEPREF A9960

Tillverkare: Cetetherm AB, Ronneby, Sverige

Komponenter: Se bilaga 1, komponentförteckning

Provad på uppdrag av: Svenska Fjärrvärmeföreningen, Stockholm, Sverige

Provobjektet har undersökts enligt den metodik som beskrivs i [Ref 1], "Funktions- och kvalitetsprovning av abonnentcentraler i fjärrvärme-system", daterad oktober 1994.

Undersökningen är utförd av: Peter Gummérus, mph AB, Göteborg

Datum: 1995-03-20

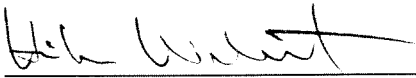
Validering av matematiska modeller och kontroll av överensstämmelse mellan provobjekt och tillverkaruppgifter har skett enligt följande:

Värmeväxlare

Cetepac 420-30	1995-02-15, Cetetherm AB, Ronneby
Cetepac 422-30	1995-02-15, Cetetherm AB, Ronneby

Reglerutrustning

Ställdon SKD 62	1995-03-16, Landis & Gyr AB, Huddinge
Reglerventil VVF52.15-3.2	1995-03-16, Landis & Gyr AB, Huddinge
Regulator RCE61.11	1995-02-28, mph AB, Göteborg

Resultat:	Se bilaga xx, provresultat (ej med i detta exempel, då dessa utgörs av resultaten från avsnitt 5.)
Kommentarer:	Inga.
Omdöme:	Abbonnentcentralen uppfyller de föreslagna kraven på lastföljsamhet och uppvisar god termisk prestanda.
Datum och plats för utfärdande:	Nyköping 1995-03-31
Ansvarig:	 Håkan Walletun

Referensförteckning

1. WALLETUN, H och GUMMÉRUS, P
Funktions- och kvalitetsprovning av abonnentcentraler i fjärrvärme-
system - Del 1.
ZW-94/04, ZW Energiteknik AB, Nyköping. 1994.
2. GUMMÉRUS, P
Analys av konventionella abonnentcentraler i fjärrvärmesystem.
Doktorsavhandling, Inst. f. Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola,
Göteborg, ISBN-91-7032-467-0. 1989.
3. WERNER, S
Gradtidal för fjärrvärmedistribution, VVS 53 (1982):2, s 63-64.

Produktbeskrivning

Produktens namn: Cetepref A9960
Leverantör: Cetetherm AB
Tillverkningsår: 1995
Dimensionerad: 1995-03-03, se bilaga 3

* Tillverkare av
Värmeväxlare: Cetetherm AB
Reglerutrustning: Landis & Gyr AB
Pump radiatorkrets: Perfecta Pump AB

* Ingående komponenter
Värmeväxlare (rad): 1 st Cetepac 420 1/2-30
Temperaturprogram: 100-66/60-80°C
Effekt: 100 kW

Reglerutrustning (rad): Landis & Gyr
Reglercentral: RVL46.1
Styrventil: VVF52.15-2.5
Ställdon: SKD62
Givare framledning: QAD 21
Givare utomhus: QAC 21

Cirkulationspump (rad): Perfecta A4S 25-4U

Värmeväxlare (vv): 2 st Cetepac 422-60-2V
Temperaturprogram: 65-23/5-55°C
Effekt: 209 kW

Reglerutrustning (vv): Landis & Gyr
Reglercentral: RCE61.11
Styrventil: VVF52.15-3.2
Ställdon: SKD62
Givare framledning: Inbyggd i regulator

De validerade produkternas tillverkningsnummer

<u>Produkt</u>	<u>Tillverkningsnummer</u>
Cetepac 422-30	10271275
Cetepac 420-30	10260063
Landis & Gyr SKD62	S02 950220
Landis & Gyr VVF52.15	03/950223

CETETHERM AB
Principschema
CETEPREF A9960

2-Stegskoppling

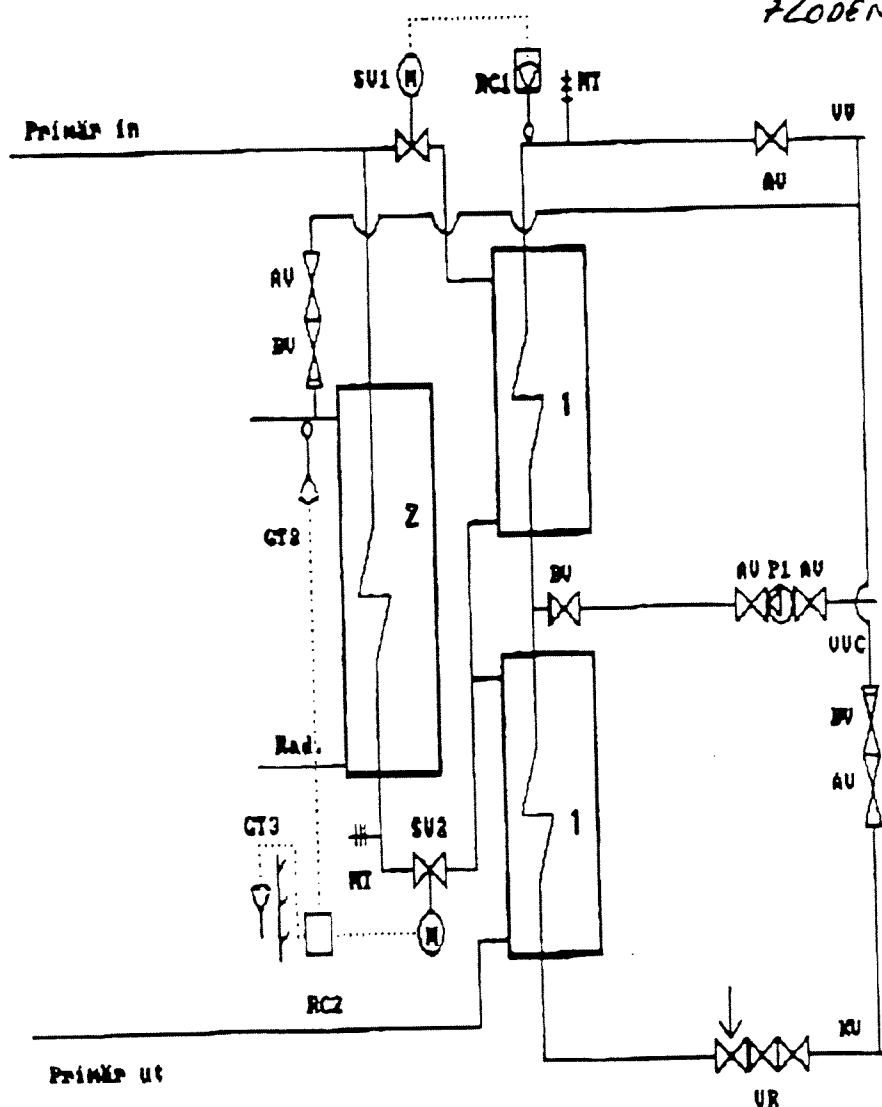
Objekt : Peter Test

Ort :

Datum : 1995-03-03

ALT, I

FLÖDEN NKL Ks 10.



Ingående komponenter.

- 1. CETEPAC 422-60-2V *
- 2. CETEPAC 420 1/2-30
- SV1. VVF52.15-3.2
- SV2. VVF52.15-2.5
- RC1. RCE61.11
- RC2. RVL46.1
- GT2. QAD 21
- GT3. QAC 21
- P1. Perfecta A4S 25-4U
- AV. Avstängningsventil
- BV. Backventil
- VR. Ventilrör
- MT. Termometer

** CP 422-60-2V =
 2st seriekopplade
 CP 422-30.*

Dimensioneringsdata:
 Föremåtsningstillägg $k_s 10 \text{ kW/m}^2\text{°C}$

Varmvattenkrets
 CETEPAC 422-60-2V 209 kW 65-23/ 5-55 °C 1.19/1.00 l/s, 17/12 kPa

Radiator krets
 CETEPAC 420 1/2-30 100 kW 100-66/60-80 °C 0.70/1.19 l/s, 9/9 kPa

Min tillgängligt differenstryck 150 kPa.
 Max förekommande differenstryck <700 kPa.

CETETHERM AB
Principschema
CETEPREF A9960

2-Stegskoppling

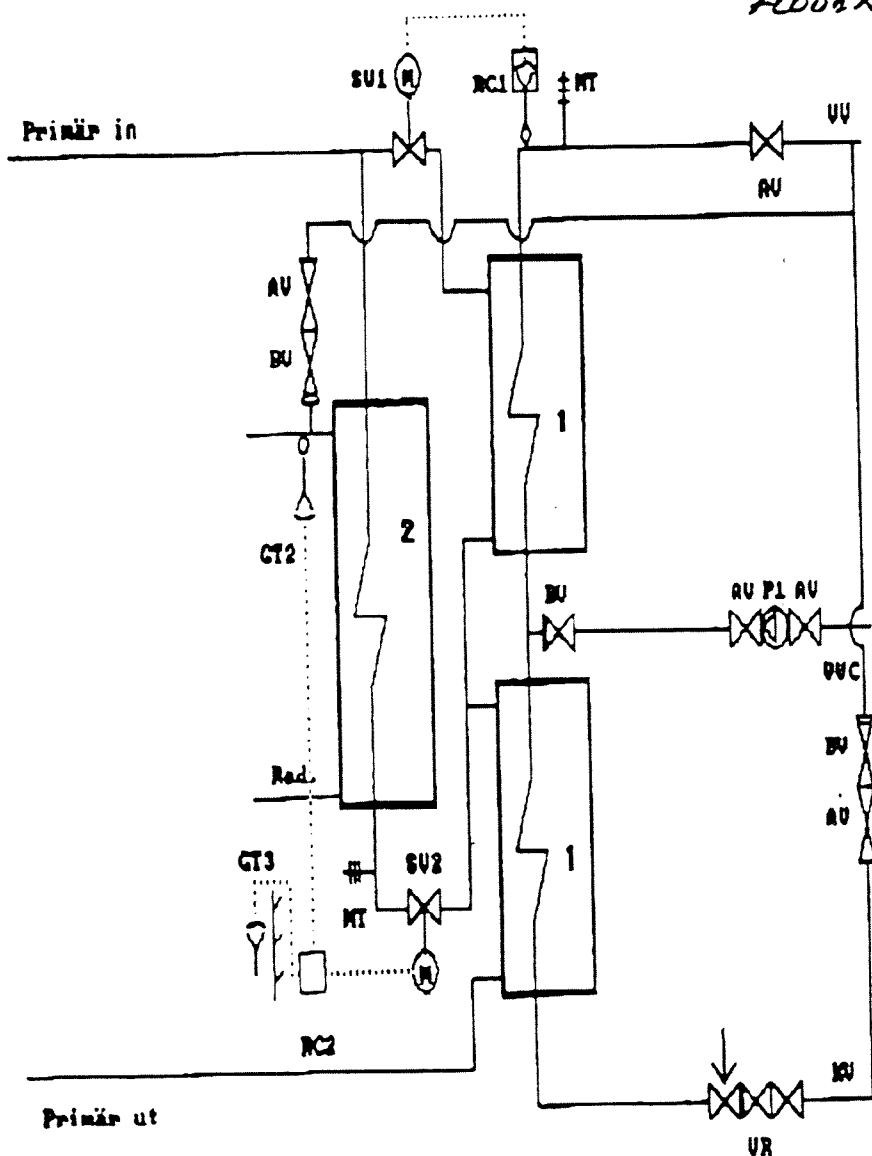
Objekt : Peter Test

Ort :

Datum : 1995-03-03

ALT. II

RÖÖRN EXKL. KS 10
 (REN VVX)



Ingående komponenter.

- 1. CETEPAC 422-60-2V
- 2. CETEPAC 420 1/2-30
- SV1. VVF52.15-2.5
- SV2. VVF52.15-2
- RC1. RCE61.11
- RC2. RVL46.1
- GT2. QAD 21
- GT3. QAC 21
- P1. Perfecta A4S 25-4U
- AV. Avstängningsventil
- BV. Backventil
- VR. Ventilrör
- MT. Termometer

Dimensioneringsdata:
 Föremåtsningstillägg ks ~~20~~ kW/m²°C

Varmvattenkrets
 CETEPAC 422-60-2V 209 kW 65-15/ 5-55 °C 1.00/1.00 1/s, 12/12 kPa

Radiatorkrets
 CETEPAC 420 1/2-30 100 kW 100-62/60-80 °C 0.63/1.19 1/s, 7/9 kPa

Min tillgängligt differenstryck 150 kPa.
 Max förekommande differenstryck <700 kPa.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem. Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrierna
- Övrig Industri

Värmeforsk samarbetar med Statens Energimyndighet.

VÄRMEFORSK Service AB

101 53 Stockholm

Tel 08-677 25 80 • Fax 08-677 25 35

<http://www.varmeforsk.se>