



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

R62:1988

R
**Rökgaskondensering vid
oljeeldning**

Inverkan på ekonomi och miljö

R/TL

Bengt Björner

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

Ser

Byggforskningsrådet

R62:1988

RÖKGASKONDENSERING VID OLJEELDNING

Inverkan på ekonomi och miljö

Bengt Björner

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820547-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.

VA NYTT

42 854

REFERAT

Under ca två års tid har drifterfarenheter och mätdata insamlats vid en oljeeldad panna på 685 kW och försedd med kondenserande rökgaskylare.

R
Rapporten redovisar data och slutsatser avseende:

- värmeekonomi
- korrosions- och belägningsförhållanden,
- emissioner och
- kondensatgenskaper.

Det studerade konceptet ger - vid baslastutnyttjande - en oljebesparing av storleksordningen 10 %.

Korrosionsangreppet är obetydligt och kylarinstallationen innebär miljömässiga fördelar.

Stofthalten i utgående rökgas minskar med ca 80 %. Samma reduktion har påvisats vad avser SO_2 . Även mängden gasformig Hg och Cd minskar. Reduktionen är här av storleksordningen 30 - 40 %.

Kondensatet kan - efter neutralisation - utan olägenhet föras till det kommunala avloppsvattennätet. Den totala emissionen minskar p g a uppnådd energibesparing och dessutom erhålles anrikning av stoft och vissa spårämnen i vätskefas, vilket vid väl fungerande kondensat- och avloppsvattenhantering är en fördel.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R62:1988

ISBN 91-540-4914-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHÅLL

1	SAMMANFATTNING.....	6
2	INLEDNING.....	7
2.1	Målsättning.....	8
2.2	Projektets uppläggning.....	8
3	ANLÄGGNINGEN.....	9
4	PROVPROGRAM.....	11
4.1	Manuell provtagning.....	11
4.2	Dataregistrering.....	11
5	PROVTAGNINGSG- OCH ANALYSMETODER.....	13
5.1	Stofthalt.....	13
5.2	Kvicksilver.....	13
5.3	Bly, kadmium.....	13
5.4	Svaveltrioxid.....	13
5.5	Övriga gasparametrar.....	14
6	RESULTAT.....	15
6.1	Bränsle.....	15
6.2	Driftförhållanden.....	15
6.2.1	Allmänt.....	15
6.2.2	Energiproduktion.....	16
6.2.3	Rökgassammansättning.....	18
6.2.4	Kondensatsammansättning.....	18
6.3	Emissionsförhållanden.....	19
6.3.1	SO ₂ -emission.....	19
6.3.2	NO ₂ -emission.....	20
6.3.3	SO _x -emission.....	20
6.3.4	Stöftemission.....	20
6.3.5	Tungmetallavskiljning.....	21
6.3.6	Kondensatets toxiska inverkan.....	23
6.4	Övriga drifterfarenheter.....	24
6.4.1	Tryckfall över kylaren.....	24
6.4.2	Medryckning.....	24
6.4.3	Korrosion och beläggning.....	24
6.4.4	Kondensatbehandling.....	25
7	SLUTSATSER.....	26
BILAGA 1	Brev från AB Svensk Värmemätning.....	28
BILAGA 2	Tid - temperaturdiagram.....	29
BILAGA 3	Beräkning av energiproduktion m m.....	31
BILAGA 4	Energiproduktion enligt Fagersta Energetics.....	33
BILAGA 5	Rökgassammansättning.....	34
BILAGA 6	Kondensatsammansättning.....	35
BILAGA 7	Korrosion och beläggning.....	36

FIGURFÖRTECKNING

3.1	Rökgaskylare. Principiellt kopplings- system.....	9
3.2	Kondensatneutralisering. Schematisk systemuppbyggnad.....	10
3.3	Installation i Arboga. Flödesschema och snitt.....	10
6.1	Oljebesparing som funktion av last.....	17
6.2	Specifik kondensatmängd som funktion av kylvattentemperatur.....	22

TABELLFÖRTECKNING

1	Provtagningschema för manuella prov.....	11
2	Bränsleanalyser.....	15
3	Registrerad värmemängd februari 1984.....	16
4	Rökgassammansättning, genomsnittlig.....	18
5	Kondensatsammansättning, genomsnittlig....	19
6	Stofthalt, mg/nm ³ tg.....	20
7	Tungmetallhalter (mg/MJ) och återfunnet (%) i kondensatet.....	22
8	Toxisk inverkan.....	23

1 SAMMANFATTNING

Under ca två års tid har drifterfarenheter och mätdata insamlats vid en oljeeldad panna på 685 kW och försedd med kondenserande rökgaskylare, fabrikat Fagersta Energetics AB.

Rapporten redovisar data och slutsatser avseende:

- värmeekonomi
- korrosions- och belägningsförhållanden
- emissioner
- kondensatgenskaper

Det studerade konceptet ger - vid baslastutnyttjande - en oljebesparing av storleksordningen 10 %.

Korrosionsangreppet är obetydligt och kylarinstallationen innebär miljömässiga fördelar.

Stofthalten i utgående rökgas minskar med ca 80 %. Samma reduktion har påvisats vad avser SO_3 . Även mängden gasformig Hg och Cd minskar. Reduktionen är här av storleksordningen 30 - 40 %.

Kondensatet kan - efter neutralisation - utan olägenhet föras till det kommunala avloppsvatten-nätet.

Den totala emissionen minskar p g a uppnådd energibesparing och dessutom erhålles anrikning av stoft och vissa spårämnen i vätskefas, vilket vid väl fungerande kondensat- och avloppsvattenhantering är en fördel.

Vid all förbränning bildas rökgaser med relativt hög temperatur. Avleds dessa gaser utan extraordinär kylning innebär detta att 10 - 40 % av bränslets värmeinnehåll går förlorat.

Kyls rökgaserna ner så kraftigt att vattenången börjar kondensera ut kan en tydlig energibesparing uppnås. Detta förutsatt att rökgasens värmeinnehåll och vattnets kondensationsvärme därvid tas tillvara. Sker detta minskar givetvis bränsleförbrukningen eller ernås att pannanläggningen får en tilläggs-kapacitet.

Hur stor denna vinst blir beror av rökgasens värmeinnehåll - d v s av dess temperatur och vattenånghalt - före kylningen samt rökgasegenskaperna efter passage av kylaren/värmeväxlaren.

Vid oljeeldning - liksom vid eldning med övriga, svavelhaltiga bränslen - föreligger risk för korrosion om syradaggpunkten underskrids. Av denna anledning har man vid oljeeldning tidigare strävat efter att hålla rökgastemperaturen efter pannan på 180°C .

Vid kylning av rökgaserna till under syradaggpunkten faller svavelsyra/svavelsyrlighet ut och påverkar omgivande material (panna, kylare, fläkt, skorstenpipa m m). Inga normala konstruktionsmaterial klarar i längden den därvid uppkommande korrosionen.

Energikriserna och därmed sammanhängande drastiskt höjda energipriser har inneburit ekonomiskt incitament till att söka bemästra korrosionsproblemen och utvinna mer energi ur tillgängligt bränsle genom rökgaskondensering.

Fagersta Energetics AB har tagit fram ett koncept där rökgaserna, på indirekt väg, värmeväxlas mot inkommande, kallt tappvatten och/eller returvatten från radiatorkretsen i en speciellt utformad tubvärmeväxlare.

Under 1982 installerade Fagersta Energetics AB en dylik kylare efter en oljeeldad panna på 685 kW i Arboga.

För medel som beviljats av BFR har Miljökonsulterna i Studsvik AB genomfört ett antal mätningar för att utvärdera de miljömässiga och ekonomiska konsekvenserna av ifrågakonceptet.

2.1 Målsättning

Förhållandena vid drift av en oljeeldad panna placerad i ett flerfamiljshus och där rökgaserna kyls ner till under daggpunkten skulle kartläggas.

Härvid skulle förutom besparingseffekten även emissionsbilden, kondensatets egenskaper samt eventuell korrosion/beläggning studeras.

2.2 Projektets uppläggning

Den ursprungliga arbetsplanen, som redovisats i en av Studsvik utarbetad projektbeskrivning (Björner, 1982) innebar att Studsvik under 1 års tid skulle genomföra mätningar och övrig driftuppföljning.

I Fagerstas regi skulle genomföras metallografisk utvärdering avseende korrosionsförhållanden samt utprovas några olika metoder att neutralisera de sura kondensaten.

Både intrimningsarbetena och mätningarna har tagit längre tid än planerat varför mätningar genomförts vid sammanlagt 9 tillfällen under tiden 1982-06-01--1984-02-29.

Den ursprungliga mätplanen har modifierats under arbetets gång. Detta framgår av det följande.

3 ANLÄGGNINGEN

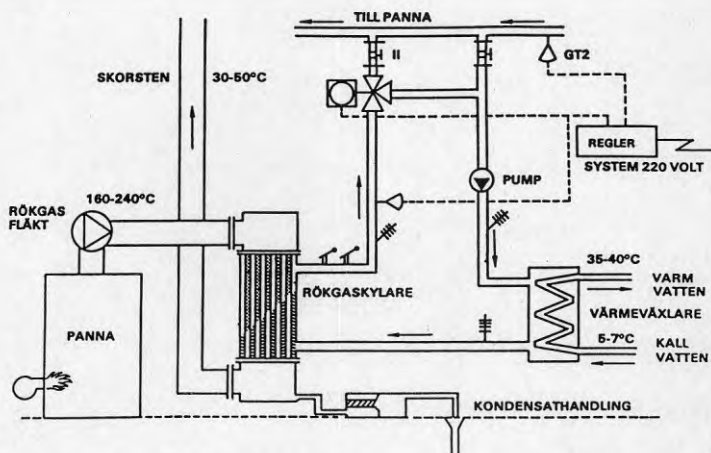
Den aktuella anläggningen i kvarteret Sippan, Arboga, tillhör bostadsrättsföreningen Nejlikan (HSB) och är försedd med två oljepannor, AB Kymmene, typ Högfors 26, på vardera 685 kW.

Var panna är försedd med en brännare, AB Pegasus, typ M3VZDU/74 med flammhuvud M3/1a-116x40 och med kapacitet 10 - 65 kg/h.

Pannorna, som installerades nya 1981, eldas med E03. Årlig förbrukning ca 270 m³.

På en av pannorna har installerats en rökgaskylare av rörtyp. Från kylaren går rökgasen via en droppavskiljare i en rostfri skorstenspipa $\varnothing 250$ ut över taket på bostadshuset. Pipan, som är oisolererad, har monterats utanpå den befintliga tegelskorstenen och med utloppet 0.5 m ovan krönet på den murade pipan.

Principiellt kopplingsschema framgår av Figur 3.1.



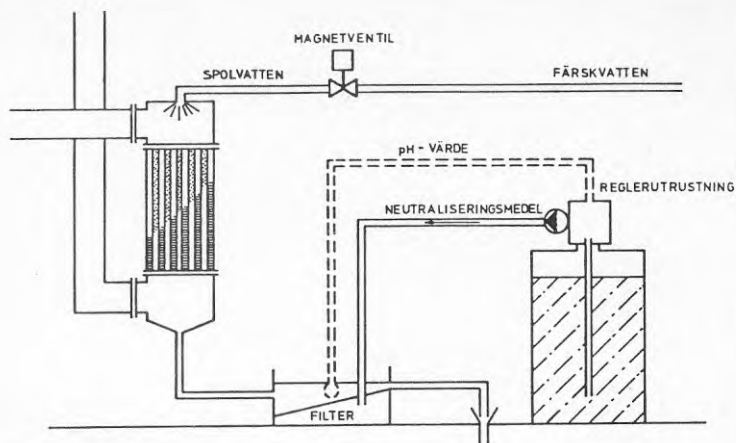
Figur 3.1 Rökgaskylare. Principiellt kopplingsschema.

Kondensatet som kommer från rökgaskylaren neutraliseras med NaOH-lösning och leds till avlopp.

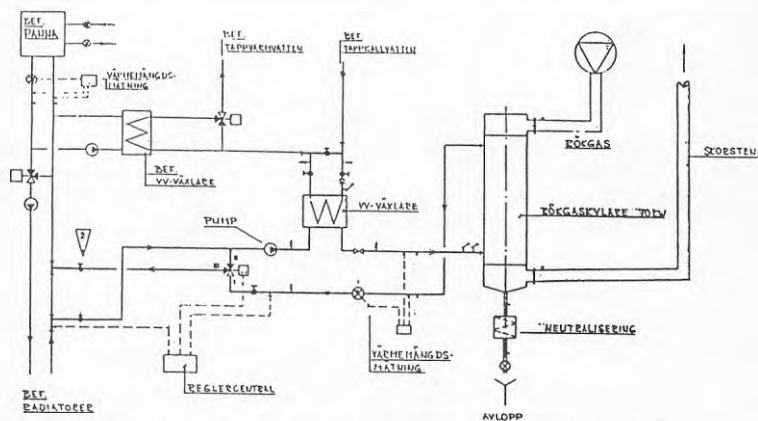
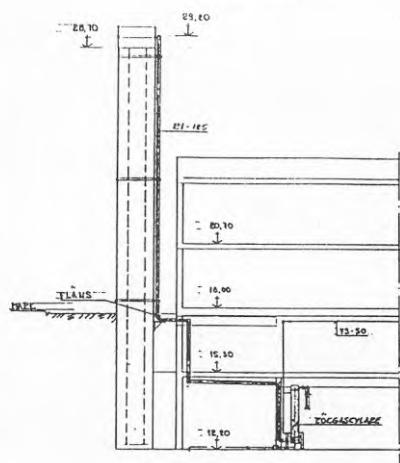
Schematisk figur över systemuppbyggnaden framgår av Figur 3.2.

Flödesschema över installationen samt snitt av rördragningar från kylare till skorsten framgår av Figur 3.3.

För renspolning av systemet leds hela tiden färskvatten till dysor monterade i övre delen av rökgaskylaren.



Figur 3.2 Kondensatneutralisering. Schematisk systemuppbyggnad.



Figur 3.3 Installation i Arboga. Flödesschema och snitt

4 PROVPROGRAM

4.1 Manuell provtagning

Manuella provtagningar genomfördes på 4 ställen i anläggningen. Prov på rökgasen togs före och efter kylaren. Prov på kondensatet togs före och efter neutraliseringsenheten.

Genomfört provtagnings- och analyschema framgår av Tabell 1.

Tabell 1 Provtagningschema för manuella prov.

Datum	Bränsle	Rågas	Kyld gas	Råkon- densat	Neutral- iserat kondensat
82-06-01	x	x			
82-12-02	x		x	x	x
83-02-17--18	x		x	x	x
83-06-01--02	x	x	x		
83-09-14				x	x
83-09-23				x	x
83-10-27	x	x	x		x
84-02-28--29		x	x		x
84-03-13					x

Härutöver har mätpersonalen befunnit sig i anläggningen 83-10-10--12, varvid dock provtagning ej kunde ske.

Vid respektive provtagningsställe har analysomfattningen varierat i vissa fall. Detta framgår av framställningen i det följande.

4.2 Dataregistrering

För att följa det termiska förloppet i anläggningen installerades ett externt datainsamlingssystem till vilket anslöts ett antal temperaturgivare samt pH-elektrod, placerad på utloppssidan av neutraliseringsenheten.

Den kontinuerliga pH-mätningen övergavs sedan på mycket kort tid 3 stycken elektroder havererats p g a åtgärder utanför Studsviks kontroll.

Exempel på temperaturkurvor återfinns längre fram i rapporten.

Fagersta Energetics lät installera 2 st värmemängdsmätare.

Mätarna visade sig inte fungera tillfredsställande och först inför mätkampanjen februari 1984 kunde leverantören hitta och åtgärda de allvarligaste felen. Se även Bilaga 1.

I samband med utvärdering av resultaten från perioden 84-02-09--84-02-29 framgick att oljemängdsmätarna ger värden som ej kan ligga till grund för kontrollberäkning av erhållna resultat från de justerade värmemängdsmätarna.

5 PROVTAGNINGSG- OCH ANALYSMETODER

Samtliga vattenanalyser har utförts vid IMAB, Linköping. Detta med undantag av den toxiska undersökningen, som utförts av VVL, Stockholm. Övriga analyser har utförts vid laboratorierna i Studsvik.

5.1 Stofthalt

Stoftprovtagning sker genom isokinetisk avsugning av rökgasen ur kanalen. Stoftet avskiljs på plana kvartsfiberfilter. Sond och filterhållare är uppvärmda till ca 160°C. Efter filtret kyls gasen och torkas. Bestämningen av provgasvolym sker med rotameter och gasur.

5.2 Kvicksilver

Ett delgasflöde från stoftprovtagningen sugs genom tre stycken seriekopplade tvättflaskor. Den första flaska innehåller en lösning med 10 vikts-% soda och de två övriga innehåller svavelsyrasur kaliumpermanganatlösning (6 g/l i 10 vol-% H_2SO_4). Vattenlösligt kvicksilver absorberas i sodalösningen och övriga specieformer av kvicksilver absorberas i permanganatlösningen. Analysen sker sedan med atomabsorption.

5.3 Bly och kadmium

Ett delgasflöde från stoftprovtagningen sugs genom 2 seriekopplade tvättflaskor innehållande 10 vol-% HNO_3 . De absorberade metallerna analyseras sedan med atomabsorption.

5.4 Svaveltrioxid

SO_3 mätes med en SO_3 -kollektor. Rökgasen sugs vid en värmd glassond in i ett spiralformat glasrör som hålls vid konstant temperatur (ca 80°C) av ett vattenbad. Ca 60 l rökgas sugs ut. SO_3 som kondenserar i spiralglasröret sköljs ut med isopropanol. Sköljvätskan samlas upp i en E-kolv och analyseras sedan på svavel genom röntgenfluorescensspektrometri på $BaSO_4$ efter utlakning.

Glassonden som används vid provtagningen sticker in ca 0.3 m i gaskanalen. Sonden hålls i samma läge under provet. Provtiden är ca 20 minuter.

5.5 Övriga gasparametrar

CO₂, CO och SO₂ i rökgaserna analyseras och registreras kontinuerligt med separata IR-instrument typ UNOR6, som kalibreras med respektive testgaser.

En delgasström ur rökgaskanalen avsugs via ett termostaterat stofffilter och ett snabbkylsystem till en delningspunkt varifrån varje instrument tar sitt provgasflöde medan överskottet avleds över ett bubbelrör med vatten.

NO i rökgaserna analyseras och registreras kontinuerligt med ett kemiluminiscensinstrument av fabrikat Bendix. Instrumentet kalibreras med testgaser.

Analysresultatet erhålls baserat på torr gas.

6 RESULTAT

6.1 Bränsle

Tabell 2 Bränsleanalyser

Prov		820601	821202	830217	830601	831027	MV
Tot fukt	%	<0.01	1.0	<0.01	<0.1	0.14	<0.1
Askhalt	%	<0.05	<0.1	0.01	0.1	0.03	<0.1
H _{kal}	MJ/kg	44.5	44.3	44.1	44.1	44.5	44.3
H _{eff}	MJ/kg	41.8	41.4	41.4	41.4	41.7	41.5
C	%	86.0	84.9	84.1	87.1	86.2	85.9
H	%	12.5	13.3	12.1	12.5	12.3	12.5
N	%	<0.1	<0.1	<0.1	1.2	n a	<0.1
S	%	1.06	0.92	1.14	1.26	0.97	1.07
Hg	µg/g	0.009	0.002	0.004	0.004	0.003	0.004
Pb	µg/g	<0.1	1.8	4.5	8.3	2.0	3.3
Cd	µg/g	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	<0.01
V	µg/g	18	12	18	12	15.9	15.2
Ni	µg/g	13	4.4	8.2	6.2	5.6	7.5

6.2 Driftförhållanden

6.2.1 Allmänt

Sedan år 1980 har i kvarteret Daggekåpan (Fagersta) två stycken pannor med gemensam rökgaskylare gått med goda driftegenskaper. Aktuell anläggning eldas med E01.

Rökgashastigheten är 7 - 8 m/s och medryckning av kondensat ut genom skorstenen föreligger ej.

Vid överföring av konceptet från Daggekåpan till Arboga-anläggningen uppstod vissa tekniska problem (bl a medryckning) p g a att rökgashastigheten vid fullast ursprungligen kom att ligga på för hög nivå (17 - 18 m/s).

Sedan densamma tagits ned genom övergång till grövre rör samt droppavskiljare - där gashastigheten nedbringas till <2 - 3 m/s - installerats, har anläggningen fungerat användningsfritt.

Dessa förbättringar vidtogs i februari 1984.

Upplysningsvis kan nämnas att vid eldning med E01 inga problem med beläggningar förelegat.

6.2.2 Energiproduktion

I Bilaga 2 återges ett antal diagram över temperatur - tid för:

- vatten före kylare (TVFK)
- vatten efter kylare (TVEK)
- vatten före panna (TVFP)
- vatten efter panna (TVEP)
- rökgas efter panna (TGEP)
- rökgas efter kylare (TGEK)

Dessa behandlas inte närmare i fortsättningen utan avser endast belysa de faktiska förloppen.

I samband med provtagningarna i februari 1984 och sedan värmemängdsmätarna justerats har regelbundna avläsningar av upptagen värmemängd i pannan och i kylaren gjorts.

Avläsningarna återfinns i Tabell 3.

Tabell 3 Registrerad värmemängd februari 1984.

Datum	84-02-09	84-02-15	84-02-22	84-02-29
Lastfall	Hög	Hög	Hög	Låg
Rökgastemperatur	290	290	190	140
Oljemängd till panna	16 250	17 408	18 551	19 268
Oljemängd från panna	97 846	98 423	98 923	99 498
Brännare 1, gångtid ¹⁾	6 747	6 912	7 077	7 237
Brännare 2, gångtid ²⁾	2 542	2 677	2 819	2 940
Vattenmängd panna m ³	96 771	99 555	102 358	105 029
Värmemängd panna MWh	470.530	527.665	586.242	643.757
Vattenmängd kylare m ³	81 091	82 094	83 119	84 135
Värmemängd kylare MWh	1.468	7.133	12.934	17.813

1) Höglast

2) Låglast

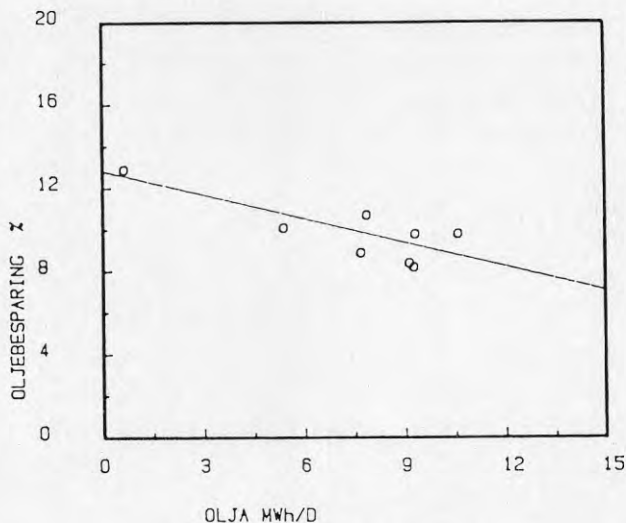
Eftersom oljemängdsmätarna inte visats sig var tillförlitliga har energitillförseln beräknats på indirekt väg.

Beräkningen som genomförts i Bilaga 3 visar att under tiden 84-02-08--84-02-29 då pannan gått på höglast 81 % av tiden oljebesparingen uppgår till 9.4 %.

I Bilaga 4 redovisas värden erhållna från Fagersta Energetics och avseende tiden 1983-03-14--1984-04-27. Under aktuell tid har Fagersta Energetics uppmätt en oljebesparing av 9.7 %, d v s på samma nivå som februariperiodens värde på 9.4 %.

För att kunna beräkna en årlig besparing måste förutom värmemängdsdata och antal brännarstarter även uppgift över andelen hög- respektive låglast föreliggande för ett antal perioder.

I Figur 6.1 redovisas framräknad oljebesparing som funktion av tillförd oljemängd uttryckt i MWh/dygn och räknat som medelvärde för de i Bilagorna 3 och 4 angivna perioderna.



Figur 6.1 Oljebesparing som funktion av last.

Den anpassade linjen har negativ lutning vilket betyder att lägre last skulle innebära högre oljebesparing. Här bör dock observeras att vid lägre last pannverkningsgraden normalt ökar under det att värdena i Figur 6.1 framtagits på basis av att verkningsgraden är konstant och oberoende av last.

Sannolikt kommer i normalfallet oljebesparingen att sjunka något vid låglast p g a att rökgastemperaturen efter pannan normalt är betydligt lägre än vid höglastfallet.

Vid optimal anläggningsstorlek d v s där pannan i huvudsak går som baslastpanna och utgående rökgas-temperatur efter kylaren kan hållas låg ligger en oljebesparing på >10 % inom räckhåll.

6.2.3 Rök-gassammansättning

Under försöksperioden har anläggningen gått med varierande effektivitet och last.

Rökgastemperaturer över 300°C har uppmätts efter pannan.

Tabell 4 nedan anger "normalvärden" över rökgas-sammansättning vid anläggningen.

Tabell 4 Rök-gassammansättning, genomsnittlig.

		Före kylare	Efter kylare
Rökgastemp	°C	240	32
Rökgasflöde	nm ³ tg/h 10% CO ₂	630	630
H ₂ O	vol-%	9.8	7.3
CO ₂	vol-%	10.9	10.9
CO	ppm tg	40	40
SO ₂	ppm tg	410	460
NO _x	ppm tg	120	140
SO ₃	mg/nm ³ tg	76	13
Syradagpunkt	°C	141	123
Hg	µg/nm ³ tg	10	6
Pb	µg/nm ³ tg	1.3	1.6
Cd	µg/nm ³ tg	0.10	0.07
Stoft	mg/nm ³ tg	70	15

Samtliga genomförda rökgasanalyser återfinns i Bilaga 5.

6.2.4 Kondensatsammansättning

I Bilaga 6 återfinns värden från genomförda kondensatanalyser. Genomsnittsvärden på råkondensat och neutraliserat kondensat framgår av Tabell 5.

Tabell 5 Kondensatsammansättning, genomsnittlig.

		Råkondensat	Neutraliserat kondensat
pH		2.3	6.6
Hårdhet, tot Ca	mg/l	85	13
Glödrest	"	100	190
Ledningsförmåga	mS/m	275	170
COD (Cr)	mg/l	100	425
BOD ₇	"	30	30
Susp	"	10-6 000	100-2 000
Alkalitet, HCO ₃	"	<1	310
Fe	"	12 (4)	41 (6)
Cr	"	0.01 (4)	1.1 (5)
Ni	"	0.4 (4)	3.3 (6)
Pb	"		0.1 (3)
Cd	"		<0.005 (3)
Hg	µg/l		3.8 (3)
V	mg/l		12 (3)
Zn	"		1.4 (3)
N _{tot}	"		3.2 (2)
S _{tot}	"		700 (1)

Värdena inom parentes () anger antal analyser.

Glödrest- och suspvärdena påverkas av att det uttvättade stoftet delvis anlagras i systemet och sedan lämnar detta oregelbundet.

Halterna Fe, Cu och Ni är högre i det neutraliserade kondensatet än i råkondensatet. Detta kan förklaras med att råkokondensatet tagits direkt efter rökgaskylaren under det att det neutraliserade kondensatet före provtagningen passerat genom neutralisationsutrustningen (rörledning och kärl) vilken är utförd i lågvärdigare material än rökgaskylaren och alltså påverkats av det inkommande sura kondensatet.

6.3 Emissionsförhållanden

6.3.1 SO₂-emission

För SO₂ gäller att haltnivån ej påverkas nämnvärt av rökgaskylaren.

Vid studie av samhörande värden framgår att halterna före och efter kylare är desamma.

6.3.2 NO_x-emission

NO_x-emissionen har inte påverkats av kylarinstallationen.

6.3.3 SO₃-emission

Vid hellast reduceras SO₃-halten från ca 76 till ca 13 µg/nm³ tg vid passage av kylaren. Detta är en reduktion i storleksordningen 80+ %.

Vid hellastfallet reduceras SO₃-innehållet i rökgasen med ca 20 mg/MJ och i kondensatet (en analys) återfinns 22 mg/MJ. Detta är med hänsyn till gjorda approximation en acceptabel överensstämmelse.

Vid halvlastfallet var SO₃-halten efter panna lägre (~20) än ovan och reduktion över kylaren uppgick till ca 90 %.

6.3.4 Stoftemission

Värden för stofthalt före och efter rökgaskylare återfinns i Tabell 6.

Tabell 6 Stofthalt mg/nm³ tg

Datum	Före kylare		Efter kylare	
	1/1 last	1/2 last	1/1 last	1/2 last
82-06-01	79	34		
82-12-01				13
83-02-17			14	
83-02-18			23	
83-06-01-2	77		16	
83-10-27	61		14	
84-02-29	64		14/11	
MV	70		15	

Stofthalten reduceras vid passage genom kylaren. Stoftpartiklarna fungerar som kondensationsgroddar vid rökgaskylningen och därför tvättas delar av stoftet ut.

Både vid hel- och halvlast ligger rengasens stofthalt på ca 15 mg/nm³ tg.

Genomsnittlig stoftavskiljning vid hellast är ca 79 %.

Belastas rökgaskylaren med alltför stor ingående stofthalt finns risk för påslag och igenkladdning. Detta kan konstruktivt motverkas genom ändamålsenlig utformning av kylarkonfiguration inklusive tvätt-dysarrangemang.

6.3.5 Tungmetallavskiljning

Materialet är för litet för att vittgående slutsatser skall kunna dras.

För gasfasen gäller följande:

Mätningarna antyder att de gasburna tungmetallerna Hg och Cd reduceras med 30 - 40 % vid passage av kylaren under det att Pb inte synes påverkas nämnvärt.

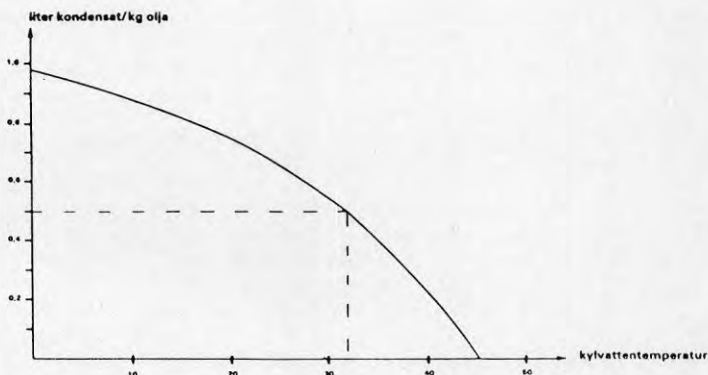
För Hg kan noteras att andelen vattenlöslig komponent, som före rökgaskylaren uppgår till ca 30 % efter kylaren ligger på nivån 5 %. Detta är naturligt då viss uttvättning med kondensatet förekommer.

Balansen tillfört = bortfört går inte ihop. Detta är i enlighet med erfarenheter från liknande mätningar inom bl a KHMs ram (Bergström, 1983).

För vätskefasen (kondensatet) gäller följande:

Genomförda mätningar av kondensatflödet uppvisar motsägande resultat. Teoretiskt bildas vid förbränning av E03 med vätehalt = 12.5 % 1.12 kg vatten/kg olja eller 0.027 kg vatten/MJ.

Mängden kondensat kommer att vara en funktion av rökgasens temperatur efter kylaren. Denna i sin tur beror av bl a kylvattnets temperatur. Sambandet åskådliggörs i Figur 6.2.



Figur 6.2 Specifik kondensatmängd som funktion av kylvattentemperatur.

Antages med ledning av Figur 6.2 att vid kylningen bildas 0.5 l kondensat per kg E03 tillfört erhålles 0.012 l kondensat/MJ

I Tabell 7 nedan anges diverse spårämnen angivna i mg/MJ dels i kondensatet och dels i oljan. Vidare har andelen återfunnet i kondensatet framräknats. Detta ger en indikation om reningsgrad och korrosionsförhållanden.

Tabell 7 Tungmetallhalter (mg/MJ) och återfunnet (%) i kondensatet.

	Olja	Kondensat	Andel i kondensat
Fe	~0.14	0.50	>100
Cr	0.001	0.02	>100
Ni	0.18	0.04	22
Pb	0.08	0.002	3
Cd	$24 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	25
Hg*	0.11	0.05	40
V	0.37	0.15	41
Zn	n a	0.02	
N _{tot}	24.2	0.04	<1
S _{tot}	259	8.6	3

* $\mu\text{g/MJ}$

Av tabellen framgår att utgående halt Fe och Cr vida överstiger mängden tillfört. Detta innebär att kondensatet löser ut dessa metaller ur utrustningen. Se även 5.2.4.

Av med oljan tillförd mängd Cd, Hg och V återfinns i kondensatet ca 25 % Cd samt ca 40 % Hg och V.

Utan närmare kännedom om materialsammansättningen går det inte att avgöra hur stor andel av respektive ämne som är korrosionsprodukter.

För Hg gäller dock att det säkerligen rör sig om en ren uttvättning av rökgaserna. Samma torde i stort gälla V och till delar även Cd.

Av gasanalyserna (Tabell 4) framgår också att i kylaren avskiljs ca 30 % Cd och ca 40 % Hg. Detta är av samma storleksordning som enligt Tabell 7 återfinns i kondensatet.

6.3.6 Kondensatets toxiska inverkan

Kondensatprover uttagna 83-09-23 har analyserats med avseende på akut toxisk effekt på

- alger (efter 4 dygn)
- protozoer
- bakterier, d v s aktivt slam
- små kräftdjur (efter 24 timmar)

Proven testades i utspädningar 1:1, 1:2, 1:4, 1:8 osv. Resultaten anger den största utspädning där toxisk effekt fortfarande kunde iakttas. Detta innebär att man för att uppnå en säker icke toxisk halt vid exempelvis biologisk behandling bör använda den därpå följande utspädningsgraden.

Tabell 8 Toxisk inverkan

	Råkondensat	Neutraliserat kondensat
Alger	1:2 ¹⁾	1:1 ³⁾
Protozoer	1:4 ²⁾	-4)
Bakterier	1:2	-
Små kräftdjur	1:16	-4)

1) Algväxt hämmad upp till 1:32

2) Viss påverkan även vid 1:8

3) Algväxt hämmad upp till 1:8

4) Ingen uttalad toxisk effekt, men negativ påverkan även vid 1:2

Erhållna resultat visar att det neutraliserade kondensatet utan vidare åtgärder kan ledas till det kommunala avlopps nätet.

Detta emedan det låga flödet (<1 l/min) från anläggningen innebär att spädningen i avloppssystemet blir så stor att påverkan på eventuell biologisk reningsanläggning är försumbar.

6.4 Övriga drifterfarenheter

För att god effekt av aktuellt koncept skall ernås krävs att pannrumspersonalen har tillfälle att fortlöpande övervaka pannans optimala drift vad avser framför allt CO₂-halt och sottal (munstycks-kondition, oljeförvärmning och tryckförhållande) samt neutralisationsanläggningens funktion.

Vid sottal på nivån 10 torde även med fullgod dysspölning risk för igensättning av kylaren föreligga.

6.4.1 Tryckfall över kylaren

Tryckfallet över kylaren är en funktion av bl a

- kylarens geometriska utformning
- rökgasflödet
- kylarens igensättningsgrad
- ingående kylvattentemperatur

Vid körningarna 84-02-29 när kylaren bedömdes vara i normalkon-dition varierade tryckfallet över kylaren inom intervallet 110 - 170 mmVp (\bar{x} 138 \pm 2.5 m Vp).

6.4.2 Medryckning

Som antytts under 5.2.1 förekom medryckning av sotbemängt kondensat då rökgashastigheten låg på nivån 17 - 18 m/s.

Sedan effektiv droppavskiljare insatts och rökgashastigheten i skorstenen sänkts har risken för medryckning eliminerats.

6.4.3 Korrosion och beläggning

Efter ca 3 000 timmars drifttid har de kondensat- och gasberörda delarna av kylaren uttagits av Fagersta Energetics och studerats vid Fagersta ABS laboratorium med avseende på korrosion.

I Bilaga 7 återfinns den fullständiga rapporten. Av denna framgår att av 4 provade stålsorter inget var korroderat i större omfattning. Små angrepp har konstaterats vid svepelektronmikroskopundersökning.

Sedan dysspölning med renvatten installerats kunde ingen nämnvärd beläggning konstateras utgående från driftsdata.

6.4.4 Kondensatbehandling

Ursprungligen avsågs att 4 olika neutralisationsmedel skulle provas.

Mycket snart framkom att natriumhydroxid var det ur driftmässig och ekonomisk synpunkt lämpligaste neutralisationsmedlet. Därför har alla mätningar utförts med natriumhydroxid som neutralisator.

7 SLUTSATSER

Den av Fagersta Energetics AB installerade rökgaskylare vid Brf Nejlikan, Arboga, har mätts in vid ett flertal tillfällen under 1982 - 1984.

Följande slutsatser kan dras:

- efter en successiv anpassning av konceptet till eldning med E03 fungerar nu anläggningen bra.
- vissa modifieringar av kondensatneutralisationen återstod vid senaste mättillfället.
- vid normallast = fullast erhöjls en bränslebesparing om ca 10 %₃ vilket vid en årlig förbrukning av 270 m³ E03 innebär en reduktion av bränsleåtgången med ca 25 m³ förutsatt att fullastfallet helt dominerar.
- rökgaskylaren har inte utsatts för märkbara korrosionsangrepp.
- efter modifierad placering av spoldysorna fungerar kylaren utan igensättningsproblem.
- genom att anläggningen försetts med "demistor" i form av en cyklonliknande utvidgning på rökgasröret efter kylaren har risken för överdrag samt nedsmutsning av omgivningen eliminerats.
- halten SO₂ och NO_x påverkas inte av rökgaskylaren men total_xmissionen minskar då bränslebehovet minskar.
- kylaren har en direkt sänkande inverkan på emitterad halt SO₃. Denna sjunker med ca 80 %.
- även stofthalten reduceras med ca 80 % vid rökgasens passage genom kylaren.
- i utgående rökgas reduceras tungmetallerna Hg och Cd med 30 - 40 %.
- det neutraliserade kondensatet kan utan olägenhet föras till det kommunala avloppet.

LITTERATUR

Bergström, J, 1983, Emission vid koleldning och oljeeldning. (Statens Energiverk) KHM Teknisk Rapport 56.

Björner, B, 1982, Utvärdering av rökgaskylaren i kvarteret Nejlukan i Arboga. Rapport EB-P82/44, Studsvik.

BREV FRÅN AB SVENSK VÄRMEMÄTNING 840222

AB SVENSK VÄRMEMÄTNING SVM



Tjänsteställe, handläggare

FS, Lasse Brunell

Avsändarens datum och referens

1984-02-22

Mottagarens datum och referens

Fagersta Energetics AB
Ivar Eriksson
Box 501
773 01 FAGERSTA

Kv Nejlikan, Arboga

Aberopande besök samt felundersökning den 8 febr för vi härmed med-
dela följande.

Värme 1

Volyummätaren placerad på varma ledningen vilket medför för låg
registrering på integreringsverket. Vid driftfall 80-60°C ca -15%
Anslutningskablarna till returtemperaturgivaren är ca 2,5 m längre,
vilket medfört att uppmätt temperaturdifferens blivit mindre än
det verkliga.

Värme 2

Anslutningskablarna till temperaturgivarna förväxlade i kopplings-
plint, vilket medfört negativt Dt och ingen registrering. Lock
över kopplingsplint saknades. Bägge felen åtgärdade i samband med
besöket.

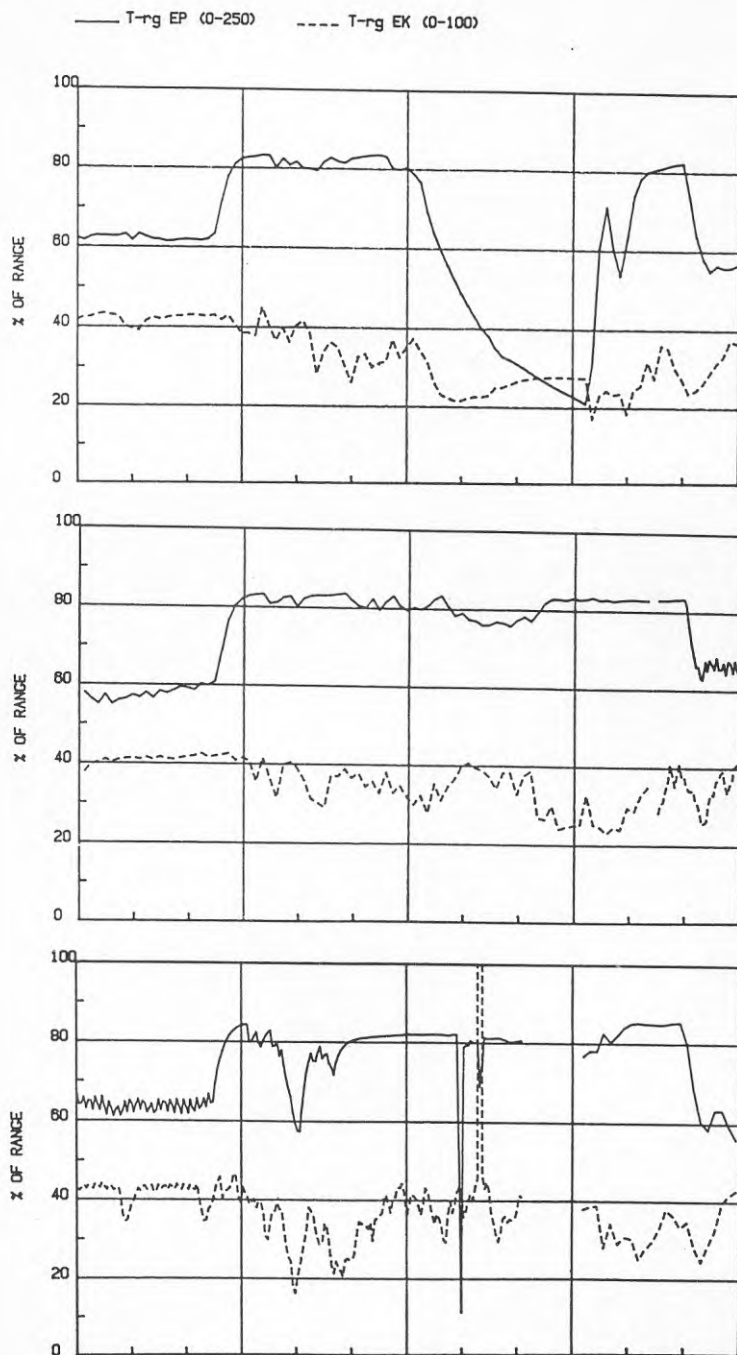
Förslag till åtgärd, Värme 1

1. Omkalibrering av integreringsverket för volymmätarplacering
varma ledningen.
Kostnad ca 250,- kr.
2. Nydragning av givarkablar så att samma kabelarea uppnås mel-
lan temperaturgivarna.

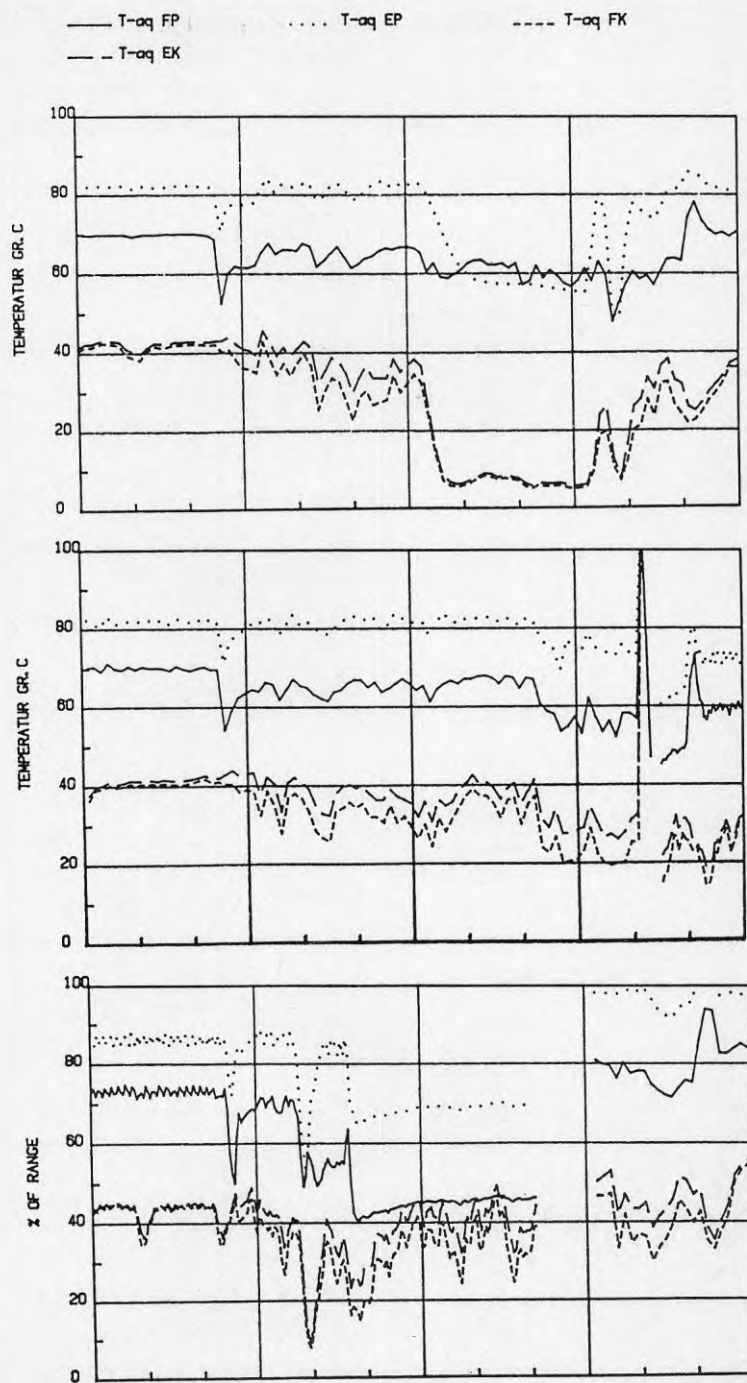
Med vänlig hälsning
AB SVENSK VÄRMEMÄTNING SVM

TID - TEMPERATURDIAGRAM

(840227 - 840229)



(840227 - 840229)



BERÄKNING AV ENERGIPRODUKTION M M

Rökgasdata enligt Bilaga 5 anger att vid mätningarna i februari 1984 rökgastemperatur var 205°C och CO_2 -halten 12 vol % (tg), allt mätt före kylaren. Detta indikerar en pannverkningsgrad på ca 90.5 %.

Med ledning av värdena i Tabell 3 och med antagande av att pannverkningsgraden är 90 % erhålles följande:

<u>Upptaget i pannkretsen:</u>	643.757
	<u>-470.530</u>
	173.227 MWh
<u>Upptaget av kylaren:</u>	17.813
	<u>-1.468</u>
	16.345 MWh
<u>Tillfört med bränslet:</u>	$\frac{173.227}{0.9} = 192.474 \text{ MWh}$
<u>Totalt nyttiggjort:</u>	173.227
	<u>16.345</u>
	189.572 MWh
<u>Totalverkningsgrad:</u>	$\frac{189.572}{192.474} \cdot 10^2 = 98.5 \%$

Genomförs motsvarande beräkningar uppdelat på 3 likstora tidsperioder erhålles följande värden:

Period	Totalverkningsgrad %
84-02-08--15	98.9
84-02-15--22	98.9
84-02-22--29	97.6
MV	98.5

Resultatet kan uttryckas så att av tillförd värmemängd utnyttjas här 98.5 %.

Oljebesparingen är - om konstant verkningsgrad på panna förutsättes:

$$\frac{8.5}{0.9} = 9.4 \%$$

ENERGIPRODUKTION ENLIGT FAGERSTA ENERGETICS

AVLÄSNINGAR I ARBOGA 1984 (FAGERSTA ENERGETICS)Beräkningsmetod

$$\text{Ökning i verkningsgrad} = \frac{\text{MWh panna} + \text{MWh kylare}}{\text{MWh panna}/0.9} - 0.9$$

$$\text{Oljebesparing} = \frac{\text{Verkningsgradsökning}}{0.9}$$

<u>14/3 - 21/3</u>		<u>Ökning i n</u>
Panna	758,390 - 708.873 = 49.517	
Kylare	25.856 - 20.544 = 5.312	9.7 %
<u>21/3 - 28/3</u>		
Panna	792.279 - 758.390 = 33.889	
Kylare	29.405 - 25.956 = 3.449	9.2 %
<u>28/3 - 4/4</u>		
Panna	850.610 - 792.279 = 58.331	
Kylare	34.246 - 25.405 = 8.841	7.5 %
<u>4/4 - 11/4</u>		
Panna	898.965 - 850.610 = 48.355	
Kylare	38.607 - 34.246 = 4.361	8.1 %
<u>11/4 - 27/4</u>		
Panna	908.235 - 898.965 = 9.27	
Kylare	39.813 - 38.607 = 1.206	11.7 %
		<u>9.3+1.6</u>
<u>Hela perioden 14/3 - 27/4</u>		8.7 %

Oljebesparing räknat på hela perioden:

RÖKGASSAMMANSÄTTNING

Datum	820601	820601	821202	830217	830218	830601	830602	831027	831027	840228	820229
Provpunkt	FK	FK	EK	EK	EK	EK	FK	EK	FK	FK	EK
Lastfall	1/2	1/1	1/2	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
Rökgas	110/123	211/224	24	29	31	37	247	35	270	205	36
"	m/S	13.5	7.1	10.2	10.2	-	15.0	13.2	7.9	15.4	5.9
"	rm ³ tg 10% CO ₂	940	400	460	460	510	520	660	-	610	640
H ₂ O	8.0	7.3	4.9	6.6	6.8	9.8	11.0	6.2	10.5	9.6	7.3
CO ₂	8.4	9.4	9.2	11.6	11.6	9.6	9.6	13.6	13.6	12.0	12.2
CO	20	20	28	40	40	48	45	60	60	10	5
SO ₂	300	360	370	540	540	375	370	490	490	450	445
NO _x	95	105	70	-	-	120	130	-	-	-	165
SO ₃	16.8	92.6	1.9/0.9	-	(892)	27.6	59	7.1	1.03	-	8.7
Hg	3.1	na	5.7	6.4	na	3.5	8.1	8.9	12.2	-	-
Pb	0.69	na	2.5	2	2.6	1.4	1.4	0.4	1.2	-	-
Cd	0.05	na	<0.004	0.08	0.09	0.04	0.02	0.08	0.17	-	-
Stoft	mg/rm ³ tg	34	13	14	23	16	77	14	61	64	14/11

FK = Före kylare

EK = Efter kylare

KONDENSATSAMMANSÄTTNING

Datum	821202	821202	830217	830218	830914	830914	830923	830923	831027	840229	840313
Provpunkt	FN	EN	FN	EN	FN	EN	FN	EN	FN	EN	EN
pH	2.3	2.5	2.1	-	2.3	2.7	2.3	6.3	6.8	6.3	6.9
Alkalitet HCO ₃ mg/l	<1	<1	<1	-	<1	<1	<1	180	440	-	-
Spec ledn f ms/m	277	149	314	170	280	152	230	118	218	797	646
BOD ₇ mg/l	-	-	-	-	9.6	3.5	47	31	-	-	-
COD (Cr) "	39	470	150	2600	110	490	25000	3200	340	50	400
Hårdhet tot C "	32	160	200	80	60	100	48	23	3	-	560
Glödrest "	-	-	-	-	40	190	160	190	-	-	-
Susp "	28	190	66	1100	7.5	200	610	1800	110	130	190
Fe "	4.3	4.3	25	23	-	-	5.6	9.4	22	84	100
Cr "	0.04	0.03	0.03	0.13	-	-	<0.02	<0.02	0.49	-	4.8
Ni "	1.9	1.7	1.7	4.3	-	-	2.5	2.0	2.6	1.2	8.2
Pb "	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	<0.01	0.2
Cd "	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.005	<0.005	0.005
Hg µg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.4	10
V mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	5.2	2.0	2.9
Zn "	-	-	-	-	-	-	-	-	0.46	0.75	3.1
N _{tot} "	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.3	2.0
S _{tot} "	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FN = Före neutralisation

EN = Efter neutralisation

KORROSION OCH BELÄGGNING



1984-05-10

KORROSIONSUNDERSÖKNING ARBOGA

Bakgrund

I mitten på 1982 togs en rökgaskylare i drift i en panncentral i Arboga tillhörig HSB. I ett projekt som stöds av BFR har denna kylare studerats med avseende på miljöpåverkan, verkningsgrad och korrosion.

Förutsättningar

Rökgaskylaren är installerad efter en panna av märket Högfors 26 med nominella effekten 685 KW. I pannan eldas med Eo 3 i en brännare av fabrikat Weisshaupt.

Brännaren har två hastigheter och vid låglast förbränns ca 25 kg/tim och vid höglast ca 50 kg/tim. Kylaren är installerad efter rökgasfläkten som har varvats upp för att klara det extra tryckfall som kylaren medför. Efter kylaren leds gasen ut till det fria via ett rostfritt rör med dim \emptyset 135 resp \emptyset 200 i den vertikala delen. Vattentemperaturen in till kylaren är mellan 25 och 45^o. Vattnet värms med ca 3^o vid låglast och ca 6^o vid höglast. Rökgasernas temperatur är mellan 190 och 290 vid höglast och ca 140 vid låglast.

Mätningar

Fyra olika stålsorter har testats.

- 1 är ett höglegerat austenitiskt rostfritt stål
- 2 är ett austenitiskt rostfritt stål som liknar SS 2343
- 3 är SS 2343
- 4 är ett ferritiskt rostfritt stål

Samtliga austenitiska tuber var glödgade och betade vid insvetsningen. Den ferritiska tuben var ej betad vid insvetsningen.

Övriga tuber i kylaren består av stål nr 1.

Den 21/11 1983 togs 4 rör ut ur kylaren. Denna hade då varit i drift sedan mitten av 1982. Antal drifttimmar har ej registrerats men var minst 3000. Tuberna har klivits på längden. Provbitar ur den övre, mitten, och undre delen, har sedan studerats i svepelektronmikroskåp. Väggtjockleken har uppmätts.

Resultat

Tubernas utseende vid gasinloppet framgår av bild 1. De austenitiska stålen har ett i stort sett oförändrat ytutseende. Det ferritiska stålet tycks däremot ha påverkats något. Ytan ser prickig ut.

Svepelektronfotografier i 100 ggr förstoring finns i bilaga 2.

Stål 1 verkar vara helt opåverkat av miljön. Ytan ser ut som en betad yta där korngränserna framträder.



Stål 2 har små angrepp av karaktären punktangrepp, men är i övrigt opåverkat.

Stål 3 visar också små punktangrepp. Omfattningen verkar dock mindre än för stål 2.

Stål 4 tycks också ha fått små punktangrepp.

I bilaga 3 finns svepelektronfotografier av samma område som i bilaga 2 men i 300 ggr förstoring.

Stål 1 har i denna förstoring små punktangrepp. De är emellertid grunda och mycket små.

Stål 2 har djupare angrepp än stål 1.

Stål 3 tycks ha en yta som tyder på inslag av allmän korrosion.

Stål 4 uppvisar ett större antal små "nålstick".

Bilaga 4 visar utseendet av tubernas yta i nedre delen av rökgaskylaren. Bilderna är tagna i svepelektronmikroskåp med 100 ggr förstoring.

Stål 1 har en betad yta fri från angrepp.

Stål 2 har också en betad yta, möjligen med enstaka små initieringspunkter.

Stål 3 har som de tidigare en betad yta utan signifikanta angrepp.

Stål 4 har en icke betad yta. Små dammkorn förekommer på ytan. Inga större angrepp.

Bilaga 5 visar det centrala området av bilderna i bilaga 4 i 300 ggr förstoring.

Stål 1 har en betad yta med en liten skada i centrum.

Stål 2 har en betad yta med ett större antal initieringspunkter än stål 1 och med något djupare angrepp.

Stål 3 har som de tidigare en betad yta med ett antal små angrepp.

Stål 4 har en icke betad yta med små fördjupningar som kan vara början till angrepp.

Rörens väggtjocklek har uppmätts. Resultatet blev:

	Övre del			Nedre del		
Stål 1	1.39	1.37	1.38	1.37	1.39	1.40
Stål 2	0.95	0.95	0.95	0.94	0.95	0.95
Stål 3	0.99	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99
Stål 4	1.67	1.68	1.68	1.68	1.68	1.69

Samtliga väggtjocklekar ligger inom det normala toleransområdet.



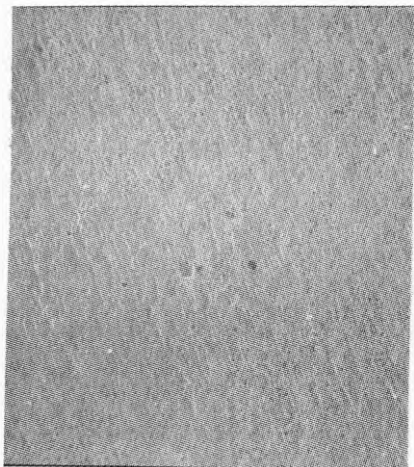
Sammanfattning

Fyra tuber av olika rostfria stål har korrosionstestats i samma miljö. Inget av de undersökta stålen har korroderat i större omfattning. En gradering av korrosionsbeständigheten blir därför svår. Samtliga av de undersökta stålen har små angrepp. Det högst legerade stålet verkar ha lägst frekvens av angrepp. Dessa tycks också vara grundare än övriga. Eftersom propageringshastigheten för angreppen samtidigt är lägre i det högst legerade stålet, förefaller detta att vara det säkraste materialet mot angrepp.

Ett annat resultat av undersökningen är att metoden att kyla rökgaserna är viktig. Tidigare korrosionsundersökningar med liknande stål har gett svåra angrepp på samtliga material på kortare tid. I denna undersökning är storleken av angreppen mycket liten, efter i korrosionssammanhang ganska lång tid. Slutsatsen blir att konstruktionslösningen på rökgaskylaren och systemlösningen är av avgörande betydelse för korrosionen.

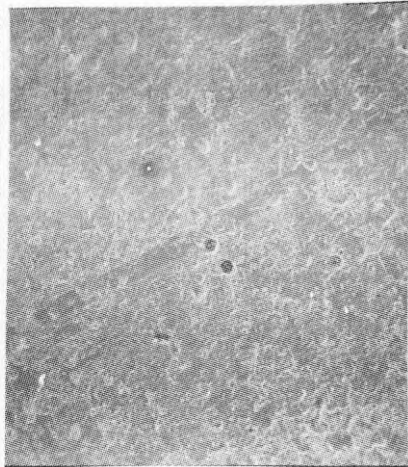
Beträffande kylarens livslängd kan ingen annan slutsats dras än att livslängden är mycket lång.

BILAGA 2



STÅL NR1

x 100



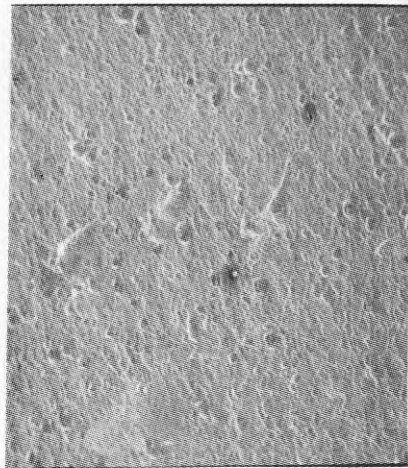
STÅL NR2

x 100



STÅL NR4

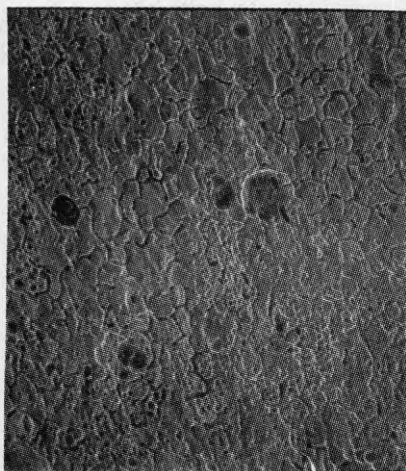
x 100



STÅL NR3

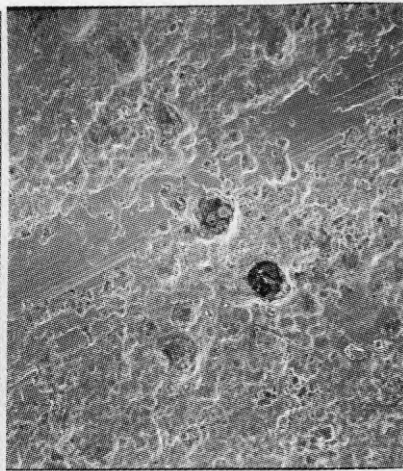
x 100

BILAGA 3



STÅL NR1

X300



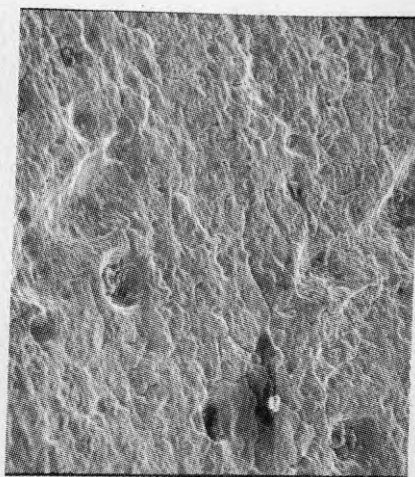
STÅL NR2

X300



STÅL NR4

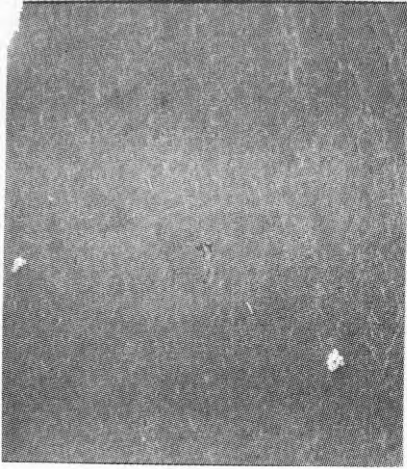
X300



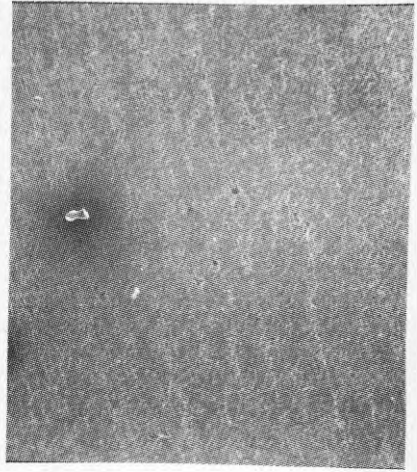
STÅL NR3

X300

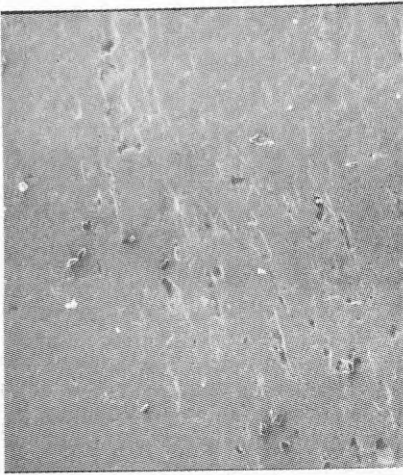
BILAGA 4



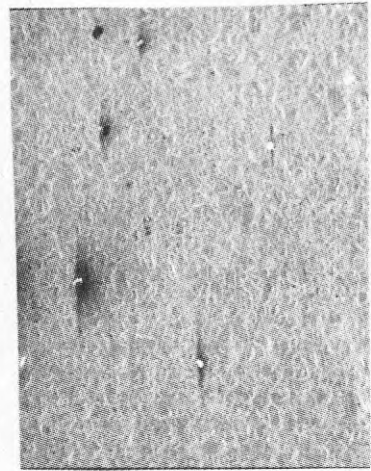
STÅL NR1 X100



STÅL NR2 X100



STÅL NR4 X100



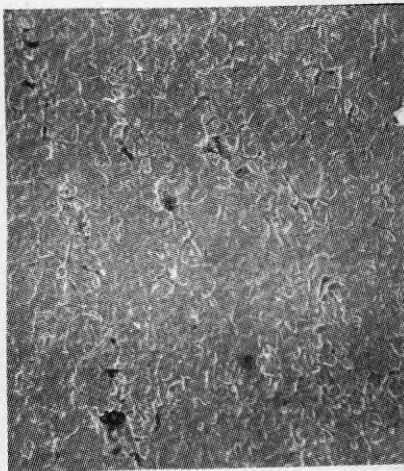
STÅL NR3 X100

BILAGA 5



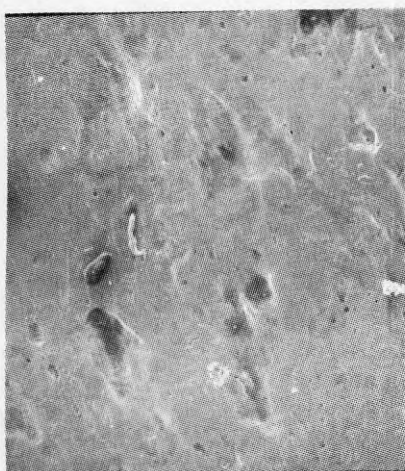
STÅL NR 1

X300



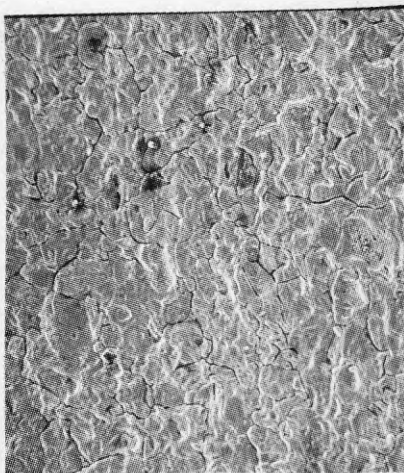
STÅL NR 2

X300



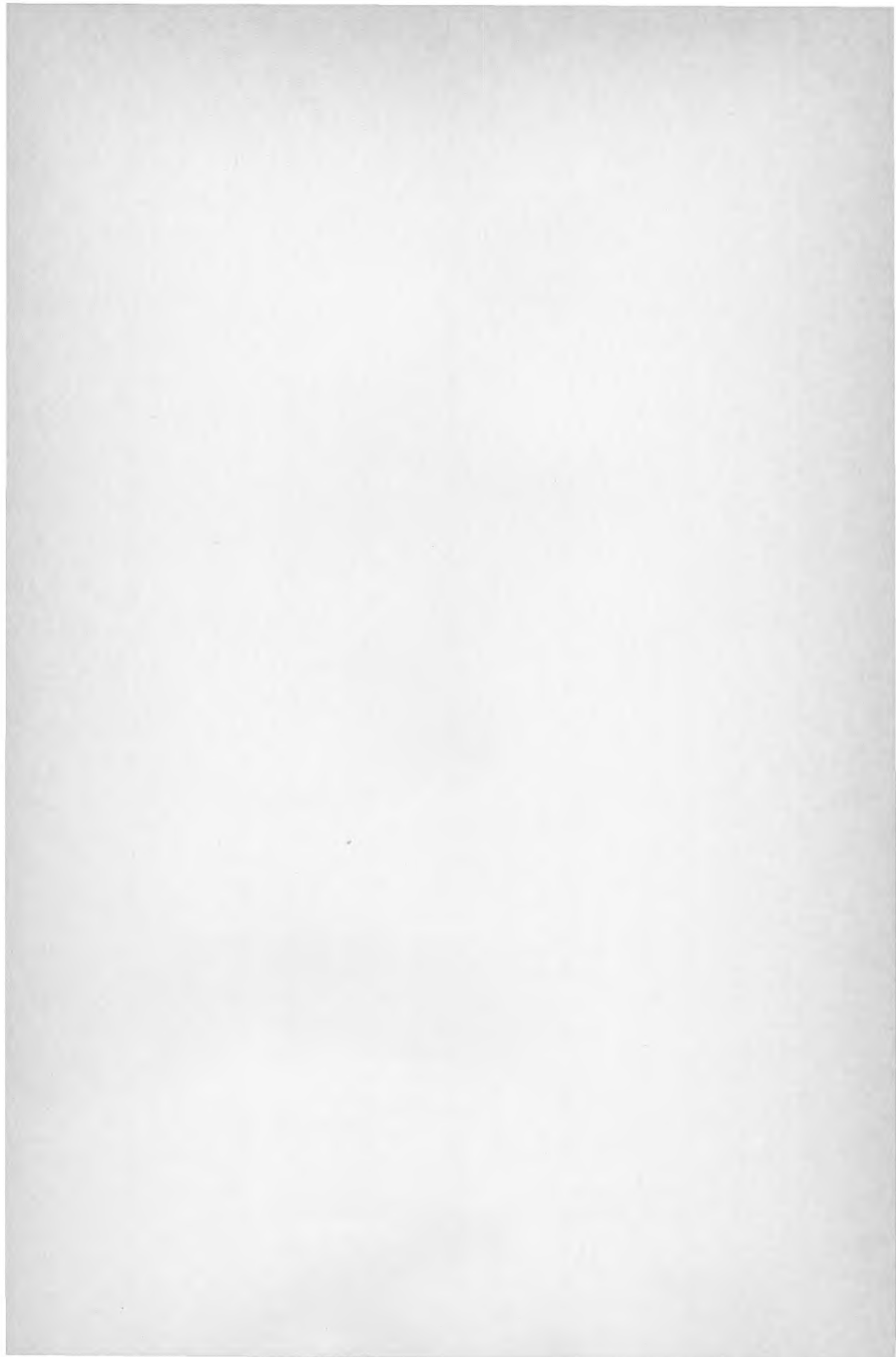
STÅL NR 4

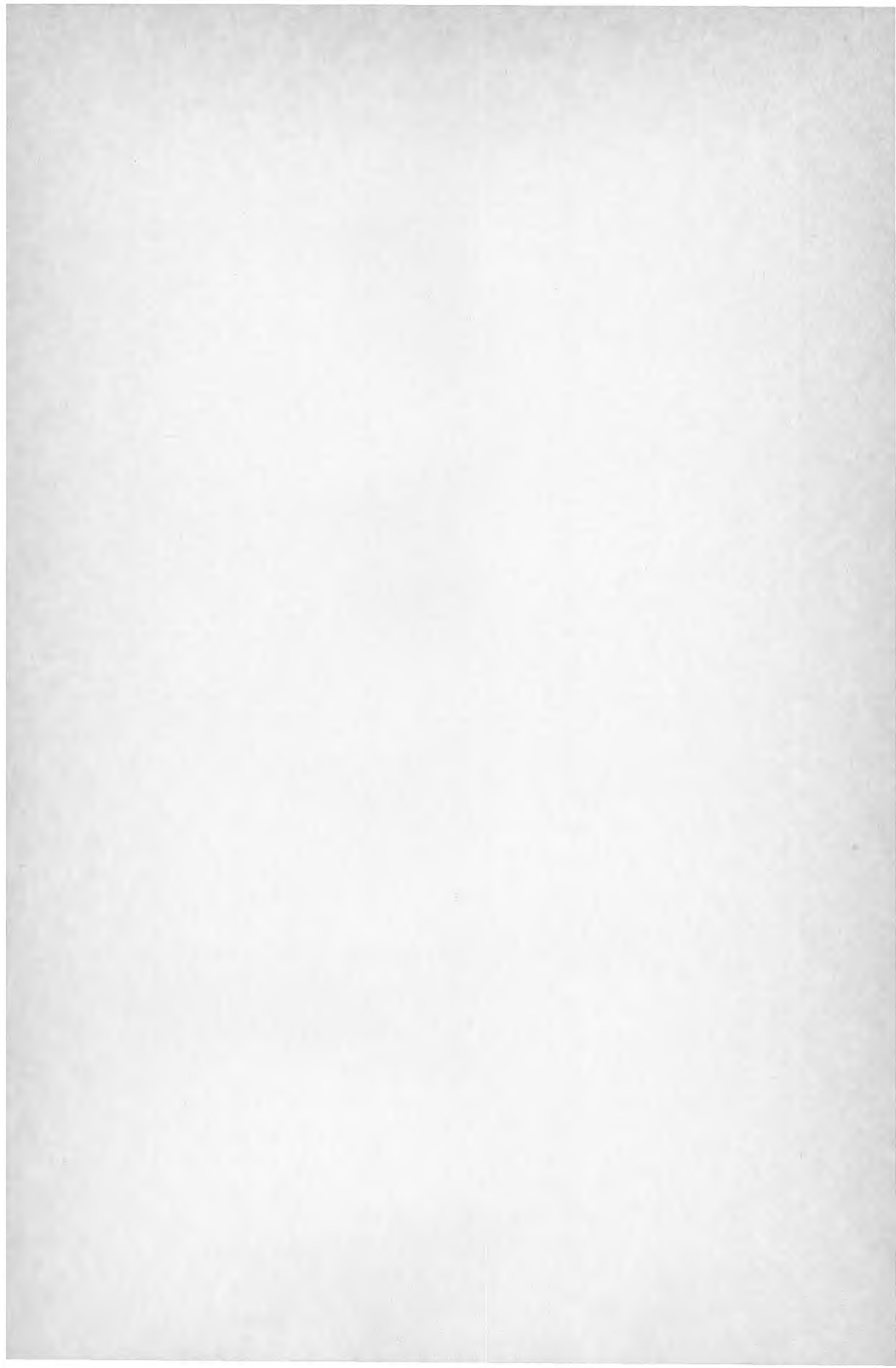
X300



STÅL NR 3

X300







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 820547-2
från Statens råd för byggnadsforskning till Studsvik
Energiteknik AB, Nyköping.**

R62: 1988

ISBN 91-540-4914-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708062

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 33 kr exkl moms