



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

R85:1987

Värmeåtervinning och rökgasrening vid medelstora oljeeldade pannor

Ulf Johanson
Knut-Olof Lagerkvist

K
Drall

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

Byggeforskningsrådet

R85:1987

VÄRMEÅTERVINNING OCH RÖKGASRENING
VID MEDELSTORA OLJEELDADE PANNOR

Ulf Johanson
Knut-Olof Lagerkvist

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831227-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provvningsanstalt, Borås.

40957

VA NYTT

REFERAT

Vid konventionella förbränningsanläggningar har lägsta rökgastemperaturen legat mellan 180 och 220 °C. En ytterligare kylning av rökgaserna för med sig kondensering, dvs utfällning av aggressiva svavelföreningar i rökgasset. Detta har inneburit att man varit tvingad att låta stora energimängder försvinna med rökgaserna.

Genom att leda rökgaserna från en panna till en rökgaskylanläggning med lämpligt materialval och speciell utformning av värmeväxlaren kan temperaturen på avgående rökgaser sänkas under såväl syra- som vattendagppunkten. Härigenom ökar energiutbytet, samtidigt som rökgaserna renas.

Ett flertal utvecklingslinjer för utformning av kondenserande rökgasvärmeväxlare pågår. Dels mera konventionella lösningar ur redan etablerade tillämpningar från t ex cellulosaindustrin och dels helt nya, som kylaren i detta projekt.

Under tiden från 1984 till hösten 1986 har mätning och utvärdering av en kondenserande rökgaskylare genomförts. Projektet har bedrivits i en experimentanläggning, bestående av en panncentral för radhuslägenheter. I projektet har studerats den energibesparing som rökgaskylaren medför, den svavel- och stoftavskiljning som åstadkommes, det erhållna kondensatvattnets sammansättning samt den minskning av genomströmningförlusterna som erhålls.

Energiåtervinningen ur rökgaserna har vid normala driftförhållanden uppmätts till mellan 10 och 15 %. Beroende på val av värmesänka och status på pannan ligger besparingspotentialen i intervallet t o m 25 %.

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

R85:1987

ISBN 91-540-4786-2
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1987

	FÖRORD	3
	SAMMANFATTNING	4
1	BAKGRUND	5
2	BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN	8
3	MÄTPROGRAM	14
3.1	Utvärdering av funktion och energibesparing	14
3.2	Rökgasanalys	14
3.3	Kondensatanalys	14
3.4	Bränsle	15
4	MÄTRESULTAT	16
4.1	Energiflöden	16
4.2	Bränsle	22
4.3	Rökgaser	23
4.4	Kondensat	25
5	DRIFTERFARENHETER	28
5.1	Brännkamarinsats	28
5.2	Luftöverskott	29
5.3	Utnyttjande av värme i rökgaserna	29
5.4	Miljöaspekter	32
5.5	Besparingspotential	32
6	LITTERATURFÖRTECKNING	34
	BILAGOR	

KONDENSERANDE RÖKGASKYLARE

FÖRORD

Under tiden från 1984 till hösten 1986 har mätning och utvärdering av en kondenserande rökgaskylare genomförts. Rök-gaskylaren har utvecklats och konstruerats av Rök-gaskylning Ulf Johanson AB i Borås. Projektet har bedrivits i en experiment-anläggning, bestående av en panncentral för radhuslägenheter.

Anläggningen ägs och förvaltas av Marks Bostads AB, Kinna, som även erhållit ett experimentbyggnadslån från Statens råd för byggnadsforskning för installation av rökgaskylaren. Även den mätning och utvärdering som utförts av Statens provningsanstalt har finansierats av Statens råd för byggnadsforskning.

I projektet har studerats den energibesparing som rökgaskylaren medför, den svavel- och stoftavskiljning som åstadkommes, det erhållna kondensatvattnets sammansättning samt den minskning av genomströmningsförlusterna som erhålls.

Personal från sektionerna Energi- och anläggningsteknik samt Förbränningsteknik vid Statens provningsanstalt har utfört mätningen och utvärderingen.

SAMMANFATTNING

Den av Rök-gaskylning Ulf Johanson AB installerade rök-gaskylaren/scrubbern vid Marks Bostads AB, Kinna har utvärderats vid ett flertal tillfällen under våren 1984 t o m hösten 1986. Som resultat av utvärderingen kan följande slutsatser dras avseende själv-dragspannor utan spjällautomatik.

- o Energiåtervinningen ur rök-gaserna har vid normala drift-förhållanden uppmätts till mellan 10 och 15 %. Beroende på val av värme-sänka och status på pannan ligger besparingspotentialen i intervallet t o m 25 %.
- o Genomströmningsförlusterna har eliminerats. Härigenom ökar årsverkningsgraden med ytterligare 5 till 15 %.
- o Svavelhalten i rök-gaserna efter rök-gaskylaren understiger mätutrustningens detektionsgräns.
- o Kondensatet är helt neutralt och innehållet ofarligt för det kommunala avloppsnätet.
- o Stoftmängden i rök-gaserna efter rök-gaskylaren understiger mätutrustningens detektionsgräns.
- o Sotningsbehovet av skorstenen bortfaller genom den effektiva stoftavskiljningen.
- o Pannfunktionen förbättras genom rök-gaskylaren, vilket för pannan medger senare utbyte och därmed ökad ekonomisk livslängd.
- o Rök-gastemperaturen efter rök-gaskylaren understiger pannrumstemperaturen, vilket innebär lägre påfrestning på befintlig skorsten.

1 BAKGRUND

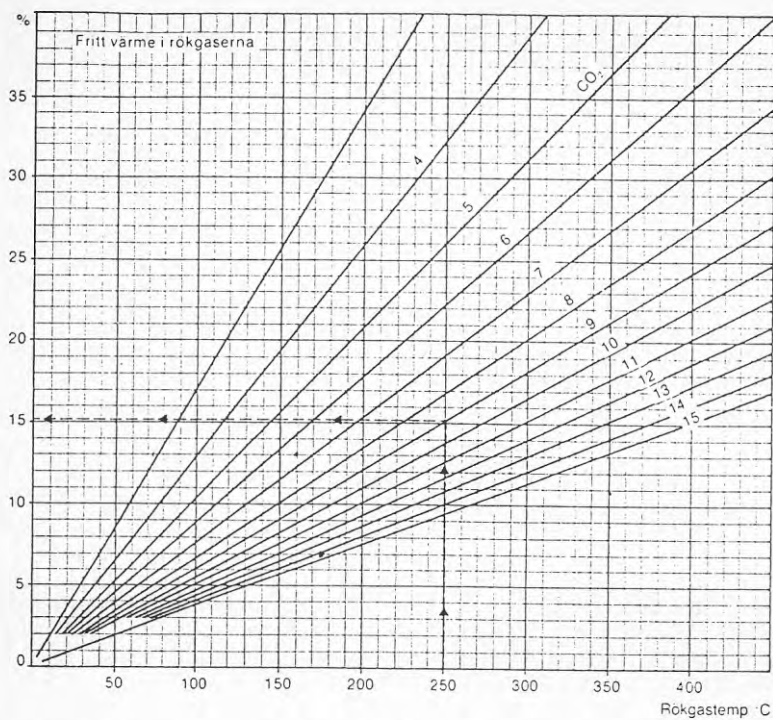
Vid konventionella förbränningsanläggningar har lägsta rökgas-temperaturen legat mellan 180 och 220 grader C. En ytterligare kylning av rökgaserna för med sig kondensering, dvs utfällning av aggressiva svavelföreningar i rökgasset. Detta har inneburit att man varit tvingad att låta stora energimängder försvinna med rökgaserna.

Genom att leda rökgaserna från en panna till en rökgaskylanläggning med lämpligt materialval och speciell utformning av värmeväxlaren kan temperaturen på avgående rökgaser sänkas under såväl syra- som vattendagpunkten. Härigenom ökar energiutbytet, samtidigt som rökgaserna renas.

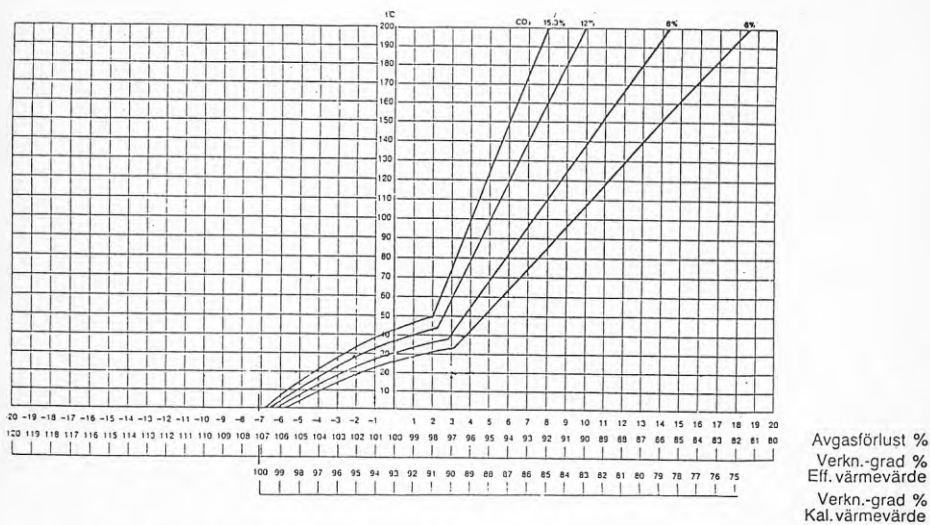
Ett flertal utvecklingslinjer för utformning av kondenserande rökgasvärmväxlare pågår. Dels mera konventionella lösningar ur redan etablerade tillämpningar från t ex cellullosaindustrin och dels helt nya, som kylaren i detta projekt.

Förlusterna vid förbränning av ett bränsle för energiutvinning består dels av den energi som bortförs med oförbränt i rökgaserna på grund av ofullständig förbränning och dels de värmeförluster som uppkommer då rökgaserna släpps ut vid en högre temperatur än omgivningen och med ett förhöjt vatteninnehåll.

I normalfallet, dvs utan rökgaskondensering, kan rökgasförlusterna bestämmas som funktion av rökgastemperatur och luftöverskott enligt figur 1.1.



Figur 1.1. Diagram för bestämning av rökgasförluster Eo 1 (utan kondensation).



Figur 1.2. Rökgasdiagram för olja (Eo 1) inkluderande det latent värmet.

Genom att med hjälp av rökgaskylare även utnyttja det latent värmets i rökgasen, ändras det linjära förloppet i figur 1.1 vid temperaturer under kondenseringspunkten. För olja (Eo 1) får därför diagrammet en utformning enligt figur 1.2 då det latent värmets medtages.

Med en pannas verkningsgrad avses förhållandet mellan utvunnen energi och bränslets energiinnehåll. Vanligen uttrycks verkningsgraden som förhållandet mellan utvunnen värme och bränslets effektiva värmevärde vid en viss temperatur (vanligen 25 °C). I det effektiva värmevärdet tas inte någon hänsyn till den energi som finns bunden i förångat vatten. Kyls rökgaserna så att även kondensationsvärmets för vattenånga utnyttjas, kan verkningsgraden med detta sätt att räkna överstiga 100 %. Det kalorimetriska värmevärdet tar hänsyn till ångbildningsvärmets för rökgasens vatteninnehåll, och en verkningsgrad som bygger på det kalorimetriska värmeinnehållet kan därför inte överstiga 100 %. (Se figur 1.2.)

Under senare år har ett flertal olika system för utvinning av latent värme i rökgaser kommit till användning. På kontinenten är system för rökgaskylning relativt vanligt förekommande i anläggningar där naturgas används som bränsle. Materialproblemen kan här tämligen lätt bemästras, eftersom svavelhalten är låg. Kondensering av rökgaser från svavelhaltigt bränsle kräver däremot korrosionsbeständigare material, samt att igensättningsproblematiken bemästras.

Principiellt kan två metoder för kondensering av rökgaser urskiljas. Dels kan rökgasen kylas indirekt via en värmväxlaryta, dels kan rökgasen kylas genom att kylmediet, som normalt är vatten, sprayas in i rökgasen eventuellt med tillsats av något neutraliseringsmedel. I den här utvärderade rökgaskylaren utnyttjas en kombination av de båda metoderna.

Utvecklingsarbetet med denna rökgaskylare grundar sig på erfarenheterna från en scrubber med 99,5 % avskiljningsgrad av SO₂, avsedd för en villapanna (se bilaga 1). Målsättningen har varit att utveckla en rökgaskylare för oljepannor med i första hand en effekt upp till 500 kW.

Under projektets gång har rökgaskylaren modifierats ett antal gånger både vad avser konstruktion och funktion. Detta har medfört att de tekniska förutsättningarna för värmeåtervinning, svavel- och stoftavskiljning har fått variera under de olika mätperioderna.

2 BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGEN

Den anläggning där rök-gaskylaren har utvärderats är belägen i Kinna ca tre mil söder om Borås. En panncentral som tillhör Marks Bostads AB försörjer här 26 radhuslägenheter med värme och varmvatten. Området uppfördes 1967 och har normalt en årlig oljeförbrukning av ca 50 m³ Eo 1.



Figur 2.1. Panncentralen i kvarteret Dromedaren, Kinna.

Panncentralen är försedd med två oljepannor av fabrikat Parca Norrahammar typ NL 2, vardera med ca 200 kW i effekt.



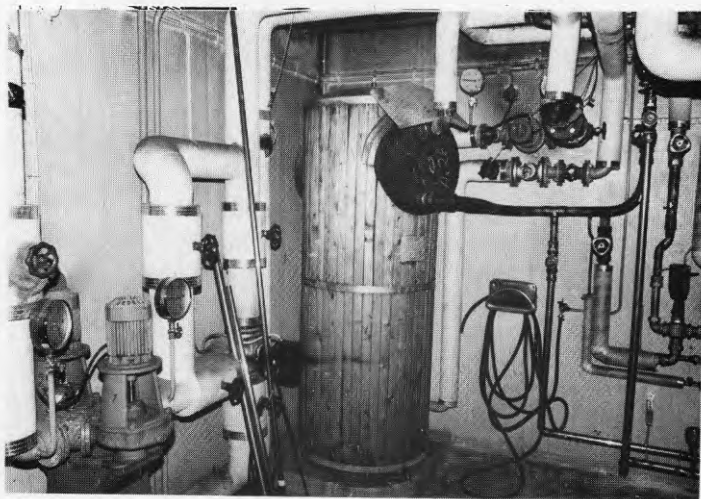
Figur 2.2. Pannorna före installation av rök-gaskylare.

Vardera pannan är försedd med en brännare av fabrikat Bentone typ QF 30-1, med kapaciteten 14-30 kg/h. Pannorna är inte utrustade med varken spjäll- eller dragregleringsautomatik.

Från panncentralen distribueras shuntat värmevatten där framledningstemperaturen regleras beroende på utetemperaturen. Varmvattnet bereds i en hetvattenvärmeväxlare till en temperatur av ca 55 °C. Varmvattensystemet innehåller även en pump för varmvattencirkulation.



Figur 2.3. Foto av pannans eldstadsutrymme före installation av rökgaskylare.



Figur 2.4. Hetvattenvärmeväxlare för varmvatten.

Till en av pannorna anslöts en rökgaskylare samtidigt som pannan tilläggsisolerades. Rökgaserna från pannan tas direkt från pannstosen och leds in i den kondenserande rökgasvärmväxlaren. Härigenom sänks rökgasens temperatur till ca 30 °C innan den släpps ut via den anslutna rökgasfläkten och den befintliga skorstenen.

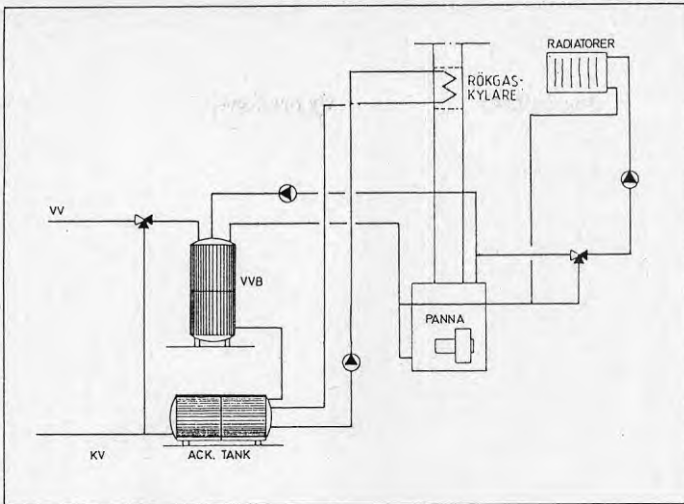
I rökgaskylaren sker en kondensation av det relativt stora vatteninnehållet i rökgasen och rökgaserna renas från svavel och stoft. Det erhållna sura kondensatet neutraliseras i rökgaskylaren och släpps ut via pannrummets avlopp till det kommunala nätet, storleksordningen en liter vatten per liter förbränd olja.

I rökgaskylaren åstadkommes kylningen av rökgaserna med hjälp av det inkommande kallvatten som skall värmas till varmvatten. Det härigenom förvärmade varmvattnet mellanlagras i tre seriekopplade ackumulatortankar. Tankarna, som har staplats liggande på varandra, har vardera volymen 500 liter. Slutlig uppvärmning av tappvarmvattnet sker i den befintliga värmväxlaren.

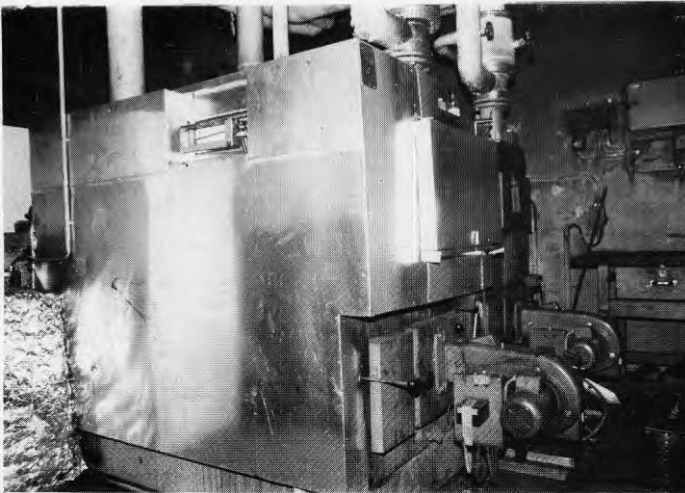


Figur 2.5. Ackumulatortankar för lagring av förvämt varmvatten.

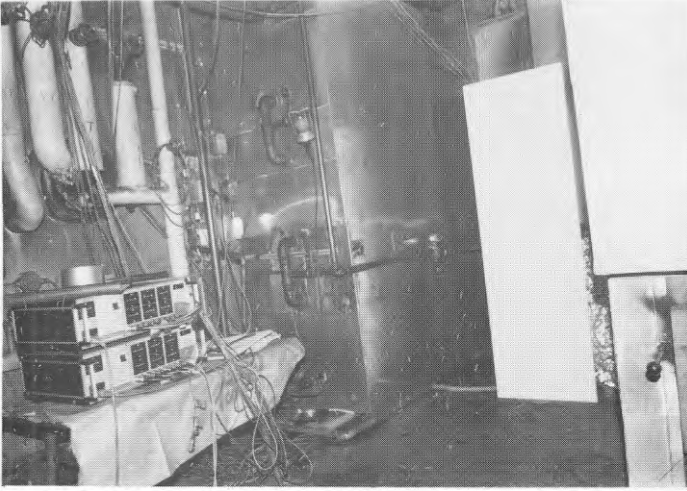
Förutom att pannan med rökgaskylaren tilläggsisolerades, isolerades hetvattenvärmväxlaren för varmvatten och kläddes in med plåt. Även ackumulatortankarnas gavlar isolerades.



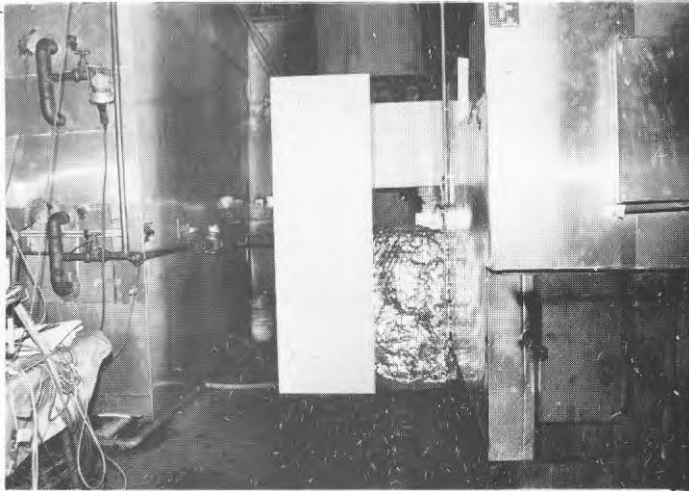
Figur 2.6. Principschema över inkoppling av rökgaskylare.



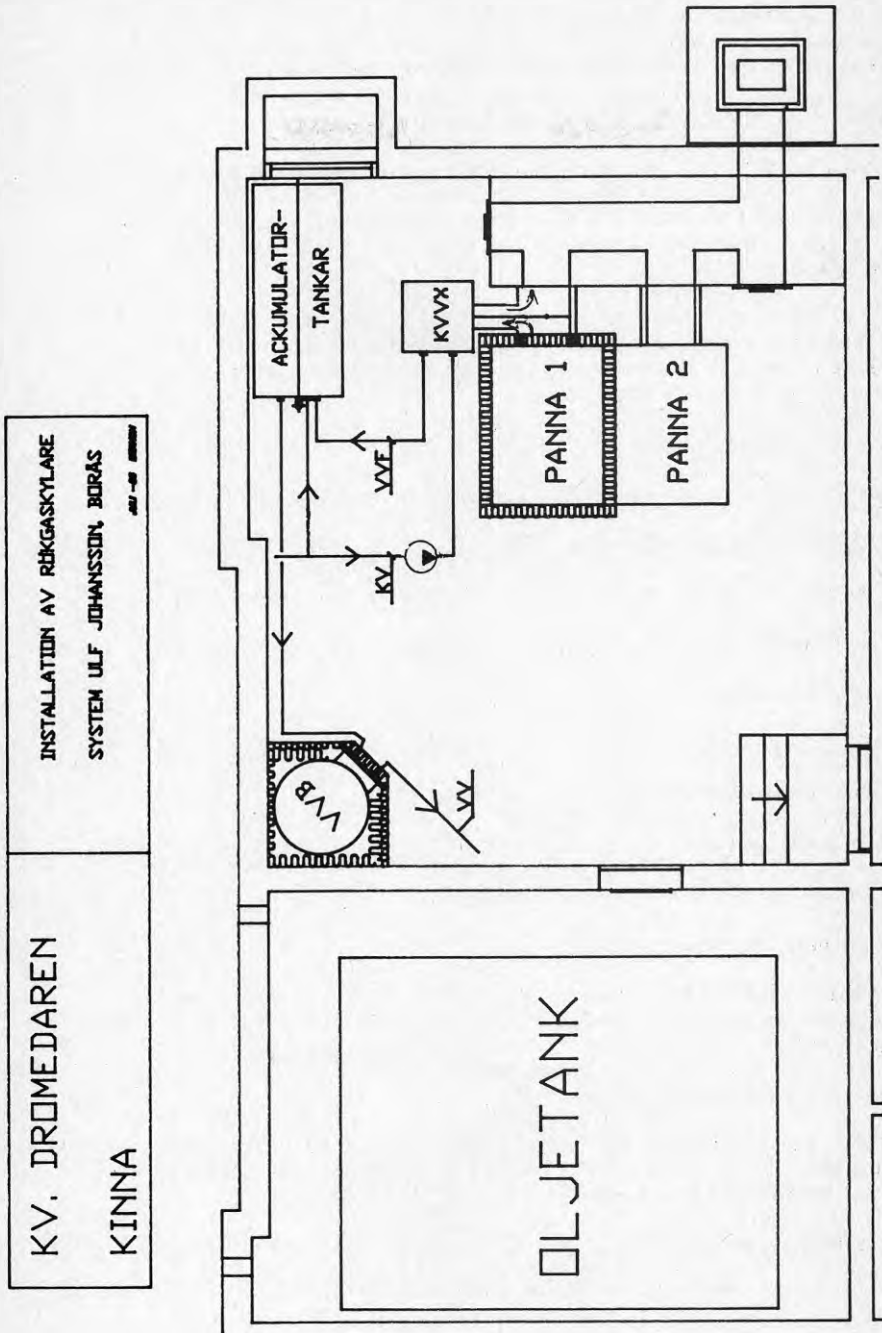
Figur 2.7. Pannan efter tilläggsisolering.



Figur 2.8. Ackumulatortankar efter tilläggsisolering.



Figur 2.9. Foto av rökgaskylare/scrubber och ackumulatortankar.



Figur 2.10. Planskiss över inkoppling av rökgaskylaren.

3 MÄTPROGRAM

I olika skeden av projektet har mätinsatser av varierande omfattning genomförts för att kunna utvärdera rökgaskylaren. Nedan redogörs för den mätutrustning och de metoder som använts.

3.1 Utvärdering av funktion och energibesparing

Energiberäkningar har utförts med hjälp av en integrerande datainsamlingsutrustning som avlästes manuellt en gång per dygn. Möjlighet fanns också att förse utrustningen med lagringskapacitet för timmedelvärden. Denna typ av mätningar omfattade tidsperioder på några månader.

Under några perioder genomfördes "intensivmätningar" då datainsamlingsutrustningen utbyttes mot datalogger, så att minutvärden kunde registreras. Härigenom kunde främst temperaturförloppen studeras noggrannare.

3.2 Rökgasanalys

För analys av rökgaserna har följande utrustning använts:

- CO/CO₂-analysator typ IR 702
- Digital termometer typ 3002 för Ni-Cr/Ni-Al termoelement
- Utrustning för bestämning av svavelhalt, våtkemisk metod
- SO₂-analysator typ Binos
- Gasflödesmätare, Kurz Model 435-HHT
- Drägerrör för bestämning av NO-halt
- NO_x-analysator typ Beckman 951
- Isokinetisk stofthaltsutrustning
- Sotpump enligt DIN 51402

Vid mätningarna har i huvudsak kontinuerligt registrerande instrument använts. I något fall har manuella metoder använts för bestämning av svavel- och NO_x-halter.

3.3 Kondensatanalys

Eftersom kondensatet behandlas direkt inne i rökgaskylaren har analys utförts på det neutraliserade kondensat som förs direkt till pannrummets normala avlopp.

Vid analys av kondensatet har följande metoder använts:

- pH har mätts med en direktvisande pH-meter
- Alkalinitet enligt SIS 02 81 39
- Konduktivitet enligt SIS 02 81 23
- Kemisk syreförbrukning, COD enligt SS 02 81 42
- Totalhårdhet enligt Kungl Medicinalstyrelsen nr 122
- BS₇ enligt SS 02 81 43
- Suspenderande substanser enligt SIS 02 81 12
- Totalt fosfor enligt SIS 02 81 27
- Totalt kväve enligt SIS 02 81 31
- Metallerna i kondensatet har, efter uppslutning, bestämts med plasmaemissionsspektrometer

3.4 Bränsle

Som bränsle har använts lågsvavlig eldningsolja med en högsta tillåten svavelhalt av 0,3 %.

Vid analys av bränslet har följande metoder använts.

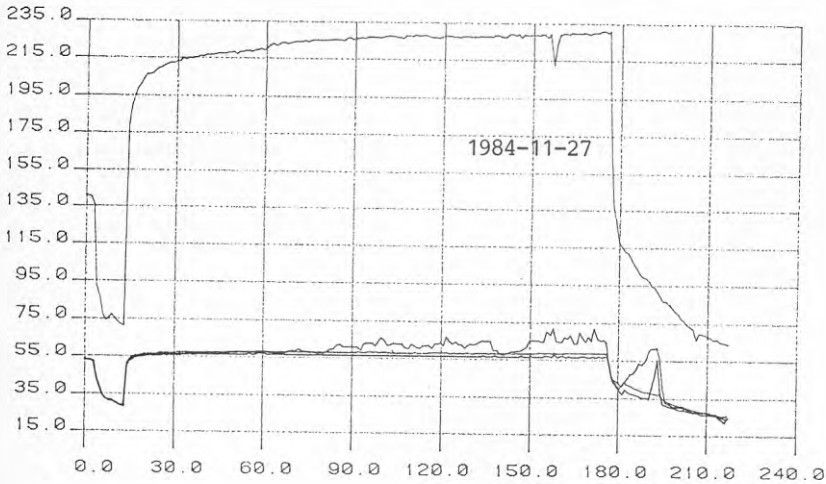
- Densiteten har bestämts med pyknometer, ISO 3838
- Svavelinnehållet har bestämts med LECO S-132
- Vatteninnehållet har mätts enligt SS 15 51 50
- Kol-, väte- och kvävehalten har mätts med elementaranalysator Leco CHN 600
- Värmevärdet har bestämts genom kalorimetermätning enligt ASTM D 240 och ASTM D 4239 C
- Metallinnehållet har bestämts med plasmaemissionsspektrometer efter utspädning med fotogen.

4 MÄTRESULTAT

4.1 Energiflöden

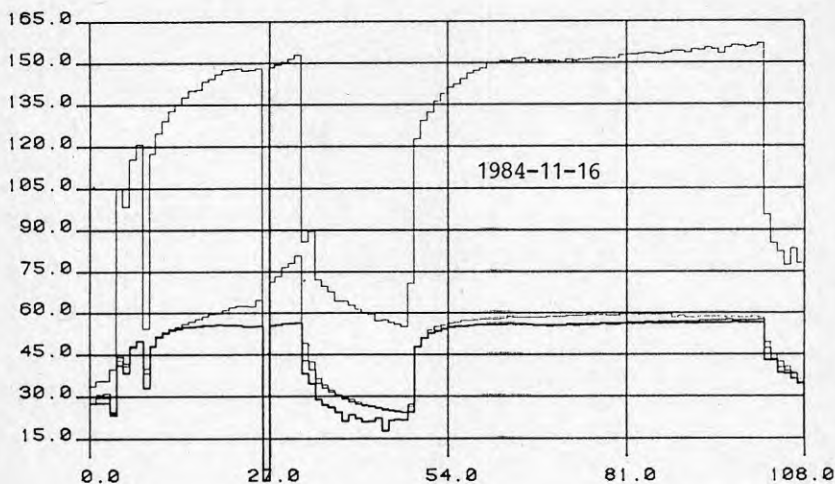
Som tidigare nämnts har registrering av energiflöden skett med längre och kortare tidsintervaller i olika skeden av projektet. Vid projektets början utfördes dessutom mätningar på den befintliga panninstallationen för att kontrollera statusen vid utgångsläget. Mätningarna genomfördes under tiden 24 februari till 1 maj 1984. Den totala mättiden var 1209 timmar och den panna som skulle kompletteras med en rökgaskylare hade en drifttid av 595 timmar. Den andra pannan i centralen stod avställd. Från värmecentralen levererades under mätperioden 63,8 MWh till värmesystemet och 20,0 MWh till varmvatten, dvs totalt 83,8 MWh. Samtidigt förbrukades 9,85 m³ olja. Med hänsyn tagen till oljans effektiva värmevärde 42,8 MJ/kg (densitet 0,83 kg/l) blir pannverkningsgraden 86 %. De utgående rökgaserna från pannan hade under mätperioden en temperatur av ca 270 °C (se även tabell 4.1).

I samband med att rökgaskylaren installerades, kompletterades pannans eldstadsutrymme med en brännkamarinsats. Härigenom kunde oljebrännaren förses med ett munstycke med lägre kapacitet, vilket fick längre drifttider och lägre utgående rökgastemperaturer från pannan som följd. Av figur 4.1 framgår temperaturförhållandena på rökgassidan och i rökgaskylaren efter installationen, uppmätta den 27 november 1984. Rökgastemperaturen från panna var då ca 230 °C och temperaturen efter rökgaskylaren ca 40 °C.



Figur 4.1. Rökgastemperaturer före rökgaskylaren samt temperaturer i rökgaskylaren.

Efter ytterligare någon tid utbyttes brännarmunstycke till ännu lägre kapacitet, vilket resulterade i en rökgastemperatur på ca 155 °C (se figur 4.2). Syftet var att åstadkomma längre gångtider för brännaren och härigenom minska genomströmningsförlusterna.



Figur 4.2. Rökgastemperaturer före rökgaskylaren samt temperaturer i rökgaskylaren.

I nedanstående tabell 4.1 redovisas en sammanställning av mätresultat för en vecka i början av mars 1985. Belastningen under denna period var relativt stabil med utetemperaturer varierande kring 0 °C. Normalt håller rökgaserna en temperatur av 270 °C för denna typ av pannor med normalt munstycke. Genom att bli minskade munstycksstorlek och tvinga rökgaserna till längre vägar i pannan har utgående rökgastemperaturen kunnat pressas ned mot "onormala" 140 °C. Detta har medfört att en del av energin redan överförs till pannvattensystemet. Rökgastemperaturen före värmeväxlaren var då under perioden ca 140 °C och utgående rökgastemperaturen ca 28 °C.

Tabell 4.1. Mätresultat 85-02-28--85-03-11

Värmeleverans (MWh)

Uppvärmning	10,03
Varmvattenberedning (i vvb)	2,60
Varmvattenberedning (i rökgaskylare)	0,60
Summa	13,23

Oljeförbrukning, tillförd energi

	m ³	MWh
Panna 1 (med rökgaskylare)	0,79	7,79
Panna 2	0,60	5,92
Summa	1,39	13,71

Totalt erhöjls med hjälp av rökgaskylaren direkt ca 6090 kWh ur rökgaserna, dvs 7,7 % av den tillförda oljeenergin till brännaren 7,79 MWh. Den totalt till båda pannorna tillförda oljemängden 1,39 m³ motsvarande energimängden 13,71 MWh och den totalt levererade energimängden 13,23 MWh medför en totalverkningsgrad för båda pannorna av 96,5 %.

Antas nu Panna 2 ha fungerat med den tidigare uppmätta verkningsgraden 86 % (Tabell 4.3) och den tillförda energin 13,71 MWh fördelas proportionellt mot oljemängderna 0,79 resp 0,69 fås:

$$\text{Panna 1: } \frac{0,79}{1,39} \cdot 13,71 = 7,79 \text{ MWh}$$

$$\text{Panna 2: } \frac{0,60}{1,39} \cdot 13,71 = 5,91 \text{ MWh}$$

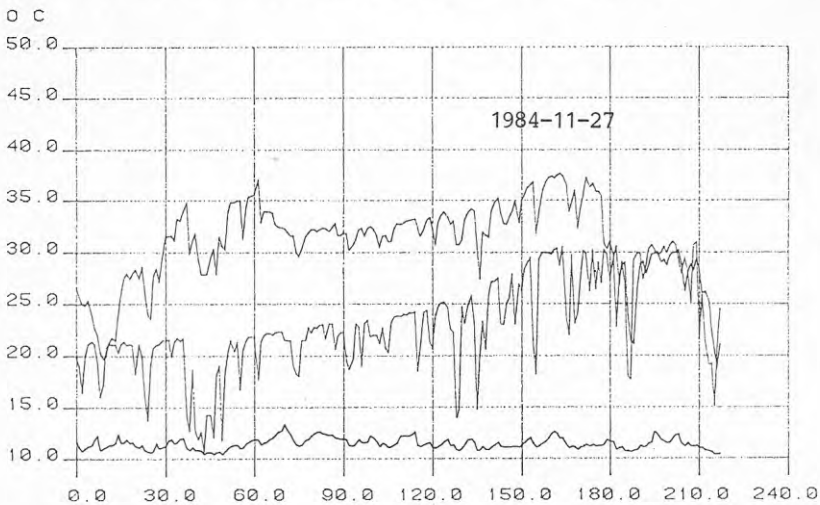
Av den nyttiga levererade energimängden 13,23 MWh härrör då från

$$\text{Panna 2: } \frac{86}{100} \cdot 5,91 = 5,09 \text{ MWh}$$

Återstoden $13,23 - 5,09 = 8,14$ MWh härrör från Panna 1, som då kan beräknas ha gett en verkningsgrad av

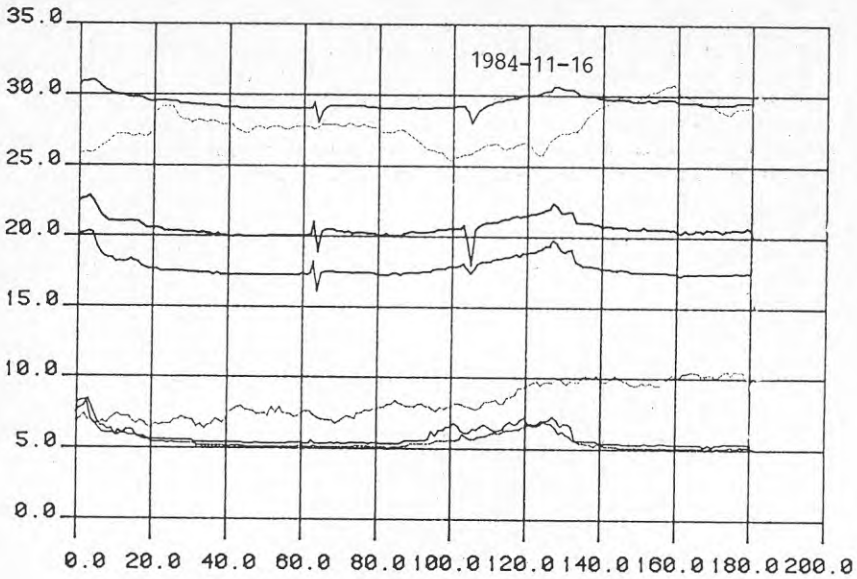
$$\frac{8,14}{7,79} \cdot 100 = 104,5 \%$$

Av figur 4.3 framgår vattentemperaturen till och från rökgaskylaren. Inkommande kallvattentemperatur ligger mellan 12 och 13 °C och förvärms via rökgaskylaren till 30-35 °C.



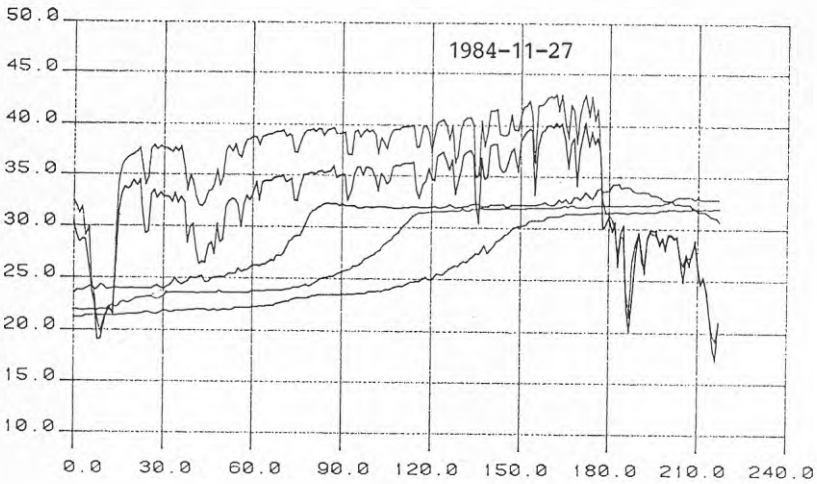
Figur 4.3. Kylvattentemperaturer i rökgaskylaren.

Vid ett senare tillfälle gjordes prov med en mer normal utgående rökgastemperatur (ca 220 °C) och urladdade ackumulatortankar, dvs rökgaskylaren kylades direkt med inkommande kallvatten (ca 5-8 °C). Den uppmätta kyleffekten var ca 18 % av tillförd effekt via olja. I nedanstående diagram (figur 4.4) framgår de temperaturer på rökgaser och kylvatten som rådde vid mättillfället.



Figur 4.4. Temperaturförhållanden kring rökgaskylaren.

Av figur 4.5 framgår temperaturerna hos rökgasen och ackumulator-temperaturerna under ett uppladdningsförlopp.



Figur 4.5. Temperaturer kring rökgaskylaren under ett uppladdningsförlopp.

Beroende på hur stor ackumulatorvolym som står till förfogande tar det längre eller kortare tid att uppnå temperaturer enligt figur 4.5. Då tankarna börjar bli uppladdade stiger den utgående rökstemperaturen och risk föreligger att den så småningom stiger över dagpunkten. Förhållandet är naturligtvis starkt beroende av hur mycket varmvatten som förbrukas. I det här aktuella område, där den övervägande delen förvärvsarbetar, är varmvattenförbrukningen under längre perioder mycket låg. Att enbart förlita sig till förvärmning av tappvarmvatten och/eller radiatorvatten låter sig inte göras utan någon annan form av förvärmning, måste ske t ex av tilluft. (Se drifterfarenheter 5.3).

Ett annat alternativ kan vara att utnyttja en värmepump kopplad till kylvattnet. För att få en sådan installation ekonomiskt lönsam krävs förmodligen en något större anläggning än den som har studerats här.

4.2 Bränsle

På den olja som använts i panncentralen har prov uttagits vid tre tillfällen och analyserats enligt metoder beskrivna i kapitel 3.4. Som tidigare nämnts eldas pannorna med eldningsolja 1, låg-svavlig med maximalt tillåten svavelhalt av 0,3 %. I nedanstående tabell 4.2 redovisas resultaten av analyserna.

Tabell 4.2. Analysresultat av olja (Eo 1).

Datum	841109	860418	860926	Detektionsgräns
Densitet vid 20 °C, g/ml	0,8303	0,8346	-	
Svavel, vikt-%	0,10	0,16	0,10	
Vatten, %	< 0,1	-	< 0,05	
Väte, antagen halt, %	13,0	-	13,2	
Kväve, %	-	-	< 0,2	
Kalorimetriskt värmevärde, MJ/kg	45,62	-	45,61	
Effektivt värmevärde, MJ/kg	42,86	-	42,81	
<u>Metallhalter i g metall/g olja</u>				
Järn	0,08	*		0,08
Mangan	0,04	*		0,022
Kalcium	*	*		0,04
Magnesium	*	*		0,011
Aluminium	*	*		0,8
Kadmium	*	*		0,1
Krom	*	*		0,22
Koppar	0,6	0,19		0,054
Molybden	0,15	*		0,1
Nickel	*	*		0,52
Bly	*	*		1,1
Zink	*	*		0,22
Tenn	2	*		1,9
Kisel	0,4	*		0,26
Fosfor	*	*		2,9
Vanadin	0,1	*		0,08
Titan	0,13	*		0,022

Anm. Den 9-10 maj 1985 bestämdes svavelhalten till < 0,1 % och kvävet till < 0,3 %.

* Under detektionsgräns.

4.3 Rökgaser

På sätt som beskrivits i kapitel 3.2 mättes vid sju tillfällen rökgasens temperatur och beståndsdelar, se tabell 4.3.

Tabell 4.3. Uppmätt rökgassammansättning.

Datum	<u>1984</u> 0208- 0501	<u>1984</u> 1109	<u>1984</u> 1127	<u>1984</u> 1127	<u>1985</u> 0509	<u>1986</u> 0418	<u>1986</u> 0926	Detek- tions- gräns
Temperatur, °C	270	-	-	-	137/28	155/18	210/40	
Hastighet, m/s	-	-	-	-		4,3/5,1/0	4,6	
Flöde nm ³ tg 10 % CO ₂	-	-	-	-	167/210	170/185	333	
H ₂ O	-	-	-	-	-	4,2	2,5	
CO ₂	13,0	>14,0	-	9,5/8,5	8,5/6,8	8,1/6,1	-/4,9	0,1
CO ppm	100	-	*	*	*	*	*	10
SO ₂ ppm	-	*	*	*	*	-	*	5
NO _x ppm	-	40/40	-	<40	<40/<40	52/43	-	
Stoft, mg/nm ³ tg	22	-	-	-	2	-	*	0,1
Sottal	2-3	-	-	-	-	-	6	
Förbrännings- verknings- grad, %	90	-	-	-	-	-	-	
Verkningsgrad,%	86	-	-	-	>100	>100	>100	

* Under detektionsgräns

Där det i tabellen förekommer dubbla värden, t ex 9,5/8,5, redovisas mätresultat före respektive efter kylare. Hastighetsangivelsen /0 860418 betyder att flödet i kanalen efter avstängning av pannan helt upphört, dvs några ventilationsförluster kunde inte detekteras.

Kolumnen med värden från 840208/0501 visar genomsnittliga värden före ombyggnad.

841109 var pannan försedd med brännkamarinsats.

860418 beräknades hastigheter och flöde utgående från oljeförbrukning och CO₂-halt.

Den relativt höga temperaturen efter kylaren, 40 °C 860926 beror av eftervärmning av rökgasen i syfte att minska kondenseringsrisken i kanalerna.

860926: Stofthalt under detektionsgräns trots dubbelt analysgasuttag.

Inblandning av pannrumsluft har (delvis) skett medvetet för att sänka kondenseringstemperaturen så att fuktutfällning i rökgas-kanal undviks (gäller 841127-860926).

4.4 Kondensat

I kapitel 3.3 har metoder och utrustningar för mätningar på kondensatet beskrivits. Här redovisas en sammanställning i tabell 4.4 över samtliga uppmätta värden.

Tabell 4.4 Kondensatsammansättning

Datum	1984 1109	1984 1109	1984 1109	1984 1127	1984 1127	1986 0418	1986 0418	1986 0926	Detektions- gräns	
									*	**
pH	8,0	-	7,9	6,7	-	2,9	2,9	8,0		
Alkalini- tet (mekv/l)	1,5	-	2,1	1,4	-	0	0	-		
Kondukti- vitet (μ S/cm)	192	-	670	600	-	1690	1049	-		
COD (mg O ₂ /l)	-	-	115	100	-	200	170	165		
Total- hårdhet mg/l Ca)	51	-	167	131	-	190	165	81		
BS ₇ (mg/l)	-	-	10	9,4	-	-	-	-		
Susp subst (mg/l)	-	-	48	9	-	-	-	-		
Konc NO ₃ (mg/l)	2	2	-	2-3	-	-	-	-		
Konc Cl (mg/l)	6	11	11	11	13	-	-	-		
SO ₄ (mg S/l)	-	-	-	2100	3200	-	-	680		
Totalt S (mg S/l)	-	-	-	-	-	-	-	860		
<u>Metaller (mg/l)</u>										
Järn	0,04	1,4	0,75	0,23	0,20	3,4	3,1	2,5		0,01
Mangan	*	0,02	0,01	*	*	0,59	0,54	0,03	0,005	0,01
Kalcium	32	25	24	21	23	15	7,9	30		0,04
Magnesium	4,0	86	79	63	53	88	80	6,2		0,09
Aluminium	*	*	*	*	*	2,4	2,8	0,16	0,08	0,04
Barium	*	*	*	*	*	0,03	0,02	0,08	0,01	0,007
Kadmium	*	*	*	*	*	0,02	0,02	**	0,05	0,005
Kobolt	*	*	*	*	*	0,04	0,04	**	0,04	0,005
Krom	*	*	*	*	*	10	0,10	0,02	0,05	0,004
Koppar	0,28	3,7	7,4	34	40	59	62	9,8		0,003
Molybden	*	0,04	*	*	*	0,14	0,14	**	0,03	0,02
Nickel	*	0,06	*	*	*	0,22	0,14	**	0,05	0,006
Bly	*	*	*	*	*	0,30	0,29	**	0,2	0,05
Zink	0,03	26	25	19	32	3,1	2,1	1,4		0,006

* Under detektionsgräns.

** Under detektionsgräns.

Tabell 4.4 visar resultat från de sju prov som tagits vid fyra olika tillfällena. Mellan varje prov har detaljer justerats, olika material prövats och mera genomgripande förändringar gjorts, som kan förklara de språngvisa förändringarna hos vissa metaller i kondensatet.

Värden i kolumn 1 avser dricksvattnet i det aktuella området.

860418: Trots en låg svavelhalt blir ändå kondensatet surt och aggressivt. Magnesium som användes för neutralisering visade sig mindre lämpligt vid i detta fall kontinuerligt kondensattillflöde.

841109, 841127: Trots ett neutralt kondensat utlöses t ex koppar från ingående komponenter i kylaren beroende på placering i kylaren.

860926: Fyra galvaniserade plåtskruvar testades i scrubbermiljö med resultat att järn- och zinkhalterna steg.

5 DRIFTERFARENHETER

Under projektets gång har ett kontinuerligt utvecklingsarbete av rökgaskylaren pågått. Detta har omfattat såväl den principiella utformningen och systemlösningen som materialval avseende de ingående komponenterna.

Nedan redovisas några av de erfarenheter som erhållits.

5.1 Brännkamarinsats

Brännkamarinsatsen är ett keramiskt rör, slutet i inre ändan och som bildar ett isolerat förbränningsrum. Tekniken är känd och kallas vanligen för "säckeldning". Härigenom möjliggörs en förbättrad slutlig förbränning av rökgasen, vilket praktiskt taget eliminerar sotbildningen.

Genom det motstånd som skapas i brännkamarinsatsen uppnås möjligheten att ta ut lägre effekt än märkeffekten på oljebrännaren. Detta leder i sin tur till längre gångtider och minskade genomströmningsförluster.

Genom att utgående rökgastemperaturen sänkts till 28 °C från tidigare 270 °C har redan en väsentlig del av genomströmningsförlusterna borttagits. Uppmätningen av genomströmningsförlusterna är svår att utföra, speciellt i som här murade skorstenar. Allmänt uppskattas dessa förluster som uppstår vid oljebrännaren stillestånd vara av storleksordningen 5-15 % och beror på rökgastemperatur, skorstenshöjd, kanalarea m m. Se även litteraturförteckning - Ventilationsförluster hos oljeeldad villapanna, BFR-rapport R:30:1985.

Insatsen fanns med vid mätningar 1984-11-09 och förklarar de höga CO₂-halter som uppmättes.

Anläggningsägaren sökte och fick senare ett tilläggsanslag från BFR så att ytterligare utvecklingsarbete av kylaren kunde startas efter de gjorda erfarenheterna. Den nya kylaren utvecklades med målsättningen att helt eliminera genomströmningsförlusterna samt förbättra värmeöverföringen. Dessutom skulle brännkamarinsatsen kunna utgå genom att kylaren internt renar rökgaserna från bland annat stoft.

Mätningar under år 1986 visar att dessa effekter har kunnat uppnås. Rökgasen kyls från nivån 200 grader C ned till ca 30 grader C. Samtidigt uppmäts luftflödet genom pannan vid stillestånd till noll, dvs inga genomströmningsförluster. Kvarvarande stoft var också under detektionsgräns, trots dubbelt uttag av normal analysvolym och sotal 6 före KVVX.

Vid korta brännkammare kan återstrålningen bli för hög med oacceptabel temperatur på brännarröret. Detta gjorde att brännkammaren måste utgå ur systemet, trots de goda mätvärdena. Dessutom varierar utformningen på eldstaden kring brännarna kraftigt, varför mätningar med brännkamarinsats skulle ge mindre generella resultat.

5.2 Luftöverskott

Vid de slutliga mätningarna har utgående rökgastemperatur kunnat sänkas till och med under pannrumstemperaturen! I ett sådant fall blir CO₂-halten betydelselös, dvs behovet av att hålla en hög CO₂-halt eller lågt luftöverskott för att uppnå hög förbränningsverkningsgrad upphör. I själva verket fungerar kylaren som en "frånluftsvärmeväxlare". Värmeinnehållet i den varmare pannrumsluften överförs till förvärmning av tappvarmvatten via rökgaskylaren!

Upp till en viss gräns skulle man kunna säga att systemet gynnar den slarvige eldaren med den dåligt isolerade och otäta pannan. En utbyggd anläggning skulle ur denna aspekt fungera effektivt och till låg driftskostnad utan tillsyn.

5.3 Utnyttjande av värme i rökgaserna

Normalt används kallt vatten från ackumulatortankarna som kylande medium. Temperaturnivån är då 5-15 °C beroende på årstid, och man åstadkommer lätt kondensation av vattenångan i rökgaserna.

För de flesta fall leder sammanlagringseffekter till att kylvatten för kondensering finns att tillgå.

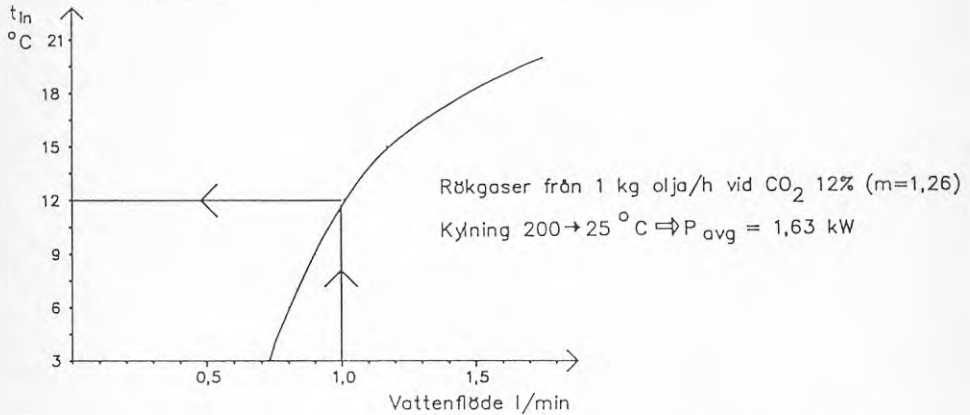
Om inget varmvattenuttag görs samtidigt som utetemperaturen är så låg att pannan huvudsakligen måste gå för värmning av radiatorvatten, fordras någon alternativ kylning. Returtemperaturen i radiatorkretsen är oftast över 35 °C och därmed olämplig för uppnående av tillräcklig kondensering och därmed avfuktning av rökgaserna för användning av befintlig skorsten.

Värmning av vatten

Bland möjliga alternativa användningsområden är alla de fall där det finns tillgång till kontinuerligt "kallt" vatten, t ex aerotemperar, golvvärme, gatu- och markvärme, processvatten i industrier som färgerier, tvätterier, växthus m m.

VÄRMNING AV VATTEN

till 35°C



Figur 5.1. Utnyttjande av värme i rökgaserna. Värmning av vatten.

Ur diagrammet i fig 5.1 kan avläsas vattenflödet för värmning av vattnet till 35 °C. Utgångspunkt är en "enhetspanna" med oljeförbrukningen 1 kg/h. För t ex experimentanläggningens panna är kapaciteten 14-30 kg/h. Finns vatten av temperaturen 12 °C ger diagrammet flödet 1 l/min.

Flödet som behövs blir då bara 14-30 l/min 12-gradigt vatten som höjs till 35 °C för att uppnå tillfredsställande kondensation.

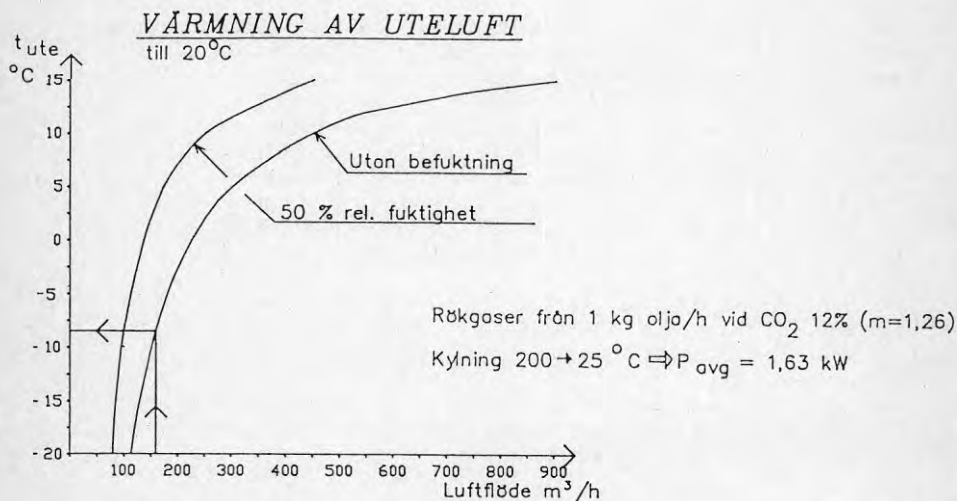
Värmning av uteluft - ventilation

Genom att rökgasen renats i scrubbersteget, kan med konventionell teknik och materialval bli a ventilation och uppvärmning ske för ett flertal fall.

Som exempel kan nämnas:

- Fastigheter
- Verkstäder
- Förråd
- Garage
- Källare
- Lagerhallar
- Idrottshallar
- Möteshallar
- Biografer
- Kontor
- Kyrkor
- Komplement till befintliga varmluftspannor.

Diagrammet fig 5.2 ger för t ex 20 lägenheter med 80 m² golvarea ett behov av 0,5 luftomsättningar per timme (norm enl SBN-80 36:2) luftflödet 1600 m³/h och en antagen oljemängd av 10 kg/h möjlighet att värma uteluft från -10 °C till +20 °C.



Figur 5.2. Utnyttjande av värme i rökgaserna. Värmning av uteluft.

5.4 Miljöaspekter

Om ovanstående diskuterade applikationer för energiåtervinning av någon anledning inte skulle vara möjlig, kan ändå rökgaskylarens höga avskiljningsgrad av svavel och stoft utnyttjas. Kylaren kommer då enbart att fungera som en konventionell scrubber, dock med den skillnaden att användningsområdet är vidgat och därmed ett annat än för en traditionell scrubberanläggning.

5.5 Besparingspotential

I Sverige finns ca 30 000 pannor inom effektområdet 200 - 500 kW. Med hänsyn till de helt olika driftförhållandena för alla dessa pannor, varierar självklart besparingspotentialen.

Diagrammet figur 5.3 visar möjlig energiåtervinning för varierande CO₂-halt eller luftöverskott. Förutsättningen är här samma "enhetspanna" som tidigare, dvs 1 kg/h Eo 1 med värmevärde 45,6 MJ/kg (kalorimetriskt) eller 42,7 MJ/kg (effektivt). Detta ger angiven panneffekt: 12,670 W (kalorimetriskt) respektive 11 860 W (effektivt).

Översta kurvan visar resteffekten vid utgående rökgastemperatur 200 °C som funktion av luftöverskottet eller CO₂-halten. Samtidigt visas när daggpunkten uppnås och dess variation mellan 31,9 och 50,7 grader C.

De båda vänstra axlarna anger verkningsgraderna före återvinning. Räknat på det kalorimetriska värmevärdet varierar verkningsgraden mellan 73 och 86 %. Räknas konventionellt på effektiva värmevärdet blir verkningsgraden mellan 80 och 93 %.

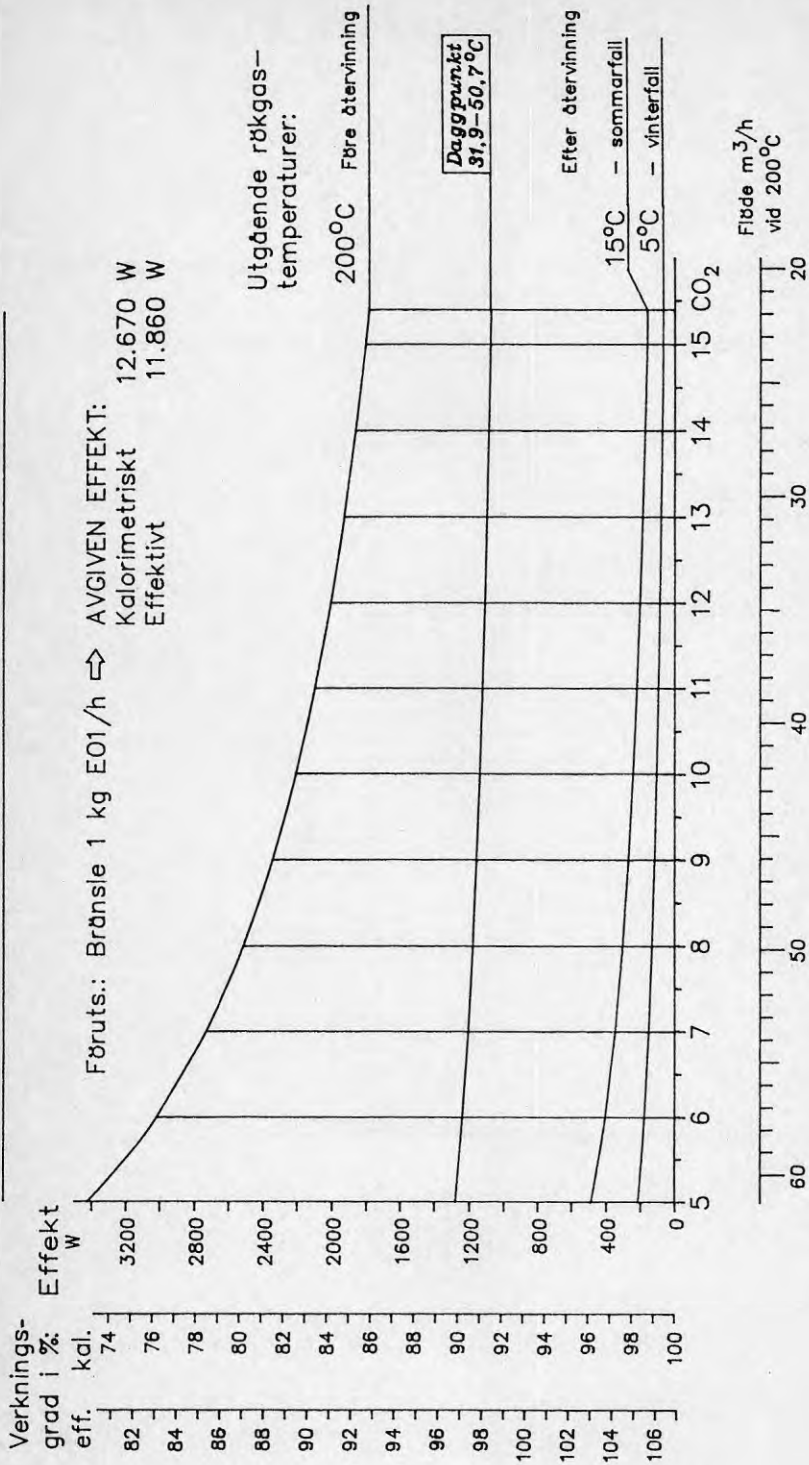
Med den kondenserande värmväxlaren och en utgående rökgastemperatur av 15 grader C (sommarfall) och 5 grader C (vinterfall) visas i diagrammet den teoretiskt möjliga återvinningen.

Av utrymmet mellan kurvorna framgår besparingspotentialen, som för normala driftfall således ligger mellan 15 och 25 %.

Verkningsgraden ökar alltså till 96 - 99 % för kalorimetriskt värmevärde! Räknat på "gammalt" sätt (effektivt) ökar verkningsgraden till 103 - 106 %!

Det bör observeras att rökgastemperaturen i diagrammet är satt till 200 grader C. En högre, och kanske vanligare, rökgastemperatur innebär alltså ökad besparingspotential.

MÖJLIG ÅTERVINNING UR RÖKGASER



Figur 5.3. Möjlig återvinning ur rökgaser.

LITTERATUR

Rökgaskondensering, Statens Energiverk, 1985-11-20

Rökgaskondensering, SKRs Seminarium, 1986-03-20

Energibesparing och rökgasrening med kondenserande rökgaskylare,
Fagersta Energetics

Rökgaskondensering vid oljeeldning - inverkan på ekonomi och mil-
jö, rapport nr MKS-84/24 (BFR 820547-2)

System för rökgaskondensering vid panncentraler, BFR Rapport
R138:1985

Ventilationsförluster hos oljeeldad villapanna, BFR Rapport
R30:1985

Rökgaskondensering. Ett av många sätt att spara värme. ÅF Energi-
konsult Syd

Bioenergi nr 4 sept -86. Flera artiklar

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 831227-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Statens
provningsanstalt, Borås.**

R85: 1987

ISBN 91-540-4786-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6707085

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 33 kr exkl moms