



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.

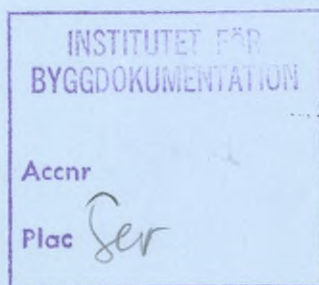


Rapport

R119:1987

Villapannor med värme- återvinning och rökgasrening genom kondensering

Lars-Göran Eklund



Byggforskningsrådet

R119:1987

VILLAPANNOR MED VÄRMEATERVINNING OCH
RÖKGASRENING GENOM KONDENSERING

Lars-Göran Eklund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850425-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.

REFERAT

Den ursprungliga avsikten med detta arbete har varit att undersöka en kondenserande rökgaskylare ansluten till en oljeeldad villapanna. Undersökningen har därvid avsett energibesparing och rökgasrening. Vid den litteraturstudie som har gjorts, har det befunnits att befintlig metodik är bristfällig för dimensionering och beräkning av kondenserande rökgaskylares prestanda vid skilda driftbetingelser. Arbetet har därför i stor utsträckning inriktats på att åtgärda nämnda brister. Ett mindre mätprogram för emissionsmätningar har även genomförts.

Ett stort antal energitekniska data har insamlats och bearbetats. Dessa data härrör från experiment med två olika utformade kondenserande rökgaskylare anslutna till oljeeldade pannor med nominella effekterna ca 20 respektive 160 kW. Matematiska modeller har formulerats för värmetransportförlopp i kondenserande rökgaskylare.

Modellerna ger kylvattnets temperaturökning som en funktion av panneffekt, dagtemperatur, temperatur i rökgas till rökgaskylaren, kylvattenflöde och temperatur i kylvatten till rökgaskylaren.

Med utnyttjande av de experimentella data och regressionsanalys har modellerna testats och dess parametrar beräknats. Antalet erforderliga parametrar är 3-4. Med vid regressionsanalysen beräknade variationskoefficienter 0,06-0,09 kan de framtagna modellerna anses ge en god överensstämmelse med experimentella data.

I Byggnadsforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R119:1987

ISBN 91-540-4838-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SAMMANFATTNING	4
1	INLEDNING	5
2	FORMULERING AV MODELL	8
3	ANALYS AV EXPERIMENTELLA DATA OCH TEST AV MODELL	14
3.1	Enertech Värme ABS rökgaskylare	14
3.2	Rökgaskylning Ulf Johanson ABS rökgaskylare	19
4	DISKUSSION	24
	LITTERATURFÖRTECKNING	26
	BILAGOR	

SAMMANFATTNING

Förbränning av vätehaltiga eller fuktiga bränslen ger rökgas innehållande vattenånga. En nedkylning av rökgasen och kondensering av dess vattenånga innebär att vattenångans latent värme kan tas till vara. Vattenången i rökgas från Eo 1 och naturgas börjar, beroende på bränslets sammansättning och luftöverskottet, att kondensera vid 45-50 respektive 50-55 °C. Potentialen för energibesparing vid rökgaskondensering framgår av att de effektiva värmevärdena för Eo 1 och naturgas är ca 7 respektive 11 procent högre än dess effektiva värmevärden.

Kondensering av rökgasens vattenånga medför att den alstrade vätskefasen kommer att verka som absorptionsmedel för miljöbelastande rökgaskomponenter som svaveldioxid, stoft och flyktiga tungmetaller.

Den ursprungliga avsikten med detta arbete har varit att studera den energibesparing som kan uppnås med rökgaskondensering i system med villapannor och den rökgasrenande effekt som därvid kan uppnås. Vid den litteraturstudie som har gjorts har det befunnits att befintlig metodik är bristfällig för dimensionering och beräkning av kondenserande rökgaskylares prestanda vid skilda driftbetingelser. Arbetet har därför i stor utsträckning inriktats på att åtgärda nämnda brister. Ett mindre mätprogram för emissionsmätningar har även genomförts.

Ett stort antal energitekniska data har insamlats och bearbetats. Dessa data härrör från experiment med två olika utformade kondenserande rökgaskylare anslutna till oljeeldade pannor med nominella effekterna ca 20 respektive 160 kW. Matematiska modeller har formulerats för värmetransportförlopp i kondenserande rökgaskylare. Med utnyttjande av de experimentella data och regressionsanalys har modellerna testats och dess parametrar beräknats. Antalet erforderliga parametrar är 3-4. Med vid regressionsanalysen, beräknade variationskoefficienter 0,06-0,09 kan de framtagna modellerna anses ge en god överensstämmelse med experimentella data.

Modellerna ger kylvattnets temperaturökning som en funktion av panneffekt, dagtemperatur, temperatur i rökgas till rökgaskylaren, kylvattenflöde och temperatur i kylvatten till rökgaskylaren.

Metodikerna är baserad på antagandet om att värmetransporten i rökgaskylaren sker genom två separata delförlopp, nämligen med och utan kondensering. Den drivande temperaturdifferensen för delförloppet med värmetransport utan kondensering definieras av differensen mellan ingående rökgasens temperatur och dess dagtemperatur. För delförloppen med värmetransport med kondensering definieras den drivande temperaturdifferensen av differensen mellan rökgasens dagtemperatur och ingående kylvattnets temperatur.

Den goda korrelationen mellan experimentella data och formulerad modell samt det uttalade forskningsbehov, som finns inom detta område, bör motivera en fortsättning för att utveckla den framtagna metodiken. Detta bör företrädesvis ske genom att applicera modellerna på rökgaskylare med väldefinierade geometrier av olika storlekar.

1 INLEDNING

Föreliggande arbete är utfört inom BFR-projekt "Villapannor med rökgasrening och värmeåtervinning genom kondensering". Genomförandet av projektet har delvis avvikit från det ursprungliga projektförslaget. Det främsta skälet till detta är att en genomgång av befintlig litteratur angående rökgaskondensering indikerar att vissa brister föreligger i metodiken för beskrivningen av ett kondenseringssystems värmetekniska egenskaper.

Olika avsättningsmöjligheter för lågvärdigt värme genererat i en kondenserande rökgaskylare har diskuterats i en BFR-rapport "System för rökgaskondensering vid panncentraler" (1). Möjliga avsättningar av genererat värme som där schematiskt redovisas är för förvärmning av tappvarmvatten och för användning som värmekälla i värmepumpssystem. För att kunna bedöma en rökgaskondensers egenskaper som delkomponent i ett pannsystem med förvärmning av vatten eller med värmepump krävs att dess värmetekniska egenskaper kan specificeras. Av intresse är härvid hur upptagen värmemängd och dess temperaturnivå varierar med kylvattentemperatur och flöde samt pannans drifttillstånd.

System för rökgaskondensering i energisparande syfte har varit kommersiellt tillgängliga sedan ca år 1978 (2). Kondenseringsutrustning utvecklades ursprungligen för gaseldade pannor. Anledningen till detta är den högre sparpotential som finns vid naturgaseldning relativt oljeeldning. De kalorimetriska värmevärdena är för naturgas och E_o 1 11 procent resp 7 procent högre än dess effektiva värmevärden. Utvecklingsarbeten för pannor med rökgaskondensering har därför till relativt nyligen huvudsakligen bedrivits utanför Sverige i trakter med utbyggda naturgasnät. Främst gaseldade pannor men även oljeeldade samt olje- och gaseldade tvåbränslepannor från storleken ca 15 kW och större har konstruerats. Både integrerade system med rökgaskondensator hopbyggd med panna och separat rökgaskondensator som tillsatsenhet till en befintlig panna har utvecklats till kommersiella produkter (2).

Det bör i detta sammanhang framhållas att tekniker och system med rökgaskondensering i syfte att återvinna värme och rena rökgaser används och för närvarande utvecklas för storskaliga och industriellt inriktade applikationer. Tekniken har sedan ett par decennier utnyttjats i anslutning till rökgaser från cellulosaindustrins sodapannor och mesaugnar. Ett antal system med rökgaskondensering har introducerats och testats i Sverige i pannor för eldning av kommunalt avfall.

I uppvärmningssystem strävar man efter en hög årsmedelverkningsgrad. Med en gas- eller oljeeldad panna är det av nämnda anledning fördelaktigt att reglera brännareffekten, vilket medför att pannans stilleståndstid förkortas. En reglering av brännareffekten påverkar rökgasflödets storlek. Som nämnts ovan förekommer utrustning för rökgaskondensering även som separata tillsatsenheter till befintliga pannor. En serietillverkad tillsatsenhet

för rökgaskondensering kan därför vara aktuell för pannor inom ett specificerat nominellt effektområde. Det finns därför skäl att beakta de varierande betingelserna på rökgassidan vad gäller rökgasflöde, rökgastemperatur och daggpunkt, vilka utgör en rökgaskondensers arbetsområde.

I Sverige har under de senaste åren en del utvecklingsarbeten för rökgaskondensering i oljeeldade pannor bedrivits. Nämnas kan i detta sammanhang Fagersta Energetics ABs kondenserande rökgaskylare. För närvarande finns ca tio fullstora rökgaskylare av detta fabrikat installerade i Sverige (9). Test har utförts med denna rökgaskylare vid eldning med Eo 3 i en 685 kW panna (3).

Statens provningsanstalt har under tiden från 1984 till 1986 utfört mätningar och utvärdering på en kondenserande rökgaskylare som har varit ansluten till en 200 kW oljeeldad panna med Eo 1 (4). Kylarens fabrikat är Rökgaskylning Ulf Johanson AB, Borås.

Vid oljeeldning och även vid eldning av andra bränslen som t ex avfall alstras rökgaser innehållande miljöstörande komponenter som svavel- och kväveoxider samt stoft och flyktiga tungmetaller. Utnyttjande av rökgaskondensering medför därför, förutom den rent energisparande effekten, att rökgaserna partiellt renas genom absorption av miljöstörande komponenter i vätskefasen. Nyttan av rökgaskylning med kondensering bör bedömas utifrån både uppnådd energibesparing och rökgasrenande effekt. Det bör nämnas att beroende på bränslets sammansättning kan kondensatet vara starkt surt. Vid olämpligt material i rökgaskylaren kan detta orsaka utlösning av legeringsämnen som nickel, krom och kobolt, vilket kan orsaka emissionsproblem för kondensatet. Detta har diskuterats i (5).

Ett antal studier innefattande både energibesparing och renings-effekt vid kondensering av rökgaser från skilda bränslen har under de senaste åren publicerats i Sverige. I detta sammanhang refereras endast till (5,6,7).

Inom detta projekt har data från två kondenserande rökgaskylare bearbetats. Inriktningen på arbetet har härvid varit att dels redovisa de specifika värmetekniska egenskaperna hos respektive kylare, dels finna generella samband som kan utnyttjas för beskrivning av andra kondenserande rökgaskylare.

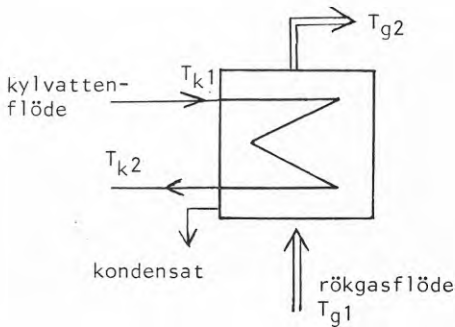
Den ena av dessa kylare är av fabrikat Enertech Värme AB och har vid genomförda mätningar varit ansluten till en 140-180 kW oljeeldad, Eo 1, och gaseldad panna. Försöksprogram och test av systemet har utformats och genomförts av personal på Enertech Värme AB. Efter utförda test har försöksdata ställts till förfogande åt Statens provningsanstalt. Data omfattar värmetekniska variabler. Data för miljöbelastande rökgaskomponenter ingår ej i materialet.

Den andra av här redovisade kondenserande rökgaskylare är av fabrikat Rökgaskylning Ulf Johanson AB. Kylaren utgörs av en prototyp för en tillsatsenhet till en 20 kW oljeeldad, Eo 1, villapanna. Test av systemet har genomförts på Statens provningsanstalt. Verksamheten har härvid främst inriktats på framtagna av värmetekniska driftdata. Ett mindre mätprogram har även genomförts för test av kylarens rökgasrenande prestanda.

Analysen av uppmätta värmetekniska driftvariabler har, som nämnts ovan, inriktats på att finna dels apparatspecifika, dels generella värmetekniska samband för kondenserande rökgaskylare. Till grund för detta har legat en summarisk, teoretisk analys av de betingelser som påverkar värmetransportförloppen i en kondenserande kylare samt en analys av antalet beroende och oberoende driftvariabler. På basis av kravet om dimensionell homogenitet har en dimensionsanalys genomförts. En värmeteknisk modell med dimensionslösa variabler har formulerats och testats med de experimentella data som framtagits för de två ovan nämnda kondenserande rökgaskylarna.

2 FORMULERING AV MODELL

En allmänt förekommande frågeställning vid rök-gaskondensering med indirekt värmeväxling är hur utgående kylvattens temperatur kan beräknas vid olika drifttillstånd. Det system som härvid är av intresse visas schematiskt i figur 1.



Figur 1.

Rökgasflödets belopp samt rökgasens fysikaliska egenskaper kan definieras på basis av bränsleflöde, bränslekvälitet och luftöverskott. För ett bränsle med känd sammansättning är luftöverskottet entydigt relaterat till rökgasens CO_2 -halt, vilken enkelt kan mätas. I förekommande fall kan för eldningsolja av standardkvalitet typvärden på elementarsammansättning utnyttjas.

Vid beräkning av värme-flöden mellan olika media utnyttjas värmeövergångskoefficienter. För att förklara innebörden av detta kan man lämpligtvis betrakta värmeutbytet mellan en fast kropp med konstant yttemperatur och ett varmt anströmmande fluidum. Värme-flödet från fluidum till kroppens yta kan därvid skrivas som:

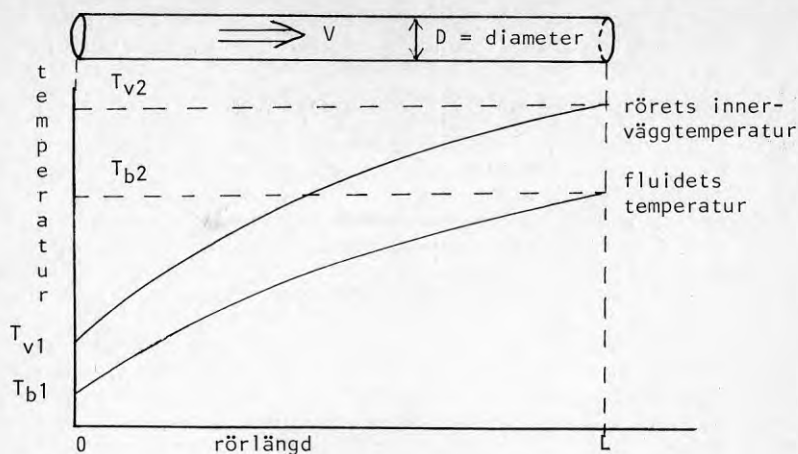
$$Q = h \times A \times \Delta T \quad (1)$$

där

- Q = värme-flöde, W
- h = värmeövergångskoefficient, $\text{W/m}^2 \times \text{K}$
- A = kontaktyta till fluidum, m^2
- ΔT = temperaturdifferens mellan fluidum och kroppens yta, K.

Ekvation (1) är i grunden ett uttryck för definition av värmeövergångskoefficienten h . Observera att ekv (1) har formulerats så att värme-flödet Q är proportionellt mot temperaturdifferensen mellan varmt och kallt medium.

För ett system med variabel temperatur i respektive medium kompileras förhållandena relativt betingelserna med konstant temperaturdifferens enligt ekv (1). Detta illustreras av förhållandena (8) vid rörströmning enligt figur 2.



Figur 2.

T_{v1} och T_{v2} = rörväggens temperatur vid in- resp utströmningspunkten, K

T_{b1} och T_{b2} = fluidets temperatur vid in- resp utströmningspunkten, K

Enligt konvention kan man definiera tre skilda värmeövergångskoefficienter, nämligen:

$$Q = h_1 \times (\pi \times D \times L) \times (T_{v1} - T_{b1}) \quad (2)$$

$$Q = h_a \times (\pi \times D \times L) \times \frac{(T_{v1} - T_{b1}) - (T_{v2} - T_{b2})}{2} \quad (3)$$

$$Q = h_{ln} \times (\pi \times D \times L) \times \frac{(T_{v1} - T_{b1}) - (T_{v2} - T_{b2})}{\ln [(T_{v1} - T_{b1}) / (T_{v2} - T_{b2})]} \quad (4)$$

Notera att definitionerna ovan av värmeövergångskoefficienterna är baserade på valet av drivande temperaturdifferens för värme-flödet.

För kondenserande system med ren ånga vid mättnadstillstånd, som kondenserar på en kylyta med konstant temperatur, definieras värmeövergångskoefficienten h_m (8) enligt:

$$Q = h_m \times A \times (T_d - T_o) \quad (5)$$

där

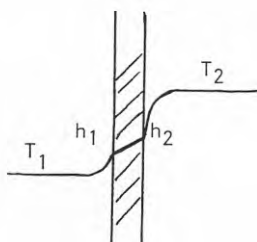
T_d = ångans mättnadstemperatur, K

T_o = kylytans temperatur, K.

Värmeövergångskoefficienterna i ekvationerna (1)-(5) ovan är definierade på basis av vald kontaktyta och temperaturdifferens mellan de värmeöverförande media. Korrelationer för beräkning av värmeövergångskoefficienter finns experimentellt framtagna för ett stort antal geometrier. Dessa korrelationer är allmängiltiga så till vida att de ej är begränsade till några speciella fluida. För beräkning av värmeövergångskoefficienter med nämnda korrelationer krävs kännedom om fluidets fysikaliska egenskaper, strömningsbetingelser samt de geometriska betingelser som påverkar värmetransporten. Den vanliga metodiken i detta sammanhang är att utnyttja empiriskt funna samband mellan de dimensionslösa variablerna Nu (Nusselts tal), Pr (Prandtls tal), Re (Reynolds tal) och ev någon ytterligare dimensionslös variabel.

Vid rökgaskondensering kompliceras det fysikaliska förloppet avsevärt utöver de betingelser som råder vid värmeövergång utan fasändring eller vid kondensering av ren ånga. Notera att ekv (5) är baserad på kondensering av ren ånga vid mättnadstemperatur. I rökgas ingår vattenånga med relativt låg koncentration i icke kondenserande inertgas. För kondensering krävs därför antingen att vattenånga diffunderar genom inertkomponent till en kylande yta med en temperatur under ångans mättnadstemperatur eller att rökgasen kyls ned så att gasfasen får en lägre temperatur än ångans mättnadstemperatur. Det senare fallet orsakar dimbildning. Vid kondenseringsförlopp kan utkondensering på kyl- ytor och dimbildning ske parallellt. En ytterligare skillnad mellan förloppen vid kondensering av mättad, ren ånga och av ånga i rökgas är att kondenseringstemperaturen är konstant i det första fallet, medan den för rökgaser kontinuerligt minskar då vattenångan kondenserar.

Värmeomgångskoefficienten U definieras vid värmewäxling mellan två fluida, som skiljs av en mellanliggande vägg, av ekv (6) enligt nedan:



Figur 3.

$$Q = U \times A \times (T_2 - T_1). \quad (6)$$

h_1 och h_2 är systemets värmeövergångskoefficienter.

Värmeomgångskoefficienten beräknas ur:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{\ell}{k} + \frac{1}{h_2} \quad (7)$$

där

ℓ = skiljeväggens tjocklek, m

k = skiljeväggens värmekonduktivitet, W/m x K.

Värmegenomgångskoefficienten och den därtill relaterade temperaturdifferensen ($T_2 - T_1$) är baserade på definitionerna av de individuella värmeövergångskoefficienterna. Enligt ref (5) återfinns vid rökgaskylning med kondensering huvuddelen av värmetransportmotståndet på rökgassidan. Värmeledningsmotståndet kan dock inte överses. Med indirekt värmeväxling i rökgaskylaren och med vatten som kylmedium i värmeväxlaren bör värmetransportmotståndet på kylvattensidan vara försumbart. Detta innebär att temperaturnivån på vattnet i kylkretsen ej påverkar systemets värmegenomgångskoefficient. Man kan sålunda skriva:

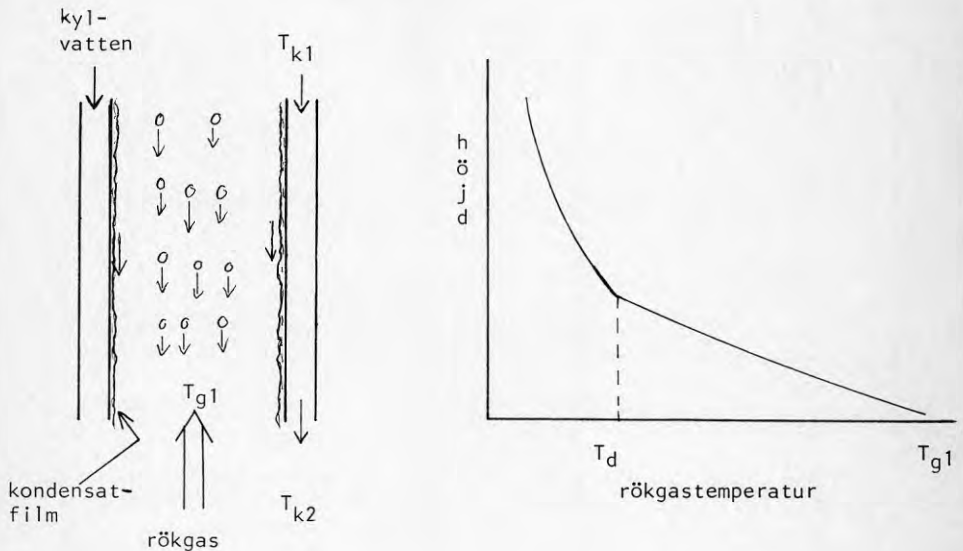
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h} + \frac{\delta}{k} \quad (8)$$

där

h = värmeövergångskoefficienten på rökgassidan, $W/m^2 \times K$.

Enligt ekv (8) bestäms värmegenomgångskoefficienten i en kondenserande rökgaskylare av betingelserna på rökgassidan och av kylslingans material och dimensioner.

Betrakta nedanstående skiss över förloppet i en kondenserande rökgaskylare.



Figur 4.

T_k = kylvattentemperatur, K
 T_g = rökgastemperatur, K
 T_d = rökgasens dagtemperatur, K

Index 1 och 2 anger inflöde resp utflöde i kylaren.

För processens värmetransport definieras två drivande temperaturdifferenser. Dessa är:

$$\Delta T_1 = T_{g1} - T_d \quad (9)$$

och

$$\Delta T_2 = T_d - T_{k1} \quad (10)$$

Motivet till uppdelningen av värmetransportförloppet i två skilda temperaturintervaller är de olika typer av fysikaliska mekanismer som råder inom respektive temperaturintervall, dvs värmetransport utan och med kondensering. Angivelse av de två temperaturdifferenserna enligt ekvationerna (9) och (10) innebär således en kvantifiering av den drivande temperaturdifferensen för respektive värmetransportmekanism.

För beräkning av värmetransport vid rökgaskylning med kondensering tillgrips här ett alternativt förfarande till gängse metodik. Härvid beaktas ej explicit värmeövergångskoefficienter. Värmetransportbetingelserna karakteriseras i stället implicit av systemets temperaturdifferenser enligt ekvationerna (9) och (10) samt av driftvariabler som bränslekvalitet, bränsleflöde och CO_2 -halt.

För att formulera en beräkningsmodell för rökgaskondensering betraktas figur 1. Oberoende processvariabler är där:

- kylvattenflöde, \dot{m}_k , kg/s
- ingående kylvattens temperatur, T_{k1} , K
- rökgasflöde, som definieras av bränslekvalitet, bränsleflöde \dot{m}_b , kg/s, och rökgasens CO_2 -halt, volymandel
- rökgasens sammansättning, som definieras av bränslekvalitet och CO_2 -halt
- ingående rökgasens temperatur T_{g1} , K.

Med utgående kylvattens temperatur, T_{k2} , som beroende variabel och med ett definierat bränsle kan nu följande funktions samband formuleras:

$$T_{k2} = f_1 (\dot{m}_k, T_{k1}, \dot{m}_b, CO_2\text{-halt}, T_{g1}). \quad (11)$$

För ett definierat bränsle kan rökgasens sammansättning i stället för på basis av CO_2 -halten, anges på basis av dagtemperaturen T_d . Detta medför att ekv (11) kan skrivas som:

$$T_{k2} = f_2 (\dot{m}_k, T_{k1}, \dot{m}_b, T_d, T_{g1}). \quad (12)$$

Ekv (12) innehåller två uppsättningar enheter, nämligen kilogram per sekund och Kelvin. Med beaktande av kravet om dimensionell homogenitet och med de definierade temperaturdifferenserna enligt ekvationerna (9) och (10) kan följande modellansats göras:

$$\frac{T_{k2} - T_{k1}}{T_d - T_{k1}} = f_3 \left(\frac{T_{g1} - T_d}{T_d - T_{k1}}, \frac{\dot{m}_k}{\dot{m}_b} \right) \quad (13)$$

Ekv (13) har testats på de experimentella data som har funnits tillgängliga inom detta projekt. Det matematiska samband som har utnyttjats för att testa det ansatta funktionssambandet i ekv (13) har varit:

$$Y = P_1 + P_2 \times X_1^{P_3} \times X_2^{P_4} \quad (14)$$

där

$$Y = \frac{T_{k2} - T_{k1}}{T_d - T_{k1}} \quad (15)$$

$$X_1 = \frac{T_{g1} - T_d}{T_d - T_{k1}} \quad (16)$$

$$X_2 = \frac{\dot{m}_k}{\dot{m}_b} \quad (17)$$

P_1 , P_2 , P_3 och P_4 är parametrar som kan beräknas med regressionsanalys på basis av experimentella data och det ansatta funktionssambandet enligt ekv (14).

De experimentella data, som redovisas i det följande avsnittet, har framtagits i apparatur med processbetingelser, som delvis avviker från de som representeras av analysen ovan. I förekommande fall har ekvationerna (13) och (14) modifierats till att kunna svara mot dessa processbetingelser.

3 ANALYS AV EXPERIMENTELLA DATA OCH TEST AV MODELL

Som har nämnts i avsnitt 1 har detta arbete genomförts med experimentellt framtagna data för två kondenserande rökgaskylare. Dessa behandlas separat i nedanstående text.

3.1 Enertech Värme ABS rökgaskylare

Enertech Värme ABS kondenserande rökgaskylare befinner sig i skrivande stund under utvecklingsskedet. Produkten har ännu ej marknads lanserats. Av sekretesskäl redovisas därför kylarens apparativa utförande endast summariskt och i vissa avseenden bristfälligt. Även data för enskilda försök ges endast i begränsad omfattning. Genomförda försök redovisas i stället med de arbetsområden inom vilka de skilda driftvariablerna har varierats.

Kylaren är cylindriskt utformad med höjden ca 1,5 m. Kylning av rökgas sker genom två inbördes kopplade förlopp, dels genom direkt värmeväxling, dels genom indirekt värmeväxling. Den direkta värmeväxlingen sker med cirkulerande vatten som sprids med dysor i kylarens överdel. Cirkulationen sker med en extern pump. Detta cirkulationsflöde verkar både som kylmedium för rökgasen och som absorptionsvätska för miljöbelastande rökgaskomponenter. Kondensering av ånga från rökgasen kräver en kontinuerlig avtappning av kondensat för att upprätthålla en konstant kylvattenmängd i kylaren. Den indirekta värmeväxlingen sker till kylvatten i en värmeväxlarkrets i kylaren. I försöksupställningen har denna kylkrets varit ansluten för kylning till en sekundär och externt belägen värmeväxlare.

Experimenten har genomförts med inställning av de oberoende driftvariablerna. Därefter har de beroende driftvariablerna uppmätts. Sammanlagt har data för 61 drifttillstånd insamlats och analyserats.

De beroende och uppmätta driftvariablerna har varit utgående kylvattens temperatur i den indirekta värmeväxlarkretsen, temperatur i recirkulerande kylvatten i den direkta värmeväxlarkretsen och utgående rökgastemperatur. Denna senast nämnda temperatur har ej genomgående uppmätts. De oberoende driftvariablerna har reglerats enligt följande, där angiven siffra inom parentes anger antal sådana drifttillstånd av de totalt 61:

- kylvattenflödet i den indirekta värmeväxlarkretsen har varit konstant och lika med 0,70 kg/s och dess ingångstemperatur 15-54 °C
- cirkulationsflödet i den direkta värmeväxlarkretsen har varit 0,48-0,90 kg/s
- tre olika dysor har använts, i en delserie (3) utnyttjades två dysor parallellt
- dysorna har varit placerade på olika höjd med avståndet 0-0,5 m från kylarens tak

- försök (31) med en fyllkroppsanordning placerad i kylaren har utförts
- försök har gjorts med medströms (59) och motströms (2) värmewäxling med avseende på rökgas/kylvattenflöde i den direkta värmewäxlarkretsen
- försök har gjorts med rökgasens inflöde placerat radiellt (18) och tangentiellt (41) vid medströms samt radiellt (2) vid motströms värmewäxling
- två bränslen har använts, nämligen Eo 1 (58) och propangas (3)
- ingående rökgastemperatur har varit 150-210°C
- rökgasens dagtemperatur har vid oljeeldning varit 45,7 ±0,2 °C (56), 40,3 °C (1) och 48,3 °C (1) samt vid propangaseldning 46,3 °C (3)
- bränsleeffekt, baserat på effektivt värmevärde, har varit 143-183 kW.

En kontroll av entalpibalansen har gjorts med avseende på rökgasens entalpiminskning i rökgaskylaren och kylvattnets entalpiökning i den sekundära värmewäxlaren. Vid dessa beräkningar har flöden av rökgasens delkomponenter beräknats utifrån samband givna i ref (10). Entalpidata har erhållits från ref (11). Den genomförda kontrollen av entalpibalansen har gjorts för de driftfall som samtidigt uppfyller följande villkor: oljeeldning, dagtemperatur 45,7 °C, utgående rökgasens temperatur uppmätt och lägre än dagtemperaturen. Sammanlagt representerar nämnda betingelser 23 driftfall. För dessa driftfall ger beräkningarna att rökgasens entalpiförlust har varit 0,3-1,8 kW högre, med medelvärdet 1,1 kW, än uppmätta kyleffekter i den sekundära värmewäxlaren. Detta innebär att medelvärdet av rökgaskylarens värmeförluster är 8 procent av kyleffekten i den sekundära värmewäxlaren. Eftersom rökgaskylaren under försöken har varit oisolerad är de beräknade värmeförlusterna av rimlig storlek. Tillförlitligheten till data kan således anses bestyrkt av den genomförda kontrollen av entalpibalansen.

Dagtemperaturerna har beräknats med ett iterativt förfarande med samband givna i ref (10). Oljans (Eo 1) sammansättning har antagits vara för kol 86,1, för väte 13,2 och för svavel 0,16 massprocent. På basis av detta och uppmätta O₂-halter har de redovisade dagtemperaturerna i sammanställningen ovan beräknats. För propangaseldningen antogs gasens sammansättning vara 83,5 och 16,5 massprocent kol respektive väte.

Som har framgått av beskrivningen av Eneritech Värme ABS rökgaskylare tillkommer för den en ytterligare oberoende processvariabel relativt de betingelser som representeras av ekv (12). Denna oberoende processvariabel är kylvattenflödet i den direkta värmewäxlarkretsen och som cirkuleras genom dysorna i kylarens överdel. Detta innebär att ekv (13) för detta fall bör utvidgas till:

$$\frac{T_{k2} - T_{k1}}{T_d - T_{k1}} = f_4 \left(\frac{T_{g1} - T_d}{T_d - T_{k1}}, \frac{\dot{m}_k}{\dot{m}_b}, \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_b} \right) \quad (18)$$

där

\dot{m}_c = cirkulationsflöde genom kylarens dysor, kg/s.

Kompletta funktionssamband mellan variablerna i ekv (18) har emellertid ej testats. De begränsningar av funktionssambandet i ekv (18), som har iakttagits vid analysen, representeras delvis av funktionssambandet i ekv (14). Tre olika modeller, som samtliga utgör modifierade och delvis förenklade former av ekvationerna (14) och (18), har testats med avseende på experimentella data. Dessa modeller redovisas nedan.

Modell 1

$$Y = P_1 + P_2 \times X_1^{P_3} \times X_2^{P_4} \quad (19)$$

där

P_1 - P_4 är parametrar

Y och X_1 definieras av ekvation (15) resp (16)

$$X_2 = \frac{\dot{m}_c}{N}, \text{ kg/kJ} \quad (20)$$

\dot{m}_c = cirkulationsflödet genom dysorna, kg/s
 N = brännareffekt för $E_o 1$, kW.

Ekvationerna (19) och (20) motiveras av att kylvattenflödet \dot{m}_k enligt ekvation (17) har varit konstant under Enertech Värme ABS experiment. Som framgår är X_2 enligt ekvation (20) ingen dimensionslös variabel. Med insättning av bränslets värmevärde kan X_2 omvandlas till en dimensionslös variabel. Detta har dock inte gjorts här.

Modell 2

$$Y = P_1 + P_2 \times X_1^{P_3} \times X_2^{P_4} \quad (21)$$

där

P_1 - P_4 är parametrar

Y och X_1 definieras av ekvation (15) resp (16)

$$X_2 = N^{-1}, \text{ kW}^{-1} \quad (22)$$

N = brännareffekten för $E_o 1$, kW.

Ekvationerna (21) och (22) kan anses utgöra ett specialfall av Modell 1. Rögkylarens beroende av cirkulationsflödets genom dysorna storlek ansåts här försumbart för det aktuella driftområdet.

Modell 3

$$Y = P_1 + P_2 \times X_1^{P_3} \quad (23)$$

där

P1-P3 är parametrar

Y och X1 definieras av ekvation (15) resp (16).

Som framgår av ekvation (23) har för Modell 3 försumrats beroendet av både brännareffektens och cirkulationsflödets genomdysorna storlek.

Modellerna har med hjälp av ett på Statens provningsanstalt befintligt datorprogram för regressionsanalys, NONLIN, testats med avseende på befintliga data. Vid dessa test har data utnyttjats från 46 av de totalt 61 driftfallen. De driftfall som ej har medtagits vid regressionsanalysen är:

- propangaseldning (3 driftfall)
- luftöverskott vid oljeeldning avvikande från det motsvarande dagtemperaturen 45,7°C (2 driftfall)
- motströms värmeväxling med avseende på rökgas/dysflöde (2 driftfall)
- $(T_d - T_{k1}) < 2 \text{ °C}$ (8 driftfall)

Motivet för att utesluta de driftfall för vilka $(T_d - T_{k1}) < 2 \text{ °C}$ är dels för att det relativa mätfelet blir stort då $0 < (T_d - T_{k1}) < 2 \text{ °C}$, dels för att de formulerade modellerna antas gälla endast vid $(T_d - T_{k1}) > 0$.

Regressionsanalyserna har gett resultat som redovisas nedtill, separat för varje modell.

Modell 1

Följande resultat erhöles vid regressionsanalysen:

- parametrar

P1 = 0,1475
P2 = 0,01466
P3 = 0,995
P4 = -0,0223

- variationskoefficient = 0,073

- summan av kvadrerade residualer = 0,051.

I bilaga 1 visas en utskrift av de experimentella data på X1, X2 och Y som har legat till grund för regressionsanalysen. Vidare visas i kolumnen "Fm" funktionsvärdet beräknat enligt ekv (19) med utnyttjande av parametrar P1-P4 ovan och de oberoende variablerna X1 och X2. I kolumnen "Sres" ges värden på standardresidualen, Sres, definierad enligt:

$$Sres = \frac{Y - F_m}{F_m} \quad (24)$$

För att ge ytterligare data på den testade modellens tillförlitlighet kompletteras angivelserna av spridningsmåttan ovan med en andra beräkningsmetodik. Härvid har utgående kylvattens temperatur, T_{k2} , beräknats med Modell 1. Resultaten framgår av bilaga 2. Sammanlagt 58 av de 61 driftfallen återfinns där. Uppmätta ingående och utgående kylvattentemperaturer i den indirekta värmeväxlarkretsen finns explicit angivna i bilaga 2 för samtliga dessa driftfall. De driftfall som ej är representerade i bilaga 2 är de tre för vilka ingående kylvattens temperatur är högre än rökgasens dagtemperatur.

I den bakomliggande analys som Modell 1 är baserad på, se sid 10-13, betraktas förhållandet mellan ett kylvattenflöde och ett rökgasflöde. Ekvationerna (19) och (20) utgör således en modifierad form av ett fullständigare samband där förhållandet kylvattenflöde/ rökgasflöde ingår. Den modifierade formen, ekvationerna (19) och (20), förutsätter därför ett definierat bränsle, i detta fall Eo 1. För propangaseldning, försök nr 17 i bilaga 2, har därför en korrektionsterm införts i avsikt att ge ett ekvivalent rökgasflöde relativt oljeeldning.

Av speciellt intresse i bilaga 2 är kolumnen "DELTAKVOT", som visar det procentuella felet i modellens beräknade temperaturhöjning relativt uppmätt temperaturhöjning. Detta fel är lika med det fel modellen ger vid beräkning av energibesparing i rökgaskylaren. Resonemanget förutsätter givetvis att upptaget värme i kylvattnet kan utnyttjas.

Medelvärde av absolutvärdena av DELTAKVOT i bilaga 2 är 6,2 procent med maximala felet 17 procent.

Modell 2

Följande resultat erhöles vid regressionsanalysen:

- parametrar $P_1 = 0,1647$
 $P_2 = 0,9180 \times 10^{-3}$
 $P_3 = 1,06$
 $P_4 = -0,509$
- variationskoefficient = 0,063
- summan av kvadrerade residualer = 0,029.

Variablerna X_1 , X_2 , Y , F_m och S_{res} vilka omnämnts under Modell 1, sid 17, finns även utskrivna för Modell 2. Se bilaga 3.

Den analoga beräkningen till data enligt bilaga 2 för Modell 1 finns även gjord för Modell 2. Se bilaga 4. Observera att i bilaga 4 redovisas för försök nr 6 och 17 två uppsättningar beräkningar, som endast skiljs åt med avseende på ansatta dagtemperaturer. 45,7 °C är den dagtemperatur som representerar flertalet driftfall vid oljeeldning. Försök nr 17 utgörs av driftfallen med propangaseldning. De avvikande dagtemperaturer gentemot 45,7 °C som har angivits i bilaga 4 representerar de faktiskt rådande dagtemperaturerna vid resp driftfall.

För de data, som representerar de faktiskt rådande dagtemperaturerna, är medelvärde av absolutvärdena av DELTAKVOT i bilaga 4 5,6 procent. Maximala felet är 18 procent.

Modell 3

Följande resultat erhöjls vid regressionsanalysen:

-parametrar	P1 = 0,1448
	P2 = 0,01724
	P3 = 0,986

- variationskoefficient = 0,072
- summan av kvadrerade residualer = 0,051.

Variablerna X1, Y, Fm och Sres vilka omnämnts under Modell 1, sid 17, finns även utskrivna för Modell 3. Se bilaga 5.

Den analoga beräkningen till data enligt bilaga 2 för Modell 1 finns även gjord för Modell 3. Se bilaga 6. Vid beräkning av data i bilaga 6 har för försök nr 6 och 17 vardera två beräkningsfall med skilda daggtemperaturer utnyttjats. Detta har även gjorts för Modell 2 ovan, där skälet närmare motiveras för denna dubbla uppsättning daggtemperaturer. Det bör för Modell 3 nämnas att den med de härledda parametrarna P1-P3 är begränsad att gälla inom effektområdet 143-183 kW med Eo 1.

För de data, som representerar de faktiskt rådande daggtemperaturerna, är medelvärdet av absolutvärdena av DELTAKVOT i bilaga 6 6,3 procent. Maximala felet är 18 procent.

3.2 Rök-gaskylning Ulf Johanson ABs rök-gaskylare

För genomförande av energi- och miljötekniska mätningar ställdes till förfogande en speciellt för Statens provningsanstalt framtagna utrustning av fabrikat Rök-gaskylning Ulf Johanson AB. Någon närmare beskrivning av kylarens apparativa utformning har ej lämnats.

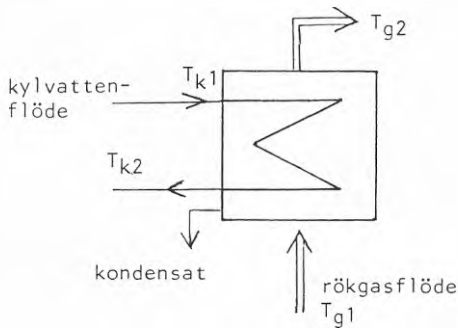
Rök-gaskylaren skall kunna fungera både som en tillsatsenhet till en befintlig panna och som en enhet för energioptimal integrering med en panna vid dess tillverkning. Det bildade kondensatet avtappades intermitterent. I kylaren var inmonterad en automatik för neutralisation av det sura kondensatet. Främst rökgasens svaveldioxid orsakar lågt pH i kondensatet, varför neutralisation krävs.

Den rök-gaskylare som mätningarna har utförts på har varit ansluten till en oljeeldad (Eol) panna av fabrikat Enertech Värme AB med beteckningen Norah 3000 och med nominella effekten 20/25 kW. För att åstadkomma det extra drag som krävdes vid nedkylningen av rökgasen vid de tre olika belastningsfallen, var kylaren försedd med en varvtalsreglerad fläkt. På grund av den begränsade information som föreligger om rök-gaskylarens apparativa utformning kommer den i den fortsatta redovisningen att behandlas som en "black box".

Som har nämnts ovan har både ett värmetekniskt mätprogram och miljömätningar genomförts. Arbetets tyngdpunkt har härvid till dominerande del legat på de värmetekniska studierna. De två delarna av studierna redovisas nedtill separat.

3.2.1 Värmetekniska studier

För att illustrera de genomförda mätningarna återges här ånyo figur 1 med figurnummer 5.



Figur 5.

Rökgasen kyls genom indirekt värmeväxling med kylvattnet, se figur 5. Kylvattnet cirkuleras i systemet och kyls i en externt belägen värmeväxlare. Försöken har genomförts med inreglering till önskade värden av de oberoende driftvariablerna. De oberoende driftvariablerna i figur 5 är kylvatten- och rökgasflöde, ingående kylvattens och ingående rökgasens temperatur samt rökgasens CO_2 -halt. Ett definierat bränsle, här Eo 1, förutsättes. Rökgasflödet har reglerats indirekt genom inställning av olje-flödet och flödet av förbränningsluft till pannan.

Kylvattenflödet har reglerats med en varvtalsstyrd pump och flödet har mätts med en summerande volymmätare. Samtliga angivna temperaturer i figur 5 har mätts med Pt 100-givare. Ingående kylvattens temperatur har ställts in till önskat värde med hjälp av den sekundära, externt belägna värmeväxlaren. Med en reglerkrets som styrt kyleffekten i denna värmeväxlare har temperaturnivån reglerats på ingående kylvatten till rökgaskylaren. Denna temperatur hölls under försöken inom $\pm 0,5$ °C relativt inställt börvärde.

Rökgasflödet har varierats genom byte av oljebrännare och genom ändring av brännarens oljetryck. CO_2 -halten bestäms av luftöverskottet, vilket har reglerats med systemets två fläktar, dvs spjället på pannans fläkt och varvtalet på rökgaskylarens fläkt.

Vid mätningarna har de oberoende driftvariablerna inställts. Vid acceptabel noggrannhet på ingående kylvattens temperatur relativt dess börvärde har en mätperiod startats. Under mätperioden har CO_2 -halt, tryck i rökgaskylaren samt aktuella temperaturer uppmätts. Vid mätperiodens slut har summerad mängd kylvatten och kondensat uppmätts. Mätperioderna har varit 10 - 40 minuter långa. Oljeflöden har mätts över tidsperioder som sträckt sig över flera mätperioder med olika drifttillstånd. Sammanlagt har mätdata insamlats för 49 skilda drifttillstånd. De oberoende driftvariablerna har härvid reglerats enligt följande, där angiven siffra inom parentes anger antal sådana drifttillstånd av de totalt 49:

- kylvattenflödet har varit 1,9 - 7,3 dm^3/h
- ingående kylvattens temperatur har varit 5 - 39 °C
- oljeflöden till pannans brännare har varit 2,2 (21), 3,0 (12), 1,6 (12) och 1,3 dm^3/h , (4)
- ingående rökgastemperatur har varit 130 - 250 °C
- CO_2 -halterna har varit 9,5 - 10,7 volymprocent räknat på torr gas.

Dagtemperaturerna har beräknats med ett iterativt förfarande med samband givna i ref (10). Bränslets sammansättning krävs för dessa beräkningar. En elementaranalys av den använda eldningsoljan gav sammansättningen 86,2, 13,3 och 0,15 massprocent för respektive kol, väte och svavel. En beräkning av dagtemperaturerna på basis av medelvärdena av CO_2 -halter och uppmätta tryck för de skilda brännareffekterna gav ett resultat enligt tabell 1 nedan.

Tabell 1.

Försök nr	Olje-flöde dm^3/h	CO_2 -halt volymprocent	Dagtemperatur °C
1-21	2,210	10,3	44,9
22-34	2,995	10,0	44,2
34-45	1,572	10,0	44,4
46-49	1,273	10,0	44,4

En kontroll av entalpibalansen har gjorts med avseende på rökgasens entalpi-minskning och kylvattnets entalpiökning i rökgaskylaren. Vid dessa beräkningar har flöden av rökgasens delkomponenter beräknats utifrån samband givna i ref (10). Entalpidata för rökgaskomponenter har erhållits från ref (11). Entalpiökningen i kylvattnet har beräknats utifrån dess temperaturer och flöden. Felet i entalpibalansen uttrycks här som differensen mellan rökgasens entalpiförlust och kylvattnets entalpiökning relativt kylvattnets entalpiökning. Nämda fel är för de studerade driftfallen 0-70 procent med medelvärdet 21 procent. Detta fel i entalpibalansen kan inte förklaras av värmeförluster från rökgaskylaren till omgivningen. Den sannolika felkällan finns i konstruktionen med rökgasfläkten och tillhörande elmotor inbyggd i den testade tillsatsenheten för rökgaskylningen. Beräkningen av rökgasens entalpiinnehåll har gjorts på basis av temperaturer uppmätta före fläkten. Emellertid leds kyl luften från fläktens elmotor in i rökgasen i kylarens kondenseringsdel. Detta orsakar en utspädning av rökgasen med en sänkning av vattenångans partialtryck. De genomförda entalpiberäkningarna ger därför en högre andel kondenserat vatten än vad som faktiskt kondenserat. Rökgasens beräknade entalpi-minskning blir därmed för hög.

Den modell som har testats med experimentella data från Rökgaskylning Ulf Johanson ABs kondenserande rökgaskylare representeras av ekvationerna (14) - (17) på sida 13. De dimensionslösa variablerna Y och X1 enligt ekvationerna (15) och (16) är baserade på uppmätta temperaturer i rökgaskylaren och på beräknade dagtemperaturer. Dessa temperaturer samt X1, X2 och Y redovisas i bilaga 7. Variabeln X2 är baserad på kylvattnet och eldningsoljans volymflödesförhållande.

Modellen enligt ekvationerna (14) - (17) har testats med data enligt bilaga 7. Följande resultat erhöles vid regressionsanalysen:

- parametrar	P1 = - 0,06817
	P2 = 2,807
	P3 = 0,541
	P4 = - 0,616

- variationskoefficient = 0,073

- summan av kvadrerade residualer = 0,035.

I bilaga 8 återges en utskrift av de experimentellt baserade X1, X2, Y samt funktionsvärdet F_m beräknat enligt ekv (14). I bilaga 8 redovisas även modellens fel uttryckt med standardresidualen definierad på sida 17.

I bilaga 9 redovisas med modellen och de framtagna parametrarna beräknade värden på utgående kylvattens temperatur, T_{k2} . Modellens fel, uttryckt som det procentuella felet i modellens beräknade temperaturhöjning relativt uppmätt temperaturhöjning, redovisas i kolumnen "DELTAKVOT" i bilaga 9. Medelvärdet av absolutvärdena av DELTAKVOT är 5,4 procent med maximala värdet 23 procent.

3.2.2 Emissionsmätningar

På den oljeeldade pannan med rökgaskylaren av fabrikat Rök-gaskylning Ulf Johanson AB har mätningar genomförts på mil-jöbelastande rökgaskomponenter. Halter av kväveoxider, svavel-dioxid, oförbrända kolväten och kvicksilver har mätts i rökgasen både före och efter den kondenserande rökgaskylaren.

En analys av erhållna data indikerar att driftbetingelserna i systemet under mätningarna har varit av den karaktären att det ej är meningsfullt att här återge halter på uppmätta rökgaskomponenter. Utspädningen av rökgasen med kyl-luft från fläktens el-motor före provtagningspunkten på rökgasen efter kylaren bidrar till osäkerheten i data.

Kondensatet från rökgaskylaren har analyserats. Dess pH var för tre separata prover 8,1, 7,4 respektive 6,6. För uppmätta järn-, zink- och kopparhalter har konstaterats att dessa över-skrider rekommenderade utsläppsnivåer till kommunala avlopps-nät enligt Statens naturvårdsverk (Allmänna Råd 85:11) och enligt Svenska vatten- och avloppsverksföreningen (VAV M20). Som har konstaterats i ref (3) härrör metallkomponenter i kondensatet delvis från utlöst material i kylarutrustningen. Analysprotokoll från analys av kondensatet återfinns i bilaga 10.

4 DISKUSSION

Tillförlitligheten till analysen och modellerna ovan har be-
styrkts av resultatet från de gjorda regressionsanalyserna med
utnyttjande av experimentella data. Att notera är hur uppdel-
ningen av värmetransportförloppen i två delförlopp enligt ekva-
tionerna (9) och (10) har gett ett bra resultat. Som framkommit
har analysen med testad modell med utnyttjande av experimentella
data från rökgaskylning Ulf Johanson ABs kylare gett ett accep-
tabelt resultat trots de brister i entalpibalansen som har kon-
staterats. Detta torde kunna förklaras av att tillförseln av
kylluft från fläktens elmotor till rökgasen kan ha orsakat ett
systematiskt fel, som har dolts vid regressionsanalysen.

De härledda modellerna bör kunna utnyttjas som en metodik för
att på basis av ett antal enkla experiment kunna interpolera
mellan olika drifttillstånd. Härvid bör med fördel grafiska
förfaranden kunna utnyttjas med Y som funktion av X_1 och med X_2
som parameter eller vice versa. Modellerna kan även användas för
optimering av processutformningen i kondenserande rökgaskylare.
För t ex Enertech Värme ABs rökgaskylare representerar de redo-
visade modellerna medelvärdesförlopp med parametrarna P1-P4 be-
räknade på basis av experimentella data från skilda processut-
formningar. Vid test för optimering av flödesbetingelserna i en
kondenserande rökgaskylare kan därvid prestanda vid enskilda
test jämföras med prestanda enligt medelvärdesförloppet.

För att kunna befästa metodiken förefaller det angeläget att ge-
nomföra ytterligare experimentella studier med test av inverkan
av driftvariabler som olika bränslen och dagtemperaturer. Så-
dana studier bör utföras i definierade geometrier som i t ex
kylda vertikala tuber och i motströms, direkt värmeväxling i
fyllkroppskolonner.

Det här redovisade arbetet och rekommendationen ovan att fort-
sätta dessa studier bör sättas in i en bredare ram för de forsk-
ningsbehov som föreligger för kondenserande rökgaskylare. Härvid
är att beakta både behovet av grundläggande karaktär för att
kunna förstå de komplicerade och inbördes kopplade förloppen med
värme- och masstransport och behovet av ingenjörsmässiga regler
för uppskalning och dimensionering av kondenserande rökgasky-
lare. Angelägna forskningsbehov för kondenserande rökgaskylare
kommer inte att här närmare diskuteras. Detta har nyligen gjorts
i en publikation utgiven av Statens energiverk (12).

Avslutningsvis kommer emellertid några synpunkter att ges an-
gående hur de härledda modellerna i detta arbete bör utvecklas
för att öka förståelsen av förloppen i kondenserande rökgas-
kylare och bli ett redskap för ingenjörsteknisk verksamhet.

Den visade metodiken för värmetransportförloppen bör testas med
en analog metodik för massöverföringsförloppen vid absorption av
miljöbelastande komponenter som t ex svaveldioxid. De drivande
krafterna för masstransporten uttrycks med koncentrationsdiffe-
renser. Experimentella studier med denna inriktning bör vara re-
lativt enkla att utföra.

Som komplement till den fyraparametersmodell enligt ekv (14), som har testats, bör andra, alternativa modeller kunna testas.

Vid uppskalning av utrustning från experiment- och testskala kan val av uppskalningskriterium utgöra ett kritiskt steg. Modeller, som de ovan redovisade, kan komma att underlätta lösningen på denna typ av problem. Från experimentella data i geometriskt likformiga system kan modeller enligt ekv (14) kvantifieras. Den geometriska likformigheten bör gälla både yt- och volymdimensioner. Genom tolkning av de framtagna modellernas parametrar för de skilda skalstorlekarna bör värdefull information kunna erhållas för att dels kunna tolka de fysikaliska förloppen, dels kunna formulera regler för skalning av kondenserande rökgaskylare.

LITTERATUR

1. Engblom, Jönsson och Lindgren
System för rökgaskondensering vid panncentraler -
Teknik, ekonomi, marknad.
Förstudie
Byggeforskningsrådet, Rapport R138:1985
2. Stadelmann
Energie mit Abgaskondensation
Gas Wärme International 32 1983 1 34-39
3. Björner
Rökgaskondensering vid oljeeldning - inverkan på
ekonomi och miljö
Arbetsrapport, MKS Miljökonserterna i
Studsvik AB, MKS-84/24 1984
4. Johanson och Lagerkvist
Värmeåtervinning och rökgasrening vid medelstora
pannor. Mätresultat från en experimentanläggning
Statens provningsanstalt 1987-03-20
5. Moberg, Westermark, Ajnefors
Rökgasrening och värmeåtervinning genom kondensering
Statens energiverk FBA-84/19 1984
6. Rökgaskondensering
Statens energiverk 1985-11-20
7. Rudling
Rökgaskondensering vid vedeldning i villapannor
Statens energiverk FBA-86/9 1986
8. Bird, Stewart, Lightfoot
Transport Phenomena
John Wiley & Sons Inc, New York 1960
9. Unik sopförbränning
Energimagasinet nr 8 1986 sid 41
10. Gundtoft och Thøgersen
Beregning af fyringsteknisk nyttevirkning for
kondenserende kedler
Energiministeriets forskningsprogram 82,
Fyrings- og forbraendingsteknik
Jydsk Teknologisk Institut, Århus nov 1983
11. Yaws
Physical Properties - A guide to the physical,
thermodynamic and transport property data of
industrially important chemical compounds
McGraw Publ Co NY
12. Flinta och Svedberg
Rökgaskondensering - utvecklingsläge och
forskningsbehov
Statens energiverk FBT-87/17 1987

REFERAT

Den ursprungliga avsikten med detta arbete har varit att undersöka en kondenserande rökgaskylare ansluten till en oljeeldad villapanna. Undersökningen har därvid avsett energibesparing och rökgasrening. Vid den litteraturstudie som har gjorts, har det befunnits att befintlig metodik är bristfällig för dimensionering och beräkning av kondenserande rökgaskylares prestanda vid skilda driftbetingelser. Arbetet har därför i stor utsträckning inriktats på att åtgärda nämnda brister. Ett mindre mätprogram för emissionsmätningar har även genomförts.

Ett stort antal energitekniska data har insamlats och bearbetats. Dessa data härrör från experiment med två olika utformade kondenserande rökgaskylare anslutna till oljeeldade pannor med nominella effekterna ca 20 respektive 160 kW. Matematiska modeller har formulerats för värmetransportförlopp i kondenserande rökgaskylare.

Modellerna ger kylvattnets temperaturökning som en funktion av panneffekt, dagtemperatur, temperatur i rökgas till rökgaskylaren, kylvattenflöde och temperatur i kylvatten till rökgaskylaren.

Med utnyttjande av de experimentella data och regressionsanalys har modellerna testats och dess parametrar beräknats. Antalet erforderliga parametrar är 3-4. Med vid regressionsanalysen, beräknade variationskoefficienter 0,06-0,09 kan de framtagna modellerna anses ge en god överensstämmelse med experimentella data.

Rapporten föreslås i sammanfattad form bli erbjuden för publicering i någon värmeteknisk, tysk- eller engelskspråkig facktidsskrift.

Obs (nr)	X2 ()	X1 ()	Y ()	Fm ()	Sres ()
1	0.00319	13.200	0.3470	0.3649	-.04893
2	0.00319	23.560	0.4910	0.5344	-.08126
3	0.00319	11.720	0.3480	0.3406	0.02177
4	0.00319	6.3360	0.2560	0.2522	0.01519
5	0.00319	45.580	0.8390	0.8938	-.06133
6	0.00319	5.9620	0.2360	0.2460	-.04072
7	0.00319	10.090	0.3070	0.3138	-.02180
8	0.00401	6.1600	0.2680	0.2488	0.07736
9	0.00401	10.860	0.3590	0.3256	0.1027
10	0.00401	34.710	0.7560	0.7136	0.05936
Tryck p>	<RETURN>	f1r forts.	(Avbryt med <CTRL/Z>.)		
11	0.00264	6.3450	0.2490	0.2528	-.01488
12	0.00264	10.530	0.3240	0.3218	0.00684
13	0.00264	38.190	0.7570	0.7760	-.02445
14	0.00264	11.020	0.3360	0.3299	0.01858
15	0.00264	5.9790	0.2440	0.2467	-.01101
16	0.00264	34.830	0.7000	0.7209	-.02901
17	0.00264	4.6980	0.2230	0.2255	-.01126
18	0.00401	5.8430	0.2620	0.2436	0.07568
19	0.00401	11.740	0.3760	0.3399	0.1061
20	0.00401	67.290	1.3100	1.2417	0.05498
21	0.00455	5.9530	0.2630	0.2451	0.07306
22	0.00455	10.900	0.3680	0.3257	0.1298
23	0.00455	68.650	1.3500	1.2606	0.07092
24	0.00401	5.9050	0.2550	0.2446	0.04259
25	0.00401	11.480	0.3630	0.3357	0.08137
26	0.00401	4.6300	0.2260	0.2237	0.01028
27	0.00513	15.720	0.3580	0.4034	-0.1126
28	0.00513	6.4080	0.2250	0.2522	-0.1080
29	0.00513	4.3240	0.1870	0.2183	-0.1434
30	0.00513	5.3660	0.2090	0.2353	-0.1117
Tryck p>	<RETURN>	f1r forts.	(Avbryt med <CTRL/Z>.)		
31	0.00513	10.250	0.3010	0.3147	-.04349
32	0.00513	45.430	0.8330	0.8835	-.05718
33	0.00513	6.5020	0.2370	0.2538	-.06607
34	0.00513	13.360	0.3580	0.3652	-.01959
35	0.00513	79.150	1.3500	1.4266	-.05368
36	0.00513	6.0690	0.2150	0.2467	-0.1286
37	0.00513	12.260	0.3200	0.3473	-.07863
38	0.00629	6.6380	0.2370	0.2555	-.07236
39	0.00629	12.930	0.3510	0.3572	-.01742
40	0.00492	9.1840	0.3360	0.2975	0.1294
41	0.00492	22.530	0.5910	0.5140	0.1498
42	0.00497	5.1930	0.2330	0.2325	0.00208
43	0.00497	9.6470	0.3160	0.3050	0.03605
44	0.00497	43.210	0.8280	0.8482	-.02383
45	0.00497	6.1500	0.2560	0.2481	0.03180
46	0.00497	13.040	0.3790	0.3601	0.05245

Modell 1

Bilaga 2.1

P1 = .1474784
 P2 = .01465695
 P4 = -.02233
 P3 = .9954084

TV1 ar uppmatt temperatur pa ingaende kylvatten, grad C
 TV2UPPM ar uppmatt temperatur pa utgaende kylvatten, grad C
 TV2BER ar beraknad temperatur pa utgaende kylvatten, grad C
 DELTATEMP ar differensen mellan beraknad och uppmatt utgaende
 kylvattens temperatur, grad C
 DELTAKVOT ar forhallandet mellan DELTATEMP och kylvattens
 temperaturokning

BERAKNINGSSERIE = 22

FOR-	TV1	TV2UPPM	TV2BER	DELTATEMP	DAGSTEMP	DELTAKVOT
SOK	GRAD C	GRAD C	GRAD C	GRAD C	GRAD C	%
NR						
1	35.65	39.2	39.3	.1	45.7	3.6
1	40	42.8	43	.2	45.7	8.8
1	43.9	46.1	46.4	.3	45.7	12.5
2	33.9	38	37.9	-.1	45.7	-2
2	23.4	29.1	29	-.1	45.7	-1.3
2	42.6	45.2	45.4	.2	45.7	6.6
2	22	27.6	27.8	.2	45.7	4.1
2	31.7	36	36.1	.1	45.7	2.2
3	22.6	28.8	28.3	-.5	45.7	-7.3
3	32.6	37.3	36.9	-.4	45.7	-9.2
3	41.6	44.7	44.5	-.2	45.7	-5.6
4	21.2	26.6	27	.4	45.7	7.5
4	30.4	34.7	34.8	.1	45.7	3.4
5	22.8	28.5	28.6	.1	45.7	1.5
5	31.8	36.3	36.3	0	45.7	-.6
5	42	44.8	44.9	.1	45.7	2.5
5	32.6	37	36.9	-.1	45.7	-1.8
5	21.9	27.7	27.8	.1	45.7	1.2
5	41.7	44.5	44.6	.1	45.7	3
6	31.6	36.2	35.4	-.8	40.3	-17.3
6	30.6	35.1	35.4	.3	48.8	5.8
7	15.2	22	22.1	.1	45.7	1.2
8	22.25	28.4	28	-.4	45.7	-7.1
8	34	38.4	38	-.4	45.7	-9.6
8	43.65	46.4	46.2	-.2	45.7	-5.5
9	22.35	28.5	28.1	-.4	45.7	-6.9
9	33.2	37.8	37.3	-.5	45.7	-11.5
9	43.7	46.4	46.2	-.2	45.7	-6.6
10	21.6	27.75	27.5	-.3	45.7	-4.2
10	33.3	37.8	37.5	-.3	45.7	-7.5
11	44.35	47	46.8	-.2	45.7	-6.6
10	15.4	22.25	22.2	-.1	45.7	-1
11	39	41.4	41.7	.3	45.7	12.6
11	28.8	32.6	33.1	.5	45.7	12.2
11	19.5	24.4	25.2	.8	45.7	16.7
12	20.3	25.6	26.3	.7	45.7	12.8
12	32.4	36.4	36.6	.2	45.7	4.6
12	42.7	45.2	45.4	.2	45.7	6
13	21.2	27	27.4	.4	45.7	7.2
13	33.7	38	38.1	.1	45.7	1.9
13	43.7	46.4	46.6	.2	45.7	5.7
14	21.1	26.4	27.2	.8	45.7	14.5
14	33.2	37.2	37.5	.3	45.7	8.6
14	44.75	47.2	47.5	.3	45.7	11.7

15	21.4	27.15	27.6	.5	45.7	8
15	33.3	37.65	37.7	.1	45.7	1.8
15	44.8	47.4	47.5	.1	45.7	3.9
16	24	31.3	30.5	-.8	45.7	-11.6
16	36.9	42.1	41.4	-.7	45.7	-13
17	21.6	27.9	27.3	-.6	46.3	-9.1
17	33	37.5	37	-.5	46.3	-10.6
17	44.3	46.7	46.6	-.1	46.3	-4.5
18	20.8	26.6	26.6	0	45.7	-.2
18	32.4	36.6	36.5	-.1	45.7	-3.4
18	42.8	45.2	45.3	.1	45.7	2.5
19	21.1	27.4	27.2	-.2	45.7	-3.1
19	34.1	38.5	38.3	-.2	45.7	-5
19	44.3	46.95	46.9	0	45.7	0

Obs (nr)	X2 ()	X1 ()	Y ()	Fm ()	Sres ()
1	0.00546	13.200	0.3470	0.3654	-0.05043
2	0.00546	23.560	0.4910	0.5357	-0.08339
3	0.00546	11.720	0.3480	0.3417	0.01858
4	0.00546	6.3360	0.2560	0.2569	-0.00350
5	0.00546	45.580	0.8390	0.9115	-0.07952
6	0.00546	5.9620	0.2360	0.2511	-0.06029
7	0.00546	10.090	0.3070	0.3157	-0.02749
8	0.00546	6.1600	0.2680	0.2542	0.05434
9	0.00546	10.860	0.3590	0.3279	0.09478
10	0.00546	34.710	0.7560	0.7241	0.04401
Tryck på	<RETURN>	för forts.	(Avbryt med	<CTRL/Z>.)	
11	0.00546	6.3450	0.2490	0.2570	-0.03127
12	0.00546	10.530	0.3240	0.3227	0.00413
13	0.00546	38.190	0.7570	0.7838	-0.03416
14	0.00546	11.020	0.3360	0.3305	0.01673
15	0.00546	5.9790	0.2440	0.2514	-0.02945
16	0.00546	34.830	0.7000	0.7262	-0.03606
17	0.00546	4.6980	0.2230	0.2319	-0.03818
18	0.00546	5.8430	0.2620	0.2493	0.05088
19	0.00546	11.740	0.3760	0.3420	0.09950
20	0.00546	67.290	1.3100	1.2934	0.01287
21	0.00546	5.9530	0.2630	0.2510	0.04779
22	0.00546	10.900	0.3680	0.3286	0.1200
23	0.00546	68.650	1.3500	1.3176	0.02462
24	0.00546	5.9050	0.2550	0.2503	0.01891
25	0.00546	11.480	0.3630	0.3378	0.07456
26	0.00546	4.6300	0.2260	0.2308	-0.02090
27	0.00699	15.720	0.3580	0.3778	-0.05237
28	0.00699	6.4080	0.2250	0.2470	-0.08911
29	0.00699	4.3240	0.1870	0.2190	-0.1459
30	0.00699	5.3660	0.2090	0.2329	-0.1026
Tryck på	<RETURN>	för forts.	(Avbryt med	<CTRL/Z>.)	
31	0.00699	10.250	0.3010	0.3001	0.00294
32	0.00699	45.430	0.8330	0.8211	0.01447
33	0.00699	6.5020	0.2370	0.2483	-0.04547
34	0.00699	13.360	0.3580	0.3440	0.04059
35	0.00699	79.150	1.3500	1.3472	0.00206
36	0.00699	6.0690	0.2150	0.2424	-0.1130
37	0.00699	12.260	0.3200	0.3284	-0.02564
38	0.00699	6.6380	0.2370	0.2501	-0.05255
39	0.00699	12.930	0.3510	0.3379	0.03870
40	0.00546	9.1840	0.3360	0.3013	0.1150
41	0.00546	22.530	0.5910	0.5185	0.1398
42	0.00552	5.1930	0.2330	0.2390	-0.02494
43	0.00552	9.6470	0.3160	0.3079	0.02643
44	0.00552	43.210	0.8280	0.8665	-0.04439
45	0.00552	6.1500	0.2560	0.2535	0.00971
46	0.00552	13.040	0.3790	0.3618	0.04768
Tryck på	<RETURN>	för forts.	(Avbryt med	<CTRL/Z>.)	

P1 = .164739
 P2 = .0009179522
 P4 = -.508999
 P3 = 1.060292

TV1 är uppmätt temperatur på ingående kylvatten, grad C
 TV2UPPM är uppmätt temperatur på utgående kylvatten, grad C
 TV2BER är beräknad temperatur på utgående kylvatten, grad C
 DELTATEMP är differensen mellan beräknad och uppmätt utgående
 kylvattens temperatur, grad C
 DELTAKVOT är förhållandet mellan DELTATEMP och kylvattens
 temperaturokning

BERAKNINGSSERIE = 32

NR	FÖR-, SÖK ,	TV1 GRAD C,	TV2UPPM GRAD C ,	TV2BER GRAD C ,	DELTATEMP GRAD C ,	DAGGTEMP GRAD C ,	DELTAKVOT %
1		35.65	39.2	39.3	.1	45.7	3.7
1		40	42.8	43.1	.3	45.7	9.1
1		43.9	46.1	46.5	.4	45.7	17.3
2		33.9	38	37.9	-.1	45.7	-1.7
2		23.4	29.1	29.1	0	45.7	.5
2		42.6	45.2	45.4	.2	45.7	8.7
2		22	27.6	28	.4	45.7	6.3
2		31.7	36	36.1	.1	45.7	2.8
3		22.6	28.8	28.5	-.3	45.7	-5.3
3		32.6	37.3	36.9	-.4	45.7	-8.6
3		41.6	44.7	44.6	-.1	45.7	-4.2
4		21.2	26.6	27.2	.6	45.7	10.3
4		30.4	34.7	34.9	.2	45.7	4.6
5		22.8	28.5	28.7	.2	45.7	3.3
5		31.8	36.3	36.3	0	45.7	-.4
5		42	44.8	44.9	.1	45.7	3.6
5		32.6	37	36.9	-.1	45.7	-1.6
5		21.9	27.7	27.9	.2	45.7	3.2
5		41.7	44.5	44.6	.1	45.7	3.7
6		31.6	36.2	36.1	-.1	45.7	-1.5
6		31.6	36.2	35.4	-.8	40.3	-17.5
6		30.6	35.1	35	-.1	45.7	-2.5
6		30.6	35.1	35.4	.3	48.8	7.3
7		15.2	22	22.3	.3	45.7	4
8		22.25	28.4	28.1	-.3	45.7	-4.9
8		34	38.4	38	-.4	45.7	-9.1
8		43.65	46.4	46.4	0	45.7	-1.4
9		22.35	28.5	28.2	-.3	45.7	-4.6
9		33.2	37.8	37.3	-.5	45.7	-10.7
9		43.7	46.4	46.3	-.1	45.7	-2.4
10		21.6	27.75	27.6	-.1	45.7	-1.9
10		33.3	37.8	37.5	-.3	45.7	-6.9
10		44.35	47	47	0	45.7	-.4
10		15.4	22.25	22.4	.1	45.7	2.1

11	39	41.4	41.5	.1	45.7	5.5
11	28.8	32.6	33	.4	45.7	9.9
11	19.5	24.4	25.2	.8	45.7	17.1
12	20.3	25.6	26.2	.6	45.7	11.6
12	32.4	36.4	36.4	0	45.7	-2
12	42.7	45.2	45.2	0	45.7	-1.5
13	21.2	27	27.3	.3	45.7	4.9
13	33.7	38	37.8	-.2	45.7	-4
13	43.7	46.4	46.4	0	45.7	-2
14	21.1	26.4	27.1	.7	45.7	12.5
14	33.2	37.2	37.3	.1	45.7	2.6
14	44.75	47.2	47.4	.2	45.7	9.4
15	21.4	27.15	27.5	.3	45.7	5.7
15	33.3	37.65	37.5	-.2	45.7	-3.7
15	44.8	47.4	47.5	.1	45.7	2.4
16	24	31.3	30.5	-.8	45.7	-10.4
16	36.9	42.1	41.5	-.6	45.7	-12.2
17	21.6	27.9	27.5	-.4	45.7	-6.5
17	21.6	27.9	27.6	-.3	46.3	-5.1
17	33	37.5	37.1	-.4	45.7	-9.5
17	33	37.5	37.2	-.3	46.3	-7.7
17	44.3	46.7	46.7	0	45.7	1.4
17	44.3	46.7	46.8	.1	46.3	3.1
18	20.8	26.6	26.8	.2	45.7	2.6
18	32.4	36.6	36.5	-.1	45.7	-2.5
18	42.8	45.2	45.3	.1	45.7	4.7
19	21.1	27.4	27.3	-.1	45.7	-1
19	34.1	38.5	38.3	-.2	45.7	-4.6
19	44.3	46.95	47.1	.2	45.7	6.7

Obs (nr)	X1 ()	Y ()	Fm ()	Sres ()
1	13.200	0.3470	0.3644	-.04764
2	23.560	0.4910	0.5335	-.07972
3	11.720	0.3480	0.3401	0.02334
4	6.3360	0.2560	0.2513	0.01881
5	45.580	0.8390	0.8900	-.05731
6	5.9620	0.2360	0.2451	-.03703
7	10.090	0.3070	0.3133	-.01998
8	6.1600	0.2680	0.2484	0.07909
9	10.860	0.3590	0.3259	0.1015
10	34.710	0.7560	0.7144	0.05818
Tryck på	<RETURN>	för forts.	(Avbryt med	<CTRL/Z>.)
11	6.3450	0.2490	0.2514	-.00964
12	10.530	0.3240	0.3205	0.01092
13	38.190	0.7570	0.7707	-.01779
14	11.020	0.3360	0.3286	0.02265
15	5.9790	0.2440	0.2454	-.00553
16	34.830	0.7000	0.7164	-.02286
17	4.6980	0.2230	0.2241	-.00482
18	5.8430	0.2620	0.2431	0.07774
19	11.740	0.3760	0.3404	0.1046
20	67.290	1.3100	1.2390	0.05728
21	5.9530	0.2630	0.2449	0.07380
22	10.900	0.3680	0.3266	0.1268
23	68.650	1.3500	1.2608	0.07072
24	5.9050	0.2550	0.2441	0.04453
25	11.480	0.3630	0.3361	0.07997
26	4.6300	0.2260	0.2229	0.01368
27	15.720	0.3580	0.4056	-0.1174
28	6.4080	0.2250	0.2525	-0.1088
29	4.3240	0.1870	0.2179	-0.1416
30	5.3660	0.2090	0.2352	-0.1113
Tryck på	<RETURN>	för forts.	(Avbryt med	<CTRL/Z>.)
31	10.250	0.3010	0.3159	-.04714
32	45.430	0.8330	0.8876	-.06150
33	6.5020	0.2370	0.2540	-.06702
34	13.360	0.3580	0.3670	-.02447
35	79.150	1.3500	1.4290	-.05528
36	6.0690	0.2150	0.2468	-0.1290
37	12.260	0.3200	0.3489	-.08291
38	6.6380	0.2370	0.2563	-.07521
39	12.930	0.3510	0.3599	-.02480
40	9.1840	0.3360	0.2983	0.1263
41	22.530	0.5910	0.5168	0.1436
42	5.1930	0.2330	0.2323	0.00297
43	9.6470	0.3160	0.3060	0.03281
44	43.210	0.8280	0.8518	-.02791
45	6.1500	0.2560	0.2482	0.03146
46	13.040	0.3790	0.3617	0.04774

Modell 3

P1 = .1448223
 P2 = .0172357
 P3 = .9861735

TV1 ar uppmatt temperatur pa ingaende kylvatten, grad C
 TV2UPPM ar uppmatt temperatur pa utgaende kylvatten, grad C
 TV2BER ar beraknad temperatur pa utgaende kylvatten, grad C
 DELTATEMP ar differensen mellan beraknad och uppmatt utgaende
 kylvattens temperatur, grad C
 DELTAKVOT ar forhllandet mellan DELTATEMP och kylvattens
 temperaturokning

BERAKNINGSSERIE = 12

FOR-, TV1 , TV2UPPM , TV2BER ,DELTATEMP , DAGGTEMP ,DELTAKVOT
 SOK , GRAD C, GRAD C , GRAD C , GRAD C , GRAD C , %

NR	TV1	TV2UPPM	TV2BER	DELTATEMP	DAGGTEMP	DELTAKVOT
1	35.65	39.2	39.3	.1	45.7	3.4
1	40	42.8	43	.2	45.7	8.6
1	43.9	46.1	46.4	.3	45.7	11.7
2	33.9	38	37.9	-.1	45.7	-2.1
2	23.4	29.1	29	-.1	45.7	-1.7
2	42.6	45.2	45.4	.2	45.7	6.1
2	22	27.6	27.8	.2	45.7	3.7
2	31.7	36	36.1	.1	45.7	2
3	22.6	28.8	28.3	-.5	45.7	-7.5
3	32.6	37.3	36.9	-.4	45.7	-9.1
3	41.6	44.7	44.5	-.2	45.7	-5.5
4	21.2	26.6	27	.4	45.7	7.3
4	30.4	34.7	34.8	.1	45.7	3.4
5	22.8	28.5	28.6	.1	45.7	1
5	31.8	36.3	36.3	0	45.7	-1
5	42	44.8	44.9	.1	45.7	1.8
5	32.6	37	36.9	-.1	45.7	-2.2
5	21.9	27.7	27.7	0	45.7	.7
5	41.7	44.5	44.6	.1	45.7	2.3
6	31.6	36.2	36.1	-.1	45.7	-2.2
6	31.6	36.2	35.4	-.8	40.3	-17.6
6	30.6	35.1	34.9	-.2	45.7	-3.7
6	30.6	35.1	35.3	.2	48.8	5.3
7	15.2	22	22	0	45.7	.5
8	22.25	28.4	28	-.4	45.7	-7.2
8	34	38.4	38	-.4	45.7	-9.5
8	43.65	46.4	46.2	-.2	45.7	-5.7
9	22.35	28.5	28.1	-.4	45.7	-6.9
9	33.2	37.8	37.3	-.5	45.7	-11.2
9	43.7	46.4	46.2	-.2	45.7	-6.6
10	21.6	27.75	27.5	-.3	45.7	-4.3
10	33.3	37.8	37.5	-.3	45.7	-7.4
10	44.35	47	46.8	-.2	45.7	-7
10	15.4	22.25	22.2	-.1	45.7	-1.4
11	39	41.4	41.7	.3	45.7	13.2
11	28.8	32.6	33.1	.5	45.7	12.3
11	19.5	24.4	25.2	.8	45.7	16.5
12	20.3	25.6	26.3	.7	45.7	12.7
12	32.4	36.4	36.6	.2	45.7	5
12	42.7	45.2	45.4	.2	45.7	6.5
13	21.2	27	27.4	.4	45.7	7.3
13	33.7	38	38.1	.1	45.7	2.4
13	43.7	46.4	46.6	.2	45.7	5.9
14	21.1	26.4	27.2	.8	45.7	14.6
14	33.2	37.2	37.6	.4	45.7	9.1
14	44.75	47.2	47.5	.3	45.7	11.3

15	21.4	27.15	27.6	.5	45.7	8.3
15	33.3	37.65	37.8	.1	45.7	2.6
15	44.8	47.4	47.5	.1	45.7	3.9
16	24	31.3	30.5	-.8	45.7	-11.3
16	36.9	42.1	41.4	-.7	45.7	-12.5
17	21.6	27.9	27.2	-.7	45.7	-10.6
17	21.6	27.9	27.3	-.6	46.3	-9.3
17	33	37.5	36.9	-.6	45.7	-12.3
17	33	37.5	37	-.5	46.3	-10.5
17	44.3	46.7	46.5	-.2	45.7	-8.3
17	44.3	46.7	46.6	-.1	46.3	-4.7
18	20.8	26.6	26.6	0	45.7	-.3
18	32.4	36.6	36.5	-.1	45.7	-3.1
18	42.8	45.2	45.3	.1	45.7	2.9
19	21.1	27.4	27.2	-.2	45.7	-3.1
19	34.1	38.5	38.3	-.2	45.7	-4.6
19	44.3	46.95	46.9	0	45.7	-.1

Försök nr	Rökgas T _{g1} °C	T _{g2}	T _{k1} °C	T _{k2}	T _{k2-T_{k1}} K	T _d °C	T _{d-T_{k1}} K	X1 $\frac{T_{g1}-T_d}{T_d-T_{k1}}$	Y $\frac{T_{k2}-T_{k1}}{T_d-T_{k1}}$	X2 Volymflöde vatten Volymflöde olja
1	210	30,4	5,4	25,0	19,6	44,9	39,5	4,180	0,4962	50,65
2	210	22,7	5,4	17,7	12,3	44,9	39,5	4,205	0,3114	97,30
3	210	21,5	6,4	14,3	7,9	44,9	38,5	4,288	0,2052	155,71
4	209	19,8	7,4	14,0	6,6	44,9	37,5	4,376	0,1760	182,80
5	209	19,9	7,4	14,0	6,6	44,9	37,5	4,376	0,1760	189,79
6	209	31,9	6,8	24,8	18,0	44,9	38,1	4,307	0,4724	56,47
7	210	26,2	7,2	18,3	11,1	44,9	37,7	4,379	0,2944	99,59
8	209	22,6	7,1	14,2	7,1	44,9	37,8	4,341	0,1878	158,29
9	209	37,3	15,8	25,7	9,9	44,9	29,1	5,639	0,3402	106,30
10	209	-	15,3	22,0	6,7	44,9	29,6	5,544	0,2264	166,68
1	205	24,4	15,5	22,3	6,8	44,9	29,4	5,446	0,2313	179,54
2	206	33,7	13,3	30,7	17,4	44,9	31,6	5,098	0,5506	55,92
3	207	31,7	23,3	30,0	6,7	44,9	21,6	7,505	0,3102	149,78
4	204	31,6	23,5	28,8	5,3	44,9	21,4	7,435	0,2477	197,09
15	207	29,7	23,2	28,2	5,0	44,9	21,7	7,470	0,2304	196,06
6	210	37,3	23,3	37,3	14,0	44,9	21,6	7,644	0,6481	57,64
17	208	33,6	23,6	32,2	8,6	44,9	21,3	7,657	0,4038	104,46
18	207	38,7	33,5	37,8	4,3	44,9	11,4	14,22	0,3772	166,6
9	209	43,9	34,1	43,0	8,9	44,9	10,8	15,19	0,8241	61,0
20	209	40,6	33,1	39,8	6,7	44,9	11,8	13,91	0,5678	105,6
1	210	38,6	33,5	37,6	4,1	44,9	11,4	14,48	0,3596	194,5
2	248	29,5	16,2	26,7	10,5	44,2	28,0	7,279	0,3750	122,53
3	248	35,0	16,6	26,0	9,4	44,2	27,6	7,384	0,3406	141,04
4	248	38,3	16,5	31,3	14,8	44,2	27,7	7,357	0,5343	78,06
25	249	44,1	16,4	37,5	21,1	44,2	27,8	7,367	0,7590	42,97

Försök nr	Rökgas T_{g1} oC	T_{g2}	T_{k1} oC	T_{k2}	T_{k2-T} K	T_d oC	T_d-T K	$\frac{T_{g1}-T_d}{T_d-T}$ k1	Y $\frac{T_{k2-T}}{T_d-T}$ k1	X2 Volymflöde vatten Volymflöde olja
6	249	49,5	26,2	42,7	16,5	44,2	18,0	11,38	0,9167	42,97
7	249	45,3	26,5	38,2	11,7	44,2	17,7	11,57	0,6610	79,34
8	248	43,9	26,7	35,0	8,3	44,2	17,5	11,65	0,4743	122,05
9	248	42,5	26,7	34,1	7,4	44,2	17,5	11,65	0,4229	141,16
30	250	52,5	38,0	45,7	7,7	44,2	6,2	33,19	1,2419	79,19
1	250	56,0	37,5	48,5	11,0	44,2	6,7	30,72	1,6418	45,20
2	251	56,6	38,7	44,2	5,5	44,2	5,5	37,60	1,000	122,72
33	253	46,7	38,7	43,6	4,9	44,2	5,5	37,96	0,8909	141,82
34	155	34,2	21,2	29,8	8,6	44,4	23,2	4,767	0,3707	113,13
35	164	30,5	21,0	26,2	5,2	44,4	23,4	5,111	0,2222	149,66
6	162	28,0	21,0	24,7	3,7	44,4	23,4	5,026	0,1581	228,3
7	161	29,2	21,2	24,3	3,1	44,4	23,2	5,026	0,1336	271,3
8	160	25,2	15,0	18,6	3,6	44,4	29,4	3,932	0,1224	271,3
9	159	25,4	15,0	18,8	3,8	44,4	29,4	3,898	0,1293	233,1
40	155	22,5	15,1	20,4	5,3	44,4	29,3	3,775	0,1809	147,1
1	170	29,0	15,2	25,4	10,2	44,4	29,2	4,301	0,3493	71,0
2	152	37,9	32,7	35,4	2,7	44,4	11,7	9,197	0,2308	281,9
3	154	37,8	32,7	35,1	2,4	44,4	11,7	9,368	0,2051	333,7
4	156	39,0	33,0	36,6	3,6	44,4	11,4	9,790	0,3158	185,6
45	151	15,9	8,5	12,2	3,7	44,4	35,9	2,969	0,1031	281,9
6	140	17,4	8,8	13,6	4,8	44,4	35,6	2,685	0,1348	181,0
7	136	20,0	9,0	16,4	7,4	44,4	35,4	2,588	0,2090	97,6
8	145	21,0	10,0	12,6	2,6	44,4	34,4	2,924	0,0756	331,6
49	129	38,3	31,0	35,6	4,6	44,4	13,4	6,313	0,3433	119,1

1987-06-18

Obs (nr)	X2 ()	X1 ()	Y ()	Fm ()	Sres ()
1	50.650	4.1800	0.4962	0.4749	0.04482
2	97.300	4.2050	0.3114	0.2963	0.05089
3	155.71	4.2880	0.2052	0.2076	-0.01155
4	182.80	4.3760	0.1760	0.1844	-0.04569
5	189.78	4.3760	0.1760	0.1787	-0.01491
6	56.470	4.3070	0.4724	0.4480	0.05440
7	99.590	4.3790	0.2944	0.2991	-0.01574
8	158.29	4.3410	0.1878	0.2066	-0.09118
9	106.30	5.6390	0.3402	0.3364	0.01130
10	166.68	5.5440	0.2264	0.2357	-0.03954
Tryck p)	<RETURN>	f	l	r forts. (Avbryt med <CTRL/Z>.)	
11	179.54	5.4460	0.2313	0.2193	0.05454
12	55.920	5.0980	0.5506	0.5008	0.09952
13	149.78	7.5050	0.3102	0.3142	-0.01273
14	197.09	7.4350	0.2477	0.2531	-0.02136
15	196.06	7.4700	0.2304	0.2550	-0.09634
16	57.640	7.6440	0.6481	0.6271	0.03346
17	104.46	7.6570	0.4038	0.4144	-0.02558
18	166.60	14.220	0.3772	0.4379	-0.1386
19	61.000	15.190	0.8241	0.9055	-0.08989
20	105.60	13.910	0.5678	0.5940	-0.04410
21	194.50	14.480	0.3596	0.3964	-0.09290
22	122.53	7.2790	0.3750	0.3574	0.04917
23	141.04	7.3840	0.3406	0.3251	0.04753
24	78.060	7.3570	0.5343	0.4969	0.07535
25	42.970	7.3670	0.7590	0.7485	0.01407
26	42.970	11.380	0.9167	0.9651	-0.05019
27	79.340	11.570	0.6610	0.6465	0.02235
28	122.05	11.650	0.4743	0.4821	-0.01619
29	141.16	11.650	0.4229	0.4350	-0.02773
30	79.190	33.190	1.2419	1.1975	0.03708
Tryck p)	<RETURN>	f	l	r forts. (Avbryt med <CTRL/Z>.)	
31	45.200	30.720	1.6418	1.6462	-0.00266
32	122.72	37.600	1.0000	0.9658	0.03543
33	141.82	37.960	0.8909	0.8826	0.00945
34	113.13	4.7670	0.3707	0.2873	0.2901
35	149.66	5.1110	0.2222	0.2426	-0.08400
36	228.30	5.0260	0.1581	0.1693	-0.06594
37	271.30	5.0260	0.1336	0.1453	-0.08069
38	271.30	3.9320	0.1224	0.1188	0.03058
39	233.10	3.8980	0.1293	0.1361	-0.05008
40	147.10	3.7750	0.1809	0.1984	-0.08820
41	71.000	4.3010	0.3493	0.3798	-0.08033
42	281.90	9.1970	0.2308	0.2210	0.04433
43	333.70	9.3680	0.2051	0.1951	0.05133
44	185.60	9.7900	0.3158	0.3187	-0.00922
45	281.90	2.9690	0.1031	0.08866	0.1629
46	181.00	2.6850	0.1348	0.1269	0.06194
47	97.600	2.5880	0.2090	0.2116	-0.01224
48	331.60	2.9240	0.07560	0.07257	0.04176
49	119.10	6.3130	0.3433	0.3328	0.03151

P1 = -.066167
 P2 = 2.8073
 P4 = -.6157
 P3 = .5412

TV1 är uppmätt temperatur på ingående kylvatten, grad C
 TV2UPPM är uppmätt temperatur på utgående kylvatten, grad C
 TV2BER är beräknad temperatur på utgående kylvatten, grad C
 DELTATEMP är differensen mellan beräknad och uppmätt utgående
 kylvattens temperatur, grad C
 DELTAKVOT är förhållandet mellan DELTATEMP och kylvattens
 temperaturökning

BERÄKNINGSSERIE = 200

NR	FOR- SOK	TV1 GRAD C	TV2UPPM GRAD C	TV2BER GRAD C	DELTATEMP GRAD C	DAGGTEMP GRAD C	DELTAKVOT %
1		5.4	25	24.2	-.8	44.9	-4.3
2		5.4	17.7	17.1	-.6	44.9	-4.8
3		6.4	14.3	14.4	.1	44.9	1.2
4		7.4	14	14.3	.3	44.9	4.8
5		7.4	14	14.1	.1	44.9	1.5
6		6.8	24.8	23.9	-.9	44.9	-5.1
7		7.2	18.3	18.5	.2	44.9	1.6
8		7.1	14.2	14.9	.7	44.9	10.1
9		15.8	25.7	25.6	-.1	44.9	-1.1
10		15.3	22	22.3	.3	44.9	4.2
11		15.5	22.3	22	-.3	44.9	-5.1
12		13.3	30.7	29.1	-1.6	44.9	-9
13		23.3	30	30.1	.1	44.9	1.3
14		23.5	28.8	28.9	.1	44.9	2.2
15		23.2	28.2	28.7	.5	44.9	10.7
16		23.3	37.3	36.8	-.5	44.9	-3.2
17		23.6	32.2	32.4	.2	44.9	2.7
18		33.5	37.8	38.5	.7	44.9	16.1
19		34.1	43	43.9	.9	44.9	9.9
20		33.1	39.8	40.1	.3	44.9	4.6
21		33.5	37.6	38	.4	44.9	10.3
22		16.2	26.7	26.2	-.5	44.2	-4.7
23		16.6	26	25.6	-.4	44.2	-4.5
24		16.5	31.3	30.3	-.1	44.2	-7
25		16.4	37.5	37.2	-.3	44.2	-1.4
26		26.2	42.7	43.6	.9	44.2	5.3
27		26.5	38.2	37.9	-.3	44.2	-2.2
28		26.7	35	35.1	.1	44.2	1.7
29		26.7	34.1	34.3	.2	44.2	2.9
30		38	45.7	45.4	-.3	44.2	-3.5
31		37.5	48.5	48.5	0	44.2	.3
32		38.7	44.2	44	-.2	44.2	-3.4
33		38.7	43.6	43.6	0	44.2	-.9
34		21.2	29.8	27.9	-1.9	44.4	-22.5
35		21	26.2	26.7	.5	44.4	9.2
36		21	24.7	25	.3	44.4	7.1
37		21.2	24.3	24.6	.3	44.4	8.8
38		15	18.6	18.5	-.1	44.4	-3
39		15	18.8	19	.2	44.4	5.4
40		15.1	20.4	20.9	.5	44.4	9.7
41		15.2	25.4	26.3	.9	44.4	8.8
42		32.7	35.4	35.3	-.1	44.4	-4.2
43		32.7	35.1	35	-.1	44.4	-4.9
44		33	36.6	36.6	0	44.4	1
45		8.5	12.2	11.7	-.5	44.4	-13.9
46		8.8	13.6	13.3	-.3	44.4	-5.8
47		9	16.4	16.5	.1	44.4	1.2
48		10	12.6	12.5	-.1	44.4	-3.9
49		31	35.6	35.5	-.1	44.4	-3

PROTOKOLL

Datum/Our date
 1987-03-24
 Ert datum/Your date

Beteckning/Our reference
 86K2 2004 A
 Er beteckning/Your reference

ETF (L-G Eklund)

Analys av kondensvatten

Föremål 3 prov kondensvatten märkta "Prov 1", "Prov 2, 18.2 fm" resp "Prov 3, 18.2 em". Provtagningen var ombesörjd av uppdragsgivaren.
Uppdrag Analys av kondensvatten enligt beställning 1987-02-20. Dessutom har sulfat och koppar redovisats.
Metod Totalsvavel har efter uppslutning bestämts med jonkromatograf. Metaller, utom kvicksilver, har uppslutits enligt bilaga och därefter bestämts med optisk emissionsspektrometer (ICP).
 Kviksilver har efter uppslutning med en metod för avloppsvatten från Varian (-72) bestämts med flamlös atomabsorption med SnCl₂-reduktion. Övriga parametrar har analyserats enligt Svensk Standard.

Resultat Prov 1 Prov 2 Prov 3

	Prov 1	Prov 2	Prov 3
pH	8,1	7,4	6,6
N-tot (mg N/l)	7,9		
S-tot (mg S/l)	930		
SO ₄ ²⁻ -S (mg S/l)	860		
Totalhårdhet (mg Ca/l)		18	19
Glödrest (mg/l)		7100	5500
Konduktivitet (µS/cm)		8100	6450
COD (mg O ₂ /l)		110	100
BOD ₇ (mg O ₂ /l)		47	35
Suspenderande ämnen (mg/l)		160	100
Alkalinitet (mekv HCO ₃ /l)		40	7,1
" (mg HCO ₃ /l)		2500	430

SP-302

POSTADRESS
 Box 857, 501 15 BORÅS
 Postal address
 P.O. Box 857, S-501 15 BORÅS
 SWEDEN

BESÖKSADRESS
 Brinellgatan 4 (Västeråsens ind.omr.)
 Office address
 Brinellgatan 4

TELEFON
 033-16 50 00
 Telephone
 Int. + 46 33-16 50 00

TELEFAX
 033-13 55 02
 Telefax
 Int. + 46 33-13 55 02

TELEX
 36252 testing S



Swedish National Testing Institute

STATENS
PROVNINGSANSTALT

Bilaga 10.2

2

Datum/Our date
1987-03-24

Ert datum/Your date

Beteckning/Our reference
86K2 2004 A

Er beteckning/Your reference

Resultat
forts

Metaller (mg/l) Prov 1 Prov 2 Prov 3

Järn, Fe	18	13	
Mangan, Mn	0,10	0,096	
Kalcium, Ca	5,2	5,6	
Magnesium, Mg	0,65	0,71	
Aluminium, Al	0,16	0,036	
Kadmium, Cd	0,003	0,004	
Kobolt, Co	0,010	0,010	
Krom, Cr	0,016	0,012	
Nickel, Ni	0,13	0,09	
Bly, Pb	0,11	0,09	
Zink, Zn	5,0	4,8	
Koppar, Cu	57	66	

Kvicksilver, Hg ($\mu\text{g/l}$) <0,8 <0,8

STATENS PROVNINGSANSTALT
Kemisk analys


Mats Olsson


Birgit Andersson

Bilaga

Metod för uppslutning av metaller

SP-302

POSTADDRESS
Box 857, 501 15 BORÅS
Postal address
P.O. Box 857, S-501 15 BORÅS
SWEDEN

BESÖKSADRESS
Brinellgatan 4 (Västeråsens ind.omr.)
Office address
Brinellgatan 4

TELEFON
033-16 50 00
Telephone
Int. +46 33-16 50 00

TELEFAX
033-13 55 02
Telefax
Int. +46 33-13 55 02

TELEX
36252 testing S

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 850425-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens provningsanstalt,
Borås.

R119: 1987

ISBN 91-540-4838-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707119

Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang

Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm

Cirkapris: 33 kr exkl moms