VÄRMEFORSK

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

NO_x utsläpp från spreaderstokerpannor Litteraturstudie

Anna-Karin Hjalmarsson

BRÄNSLETEKNIK 290

SAMMANFATTNING

Litteratursökningar har visat att det som finns publicerat angående NO_x-emissioner från spreaderstokerpannor kommer till största delen från USA. I USA finns ett stort antal spreaderstokerpannor. För att göra spreaderstokertekniken konkurrensmässig ur ekonomisk och miljömässig synvinkel i förhållande till annan förbränningsteknik, har ett stort program genomförts i USA några år runt 1980. Undersökningar är utförda i modellskala och det finns mätningar gjorda på fullskaliga pannor under kortare och längre perioder. De flesta studierna har som syfte haft att kartlägga och optimera verkningsgrad och emissioner i allmänhet, inte enbart NO_x-emissioner. Metoder som testats för att minska NO_x-utsläppen var bl a att minska det totala luftöverskottet, optimera förhållandet primärluft/sekundärluft, avlägsna finandel ur bränslet och komplettera med rökgasåterföring. Metoder med att avlägsna den fina fraktionen ur bränslet och med rökgasåtervinning finns patenterade i USA. Generellt visade resultaten att ändring av driftparametrar och modifiering av utrustning i syfte att sänka emissionerna även gav förbättring av verkningsgrad och tvärtom, modifieringar i syfte att förbättra verkningsgraden gav sänkta emissioner.

Vilka emissionskrav som gällt för NO_x-emissioner har till stor del styrt hur stora insatser som har satts in på att kartlägga och sänka NO_x-värdena.

I Europa finns i stort sett inget publicerat rörande spreaderstokerpannor och NO_x-emissioner. För de flesta spreaderstokerpannorna i Europa finns idag inga krav på NO_x-emissioner och leverantörerna har inte lämnat garantier. Det är den mest troliga orsakerna till att få mätningar är utförda.

I Sverige finns det tre anläggningar med spreaderstokerpannor, i Borås, Göteborg och Linköping.

Mätningar i samband med leveransprov och dyl har givit emissionsvärden mellan 0,22-0,26 g NO_2/MJ vid koleldning 0,15 g NO_2/MJ vid flis och kombination av flis och kol. Försök är ej utförda med att ytterligare sänka NO_x-emisionerna.

De leverantörer som har varit beredda att lämna värden för NO_x-garantier för nybyggda pannor (var endat 4 st) har givit varierande garantivärden. Samtliga avser att cirkulera rökgaserna och anger begränsningar i bränslespecifikationen för ex kväveinnehåll för att garantier ska vara giltiga. För kol varierar garantivärdena mellan 0,15 och 0,25 g NO_2/MJ då kväveinnehållet är mindre än 1,5 % och för flis anger en leverantör 0,09 g NO_2/MJ som garantivärde.

SUMMARY

This study shows that articles handling NO_x emissions mainly come from the US. There are a lot of spreader stokers in the US. In the early 1980's a big program was run to make spreader stoker boilers competitive from economic and environmental aspects. The researches have been carried out in bench- or model scale and there are measurements on full scale boilers, which have been carried out during longer or shorter periods. The purpose of most of the studies has been to map and optimize the degree of efficiency of emissions in general and not only the NO_x emissions. Methods, which have been tested in order to reduce the NO_x outlets, were among other things to reduce the total air excess, optimize the ration between the primary and secondry air, remove the fines of the fuel and add fluegas recycling. Methods to remove the fines from the fuel and regarding fluegas recycling are patented in the US. In general the results showed that changes of the operation and the modification of the equipment to reduce the emissions also improved the boiler efficiency and the reverse, i.e. modifications aiming at increasing the efficiency of the boiler resulted in reduced emissions.

The existing limits for NO_x emissions have largely ruled how large the achievements should be in order to map and reduce the NO_x emissions.

In Europe hardly anything has been published concerning spreader stoker boilers and NO_x emissions. There are no regulations concerning most of the boilers in Europe today regarding NO_x and the manufacturers have not given any guarantees. That is most likely why so few measurements have been carried out.

In Sweden there are three spreader stoker boilers - in Borås, Göteborg and Linköping.

Measurements carried out in the form of delivery tests and such like have stated emission values of 0.22-0.26 g NO_2/MJ when burning coal and approx. 0.15 g NO_2/MJ when burning wood chips and combinations of wood chips and coal. No attempts have ben made to reduce the NO_x emissions even more.

Those manufacturers who have been prepared to give values of NO_x guarantees of new spreader stoker boilers (only 4) have given varying guarantee values. All of them intend to recirculate the fluegases and give limits in the specifications of fuel, concerning for instance nitrogen contents, to make the guarantees valid.

The guarantee values for coal varies between 0.15 and 0.25 g NO_2/MJ, when the nitrogen content is lower than 1.5 %, and one manufacturer states that wood chips has a guarantee value of less than 0.09 g NO_2/MJ.

Kew words: NO_x emission, spreader stoker boiler, NO_x reduction

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1 INLEDNING

2 ELDNING MED SPREADERSTOKER

3 BILDNING AV KVÄVEOXIDER

4 SVERIGE
4.1 Anläggningar
4.1.1 Sävenäs HP3, Energiverken i Göteborg
4.1.2 Borås, fastbränslepannor, P1 och P2
4.1.3 Linköping P1
4.1.4 Jordberga Sockerbruk, under projektering
4.2 Leverantörer
4.2.1 Generator (och Götaverken Energy Systems)

5 DANMARK
5.1 Anläggningar
5.2 Leverantörer
5.2.1 Vølund
5.2.2 Burmeister & Wain
5.2.3 Aalborg Boilers

6 VÄSTTYSKLAND

7 FRANKRIKE

8 USA

9 LITTERATURFÖRTECKNING

Bilaga 1 Utsläppskrav för kväveoxider

1 INLEDNING

Under de senaste två åren har strävan vid energiframställning varit att minska oljeberoendet. Detta har resulterat i eldning med fasta bränslen såväl inhemska biobränslen som importerat kol. Vid förbränning är strävan också att minimera risken för miljöpåverkan.

Bland de eldningsmetoder som hitintills kommit till användning kan nämnas pulver-, rost-, spreaderstoker- och fluidbäddeldning.

Spreaderstokertekniken, som är en gammal förbränningsmetod, har en relativt hög drifttillgänglighet och är flexibel beträffande bränsle. Det är möjligt att i samma eldstad elda träbränsle, torv, kol och blandningar av dessa.

Beträffande emissioner har mätningar visat att kväveoxidemissionerna är förhållandevis höga.

Syftet med denna studie har varit att söka kartlägga NO_x-utsläpp från spreaderstokeranläggningar i Europa och i USA.

Information har samlats in genom en litteraturstudie, där litteratursökningar ur databaser i USA, Västtyskland och England är genomförda. Brev och enkäter har sänts ut till leverantörer, anläggningsägare och andra instanser i Danmark, Finland, Västtyskland, England, Frankrike, USA, Canada och Japan. Telefonsamtal har möjliggjort att några svar har kommit in, men det har genomgående varit svårt att få uppgifter från leverantörer och anläggningsägare. Trolig orsak är att det inte finns så mycket mätningar utförda och att leverantörerna inte har utfört arbeten beträffande NO_x-emissioner och det lilla som finns vill de ej lämna ut. Det är endast i de länder där det finns krav och riktlinjer för emissioner, som mätningar förhoppningsvis finns utförda.

Kväveoxider i rökgaserna består till största delen av kvävemonoxid och en mindre del kvävedioxid. Vanligtvis mäts enbart kvävemonoxid i rökgaserna, men i vissa fall mäts både kvävemonoxid och kvävedioxid. Vid villkor i samband med tillståndsgivning och redovisning av emissioner anges halterna som summan av kväveoxider räknat som kvävedioxid per energienhet i ingående bränsle baserat på bränslets effektiva värmevärde, g NO_2/MJ (g NO_x/MJ).

I bilaga 1 finns förenklat angivet de riktlinjer och förslag på riktlinjer som i dag finns för koleldning.

2 ELDNING MED SPREADERSTOKER

Eldning med fast bränsle är en av de äldsta företeelserna i teknikens historia och i sista hälften av förra århundradet blev de första mekaniska apparaterna för bränsleinmatning installerade i de dåvarande cylindriska pannorna med fasta rostar.

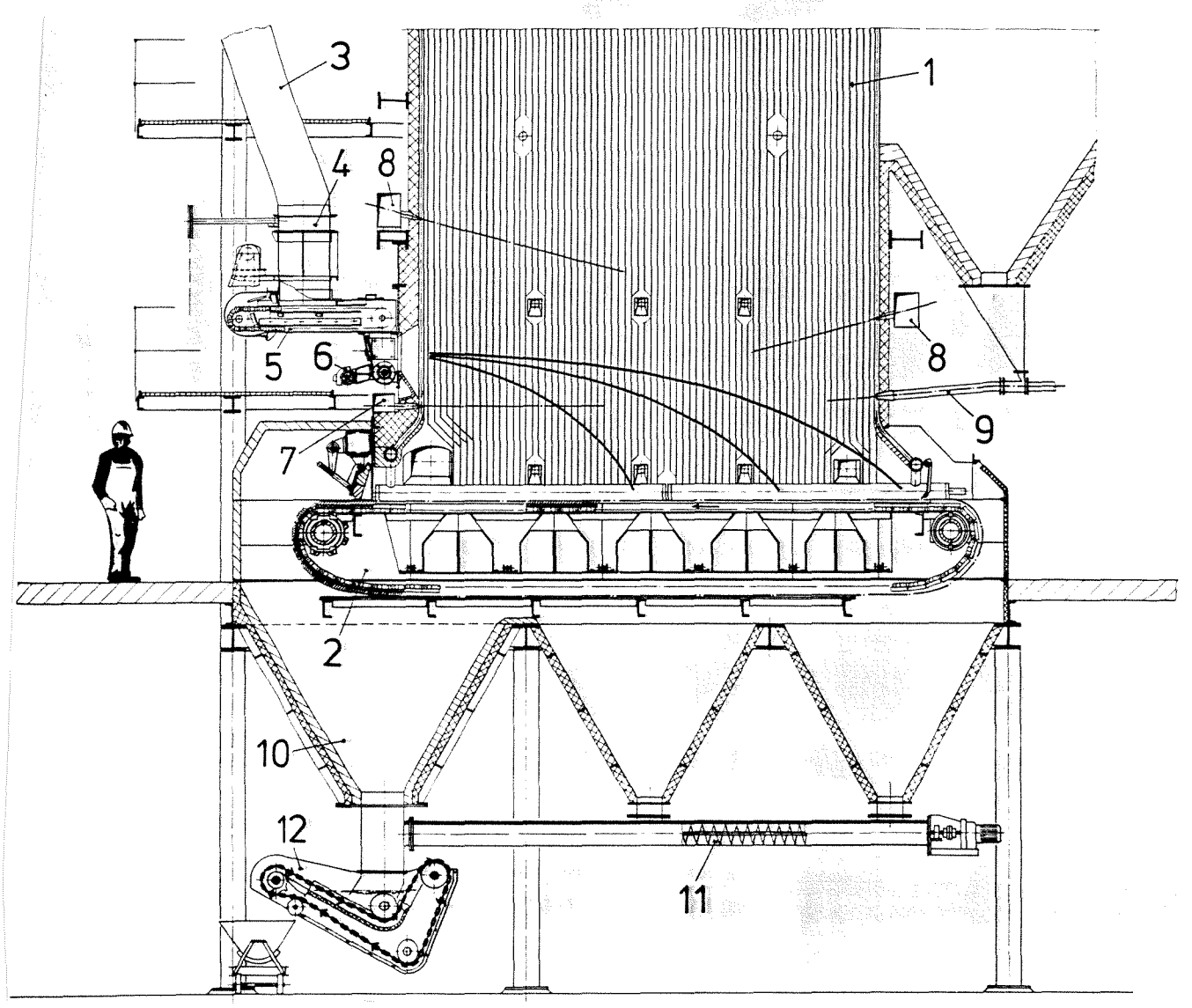
Först i mitten av detta århundradet, när det blev aktuellt att elda sämre och tidigare ointressanta kol, skedde en utveckling för att höja effektiviteten för stokerpannorna. Spreaderstokertekniken är alltså en gammal förbränningsmetod med en relativt hög drifttillgänglighet. Den är även flexibel beträffande bränsle.

Rosteldning med spreader är speciellt lämpat för koltyper inom ett stort spann med en hög andel inert material, såsom brunkol även bark, avfallsprodukter etc kan eldas.

Det är möjligt att i samma eldstad elda träbränsle, torv, kol eller blandningar av dessa.

Principen för en spreader panna är att bränslet ska fördelas så jämnt som möjligt på rosten. Detta sker genom att bränslet kastas in i eldstaden. Förbränningen sker i två faser. Finandelen brinner svävande på vägen ner mot rosten i den s k suspensionsfasen och resterande bränslemängden brinner på rosten i den s k bäddfasen. Eldningsförfarandet kan ses som dels pulvereldning och dels som rosteldning.

Användningsområdet för spreaderstoker är normalt för ångproduktion från 5 till 200 ton ånga per timme, dvs en kolförbrukning mellan 0,5 till 20 ton kol/h. Små anläggningar kan vara i storleksordning ner till 1 ton ånga/h och är då oftast utrustade med fast rost och vippbara lameller för diskontinuerlig slaggutmatning.



1. Panna/Boiler
2. Rost, rörlig/Travelling grate
3. Bränsle/Fuel
4. Avstängningsspjäll
5. Matare/Feeder
6. Spreader/Spreader
7. Bärluft/Carrying air
8. Sekundärluft/Secondary air
   Återföring av oförbrända partiklar/coke fines feed back
   Askficka/Ashhopper
11. Skruvtransportör/screw conveyor
12. Asksläckare/Submerged scrape conveyor

Bild 1. Spreaderstokerpanna med mekanisk bränsleinmatning och rörlig rost.

Figure 1 Spreaderstokerboiler with mechanical fuel feeder and moving grate

Det finns alltså olika typer av spreaderstokers och rostarrangemang.

Det enklaste och billigaste arrangemanget är med stationär rost, som uraskas manuellt och är okyld. Vanliga storlekar är 2-10 MW.

Det finns även roster med kontinuerlig uraskning genom vibrationer eller oscillation. Vanligaste rosttypen är dock rörlig rost. En rörlig roster består av ett ändlöst band av lameller. Aska matas ut kontinuerligt.

Från bränsleficka doseras bränsle med någon typ av bränslematare med vanligtvis reglerbar hastighet.

Inmatning av bränsle till eldstad görs genom mekanisk spreader eller med injektion med ånga eller luft beroende på bränslekaraktäristik.

Spreadern som kan ha mekanisk eller hydraulisk drift består av paddel eller hjulformade blad. Matningsrotorn roterar med hög hastighet.

Kastvinkeln från rotorn kan regleras, genom flyttning av mataranordningens framkant i förhållande till rotorn. Normalt är rotorhastigheten konstant.

De flesta spreadrar har individuella paddlar eller element, så att de kan justeras och bytas lätt. Det är viktigt att bladen är rätt riktade och rotorhastigheten rätt, för att få en bra fördelning i eldstaden.

Rosthastigheten kan varieras. Vid större pannor kan reglering delas för varje rosthalva eller mindre delar. Bäddtjockleken regleras med rosthastigheten.

Bränslebädden är vanligtvis tunn (5-15 cm). Under den brinnande kolbädden är ett asklager. Detta tillsammans med luftflödet genom rosten hjälper till att hålla en drifttemperatur som är acceptabel för metalldelarna i rosten och förhindrar slaggbildning.

Luften tillsätts förbränningen dels genom rosten, primärluft, via ett antal inlopp som bör vara individuellt justerbara för att få en jämn luftfördelning över rosten.

Resterande luftmängd, sekundärluft, tillsätts i munstycken placerade i rader på olika nivåer över rosten, vanligtvis 0,15-2 m över rosten. Munstyckena kan vara vinklade för att luftstrålarna skall vara riktade åt olika håll. En luftmängd tillsätts direkt under spreadern som bärluft. Övrig luft tillsätts på olika nivåer över och under spreader, vanligtvis endast i främe och bakre väggen.

Aska, som innehåller oförbrända kolpartiklar återförs till eldstaden.

3 BILDNING AV KVÄVEOXIDER

Som underlag till de olika resonemangen beträffande kväveoxidemissioner ges här en generell kortfattad genomgång av teorier för bildning av olika kväveoxider och begränsning av kväveoxidbildningen.

Teoretiskt skiljer man på olika bildningsmekanismer för NO-bildning.

- termisk NO-bildning
- prompt-NO
- bildning av NO från kväve i bränslet

Termiskt bildat NO bildas ur kvävet i luften. Det finns två bildningsmöjligheter, antingen genom reaktion mellan de från luftkvävet termiskt bildade syreradikalerna och det molekylära luftkvävet eller genom reaktion mellan luftkvävet och OH-radikaler från förbränningen. Den sista reaktionsvägen är endast av betydelse vid understökiometrisk förbränning av väterika bränslen, flis, torv osv.

Prompt-NO uppstår också från kvävet i luften speciellt vid förbränning av kolväterika bränslen. Från radikaler (H-C) och molekylärt kväve från luften bildas cyanidbindningar som sedan omvandlas till NO.

NO från kvävet i bränslet bildas över CN-bindningar. Reaktionsförloppet är inte helt klarställt. Mängden bildat NO beror på halten kväve i bränsle, tillgång till luft i flamman, temperatur i flamman, reaktionstid osv.

Bildning av kväveoxider NO och NO_2 (1)

Kväveoxid		Bildnings-ställe	Reaktions-mekanism	Förutsättning för bildande
NO	Termisk	Flamma efter-reaktionszoner	Zeldovic a) O_2-överskott $O + N_2 = NO + N$ $N + O_2 = NO + O$ b) bränsleöverskott $N + OH = NO + H$	O-koncentration från O_2-dissociation uppehållstid temperatur >1300°C
	Prompt	Flamma	Fenimore $CN + H_2 = HCN^{1)} + H$ $CN + H_2O = HCN^{1)} + OH$ $CH + N_2 = HCN^{1)} + N^{1)}$	O-koncentration från förbränningsreaktion Luftfaktor
	Från bränsle	Flamma	Från CN-bindning delvis obekant	O_2-koncentration (luftfaktor) uppehållstid
NO_2		Flamma	Fenimore $NO + HO_2 = NO_2 + OH$	Snabbavkylning av förbränningsreaktionen (gasturbin)
		Rökgaskanal Skorsten	Bodenstein $2NO + O_2 = 2NO_2$	Temperatur < 650°C O_2-koncentration uppehållstid
		Fria atmosfären	$NO_2 + h \cdot \upsilon = NO + O_2$ $O + O_2 + M = M = O_3 + M$ $NO + O_3 = NO_2 + O_2$	O_2-koncentration ljusintensitet (solljus) uppehållstid luftnedsmutsning

1) Reaktionsprodukter varifrån NO_x bildas.

Möjligheter att minska NO_x vid förbränning av kol.

Det finns olika möjligheter att minska NO-bildningen vid kolförbränning. I huvudsak genom

förbränningstemperatur och
O_2-partialtryck

Verkningsgraden av enskilda åtgärder är mycket anläggnings- och bränslespecifika. De beror på såväl storlek och typ av förbränningsanläggning som på kolets egenskaper, förbränningsmässigt och energiinnehåll.

I många fall är möjligheterna att minska NO-bildning genom förbränningstekniska åtgärder begränsade beroende på givna anläggningstekniska förutsättningar.

Utfallet av flera, samtidigt (parallellt) åtgärder för att minska NO_x är mindre än summan av de teoretiska verkningsgraderna av enskilt utförda åtgärder.

De åtgärder som vanligtvis diskuteras vid rosteldning är:

Eldning med lågt luftöverskott
Yttre rökgascirkulation
Stegvis förbränning genom extra luftportar för sekundärluft

Hur lågt luftöverskott som kan uppnås bestäms av

- Normalt kyls rosten av förbränningsluften. Vid minskat luftöverskott blir rostens och därmed luftens temperatur högre.

- Risk att skapa lokala understökiometriska förhållanden, ökad risk för korrosion.

- Hög kolhalt i aska.

- Oacceptabelt utsläpp av kolmonoxid.

Vid sänkning av luftöverskottet krävs intensivare övervakning.

4 SVERIGE

4.1 ANLÄGGNINGAR I SVERIGE

I dag finns 3 anläggningar med spreaderstokerpannor i drift i Sverige, Energiverken i Göteborg, Linköpings kraftvärmeverk och Borås Energiverk, som har tagits i drift för fastbränsleeldning 1983-1985.

Pannorna i Linköping och Borås är ångpannor och båda är ombyggda från oljeeldning till fastbränsleeldning. Pannan i Göteborg är en nybyggd hetvattenpanna. Samtliga pannor är konstruerade för koleldning. I Borås kan dessutom skogsbränsle eldas och kombination av kol och skogsbränsle.

NO_x-emissionerna från samtliga pannor understiger det mest förekommande villkoret för emissioner, 0,28 g NO_2/MJ_{br}.

4.1.1 Sävenäs HP3, Energiverken i Göteborg

Hetvattenpannan är en Eckrohr vattenrörpanna på 120 MW termisk effekt.

Eldningsutrustningen består av en rörlig rost kombinerad med åtta kastapparater fördelade över pannfronten. Rosten är en tvillingrost.

Luftkamrarna under rosten för primärlufttillförsel är uppdelade i tvärgående zoner med var sin lufttillförsel, möjliga att oberoende justeras.

Pannan togs i drift i slutet av 1985.

Leverantör av pannan är Generator Industri AB, som har garanterat att NO_x-utsläppen ej ska överstiga 0,28 g NO_2/MJ_{br} förutsatt bl a att kväveinnehållet i kolet ej överstiger 1,2 % (torrt prov).

Panndata		
Värmeeffekt	MW	120
Rost		
längd x bredd	m^2	5,8 x 10,9
yta	m^2	63
höjd	m	15,5
Eldstadsvolym inkl gasrum	m^3	980
Rostbelastning	kW/m^2	2070
Eldstadsbelastning	kW/m^3	133

Prestandaprov utfördes under 1986, med resultat beträffande NO_x som ej var acceptabla. (Kvävehalten i bränslet under provet var högre än i garantiförutsättningarna.) Mätningar utfördes med kemilumiscensinstrument och summan av NO och NO_2 mättes.

Prov genomfördes W 610 med australiensiskt kol.

Bränsledata		
Effektivt värmevärde	MJ/kg	25,8
Andel flyktigt	%	26,9
Kväve (torrt)	%	1,7

Panneffekt	MW	122,4	62	30,85
Kolflöde	ton/h	19,9	9,8	5,1
Fördelning primär/sekundärluft		9,01	6,53	4,22
O_2 efter eco (torrt)	%	6,1	7,7	9,8
Kväveoxidemission	g NO_2/MJ_{br}	0,32	0,28	0,17

Prov genomfördes W 615 med polskt kol.

Bränsledata		
Effektivt värmevärde	MJ/kg	26,16
Andel flyktigt	%	27,9
Kväve (torrt)	%	1,2

Panneffekt	MW	
Kolflöde	ton/h	18,67
Fördelning primär/sekundärluft		5,38
O_2 efter eco (torrt)	%	
Kväveoxidemission	g NO_2/MJ_{br}	0,27

För att sänka NO_x-emissionerna vidtogs vissa åtgärder. Luftfördelningen genom rostern och fördelning mellan primär- och sekundärluft justerades, bärluften ökades och man kompletterade med en dysrad i bakkanten.

Nya prov genomfördes. Prov 1 utan att de nya sekundärluftportarna var öppna och prov 2 med sekundärluftportarna öppna.

Provet genomfördes W 705 med polskt kol.

Bränsledata			
Effektivt värmevärde	MJ/kg	26,0	
Andel flyktiga	%	26,5	
Kväve (torrt)	%	1,7	
		1	2
Panneffekt	MW	138	138
O_2 efter eco (torrt)	%	6,4	5,9
Kväveoxidemissioner	g NO_2/MJ_{br}	0,24	0,22

Drift

Normalt körs pannan med en O_2-halt mellan 6 och 7 %. Inga ytterligare speciella trimningsförsök eller studier har utförts för att minska eller kartlägga NO_x-emissionerna.

Rökgaserna analyseras kontinuerligt med avseende på CO, SO_2 och NO. SO_2 och NO mäts med ett insituinstrument placerat i skorstenen. Instrumentet är ett UV-instrument av fabrikat Lear Siegler.

NO_x-emissioner skall redovisas för varje driftsäsong. Årsvärdet räknat i g NO_2/MJ för driftsäsongen 1986/87, som skall redovisas av EiG i juni är ännu ej framtaget.

Uppmätta medelvärden av NO-halt i rökgaser under 1987 är:

Januari	218 ppm
Februari	214 ppm
Mars	230 ppm
April	193 ppm

Förutsatt 6,5 % O_2 i rökgaserna och med antagna koldata och antagande att 10 % av NO_x består av NO_2, motsvarar dessa värden emissioner mellan 0,18 och 0,22 NO_2/MJ för perioden januari till april 1987.

4.1.2 Ryaverket i Borås (P1 och P2)

Två oljeeldade pannor från 1965, fabrikat SMV, har genom installation av spreaderstokers, bränsle och askhanteringssystem byggts om för eldning även med stenkol och skogsbränsle. Leverantör för ombyggnad av pannan var Götaverken Energy Systems. Ångpannmorna togs i drift för fastbränsleeldning driftsäsongen 1983/84. Leverantören har ej lämnat några garantier för kväveoxidutsläpp efter pannan. Villkor enligt koncessionsnämndens beslut är 0,28 g NO_2/MJ. Inmatningen för kol sker med mekaniska spreaders och för skogsbränsle med pneumatiska spreaders

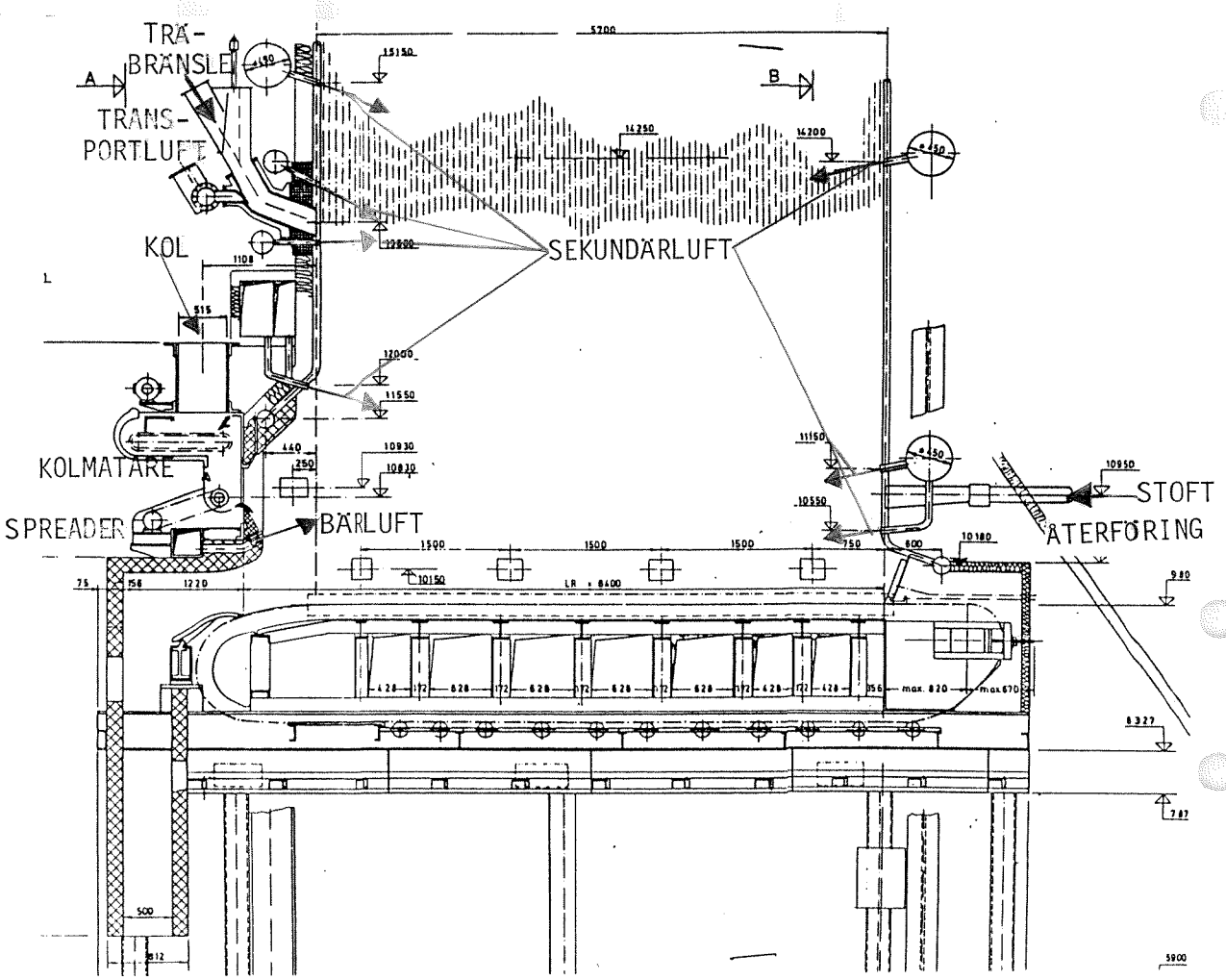


Bild 2 Spreaderstokerpanna i Borås

Figure 2 The spreaderstokerboiler in Borås

Panndata		
Kapacitet kol	ton ånga/h	90
skogsbränsle	ton ånga/h	60
Rost, yta	m^2	38,9
Eldstadsvolym	m^3	425

Prestandaprov genomfördes med kol, skogsbränsle och blandningar därav under veckorna 516 och 517.

Kväveoxidemissioner mättes med ett kemiluminiscensinstrument och summan av NO och NO_2 mättes.

Koleldning, P1 90 ton ånga

Koldata		
Effektivt värmevärde	MJ/kg	24,7
Andel flyktigt	%	23,1
Kväve (torrt)	%	1,7
Kolflöde	kg/h	11 762
Rostbelastning	kW/m^2	2 073
Eldstadsbelastning	kW/m^3	190
O_2 före eco/efter fjärrvärmeeco (torrt)	%	5,0/5,6
Kväveoxid	g NO_2/MJ_{br}	0,23

Skogsbränsle 60 ton ånga/h P1 och P2

		P1	P2
Flöde	kg/h	25 411	24 196
Effektivt värmevärde	MJ/kg	7,68	8,3
Fukthalt	%	53	50
Kväve (torrt)	%	0,6	0,6
Rostbelastning	kW/m^2	1 393	1 434
Eldstadsbelastning	kW/m^3	127	132
O_2 före eco/efter fjärrvärmeeco (torrt)	%	6,6/7,6	6,6/7,6
Kväveoxid	g NO_2/MJ	0,15	0,15

Skogsbränsle + kol (60 + 30 ton ånga/h) P1

Bränsledata		Skogsbränsle	Kol
Flöde	kg/h	19 672	5 553
Effektivt värmevärde	MJ/kg	7,85	24,7
Rostbelastning	kW/m^2	1 968	
Eldstadsbelastning	kW/m^3	180	
O_2 före eco/efter fjärrvärmeeco (torrt)	%	4,3/5,3	
Kväveoxid	g NO_2/MJ	0,15	

Kol, P2, 45 ton ånga/h

Bränsledata		
Flöde	kg/h	6 301
Effektivt värmevärde	MJ/kg	25,12
Rostbelastning	kW/m^2	1 130
Eldstadsbelastning	kW/m^3	103
O_2 före eco/efter fjärrvärmeeco (torrt)	%	8,0/8,3
Kväveoxid	g NO_2/MJ_{br}	0,26

Skogsbränsle 20 ton ånga/h, P2

Bränsledata		
Flöde	kg/h	8 295
Effektivt värmevärde	MJ/kg	8,88
Fukthalt	%	48
Rostbelastning	kW/m^2	586
Eldstadsbelastning	kW/m^3	48
O_2 före eco/efter fjärrvärmeeco (torrt)	%	6,9/7,8
Kväveoxid	g NO_2/MJ_{br}	0,16

Försök har utförts med torveldning i en av dessa pannor, som del i ett Värmeforskprojekt. (Ref 12)

Data som där redovisas är:

Panneffekt	ton ånga/h	40	71
Pannverkningsgrad	%	79,1	85,5
CO	ppm	700	500
Kväveoxid	g NO_2/MJ_{br}	0,28	0,20

Drift

De båda pannorna i anläggningen körs normalt med blandning av kol och skogsavfall. Endast vid extremt höga laster vintertid körs pannorna enbart med kol. Anläggningen körs vanligen med följande med O_2-halter: kol 5-6 %, blandning kol och flis 6-7 % och enbart flis >10 %.

Pannorna har ett gemensamt gasanalysinstrument, som i sekvens tar prov ur rökgaser från de olika pannorna. Instrumentet mäter även olika komponenter och har i provberedningssystemet en utspänningssond. Analysinstrumentet är ett IR-instrument, Miran 981.

Det är planerat att data från analysinstrumentet skall bearbetas i en emissionsberäkningsdator för att beräkna emissionerna i enheten g/MJ. Programmeringsarbetet är ännu ej färdigt, därför har emissioner från kontinuerlig drift inte redovisats.

4.1.3 Linköping P1

En oljeeldad ångpanna har byggts om till koleldning genom att den har försetts med bl a bränslehantering, spreader rost och askhanteringssystem och rökgasavsvavling. Pannan togs i drift 1985 med koleldning.

Generator är leverantör för ombyggnaden av panna.

Det finns möjligheter att ställa in luftfördelningen genom rosten.

Sekundärluften tillsätts genom dysrader, 2 rader i frontväggen och 2 rader i bakväggen. Luft till de olika raderna går in beroende på luftbehov vid olika laster.

I frontväggen finns två dysrader med 12 dysor i varje dysrad på 2,3 m respektive 2,1 m över rosten. I bakväggen finns motsvarande dysrader på 2,1 m respektive 1,8 m över rosten.

Panndata		
Kapacitet	ton ånga/h	99,6
Rostyta	m^2	36,4
Eldstadsvolym	m^3	460

Leveransprov utfördes 1986-03-11.

Provet utfördes med amerikanskt kol.

Bränsledata		
Flöde	kg/h	11 498
Effektivt värmevärde	MJ/kg	26,49
Fukthalt	%	10,7
Askhalt	%	10,7
Kvävehalt (torrt, askfritt)	%	1,6
Panneffekt	MW	72,9
Rostbelastning	MW/m^2	2 320
Eldstadsbelastning	MW/m^3	184

Fördelning primär/sekundärluft:		2,15
O_2 efter fjärrvärmeeco (torr)	%	6,1
CO efter fjärrvärmeeco	ppm	10
Kväveoxid	gNO_2/MJ	0,23

Drift

Normalt körs pannan med cirka 6 % luftöverskott. Kväveoxidhalten mäts ej kontinuerligt. Värden redovisas till myndigheter genom periodisk kontroll.

4.1.4 Jordberga sockerbruk, under projektering

En beställning är lagd hos Generator på en 70 MW kol- och skogsbränsleeldad spreaderstoker.

Pannan är en ångpanna med en maximal kapacitet av 100 ton ånga/h och den kan eldas med kol, torv och flis.

Pannan har 6 mekaniska inkastare för kol och 6 pneumatiska inmatare för flis och torv. Spreaderrosten levereras av VKW. (Vereinigt Kesselwerke AG.)

Anläggningen skall förses med rökgasåterföring cirka 15 %. Rökgaserna tillsätts till primärluften, individuellt till varje zon. Sekundärluften tillförs eldstaden i 7 st register på olika nivåer.

Rostyta	m^2	55,2
Eldstadsvolym inkl gasrum	m^3	818
Rostbelastning	kW/m^2	1580
Eldstadsbelastning	kW/m^3	108

Följande garantier har lämnats för NO_x-emissioner.

Vid max 1,2 % kväve i bränslet garanteras 0,20 g NO_2/MJ
Vid max 1,8 % kväve i bränslet garanteras 0,28 g NO_2/MJ

I koncessionsnämndens beslut gäller följande provisoriska föreskrifter:

NO_x-emissionerna inte får överstiga 0,28 g NO_2/MJ som medelvärde under enskilt driftdygn.

4.2 LEVERANTÖRER I SVERIGE

Generator Industri AB

Generator har ej utfört några praktiska försök med att ytterligare minska kväveutsläppen från spreaderstokerpannor mer än vad som redovisas för respektive anläggning. Generator har ingen egen tillverkning av spreader och rost utan köper ofta från Vølund, Danmark eller EVT och VKW, Tyskland.

Generator kan inte ange några lägre värden på garantier på NO_x-emissioner från spreaderstoker än de som ovan angivits för pannan i Jordberga.

För att minska emissionerna anger Generator, att åtgärder som kan vara aktuella är rökgasrecirkulation, minskning av primärluften och ökning av luft till fler sekundärluftregister, lägre rostbelastning, utformning av panna med högre eldstad och en areaminskning i mitten av eldstaden.

5 DANMARK

5.1 ANLÄGGNINGAR

I Danmark har eldats mycket kol och det har gjorts så under en längre tid. Av de koleldade pannorna är en del spreaderstokers. De flesta spreaderstokers är äldre. I Danmark finns inga krav på NO_x-emissioner, därför har det varit svårt att finna några anläggningar, där NO_x-emissioner har uppmätts.

En mätning har utförts i samband med KHM-utredningen(ref 3), på en spreaderstoker i Köpenhamn. Pannan är från 1963 och tillverkad av Aalborg Vaerft AS/Steinmüller. Rostytan är 64 m^2.

Bränsleeffekt	MW	112
Bränsleflöde	ton/h	96,2
CO	ppm	40
Kväveoxid	g NO_2/MJ	0,23

5.2 LEVERANTÖRER

5.2.1 Vølund Energy A/S

Vølund utför mätningar i syfte att bl a reducera NO_x-emissioner på en anläggning, men har ännu inga resultat att redovisa. Beträffande åtgärder för att minska NO_x-emissioner och lägsta garantier för NO_x som lämnas anger leverantören ännu inget. Några mätningar av kväveoxidemissioner från anläggningar som Vølund har levererat är inte kända av leverantören.

Följande fastbränslepannor och/eller spreaderstokers är levererade av Vølund.

Anläggning	Land	Antal rostar	Rost-area m^2	Antal	År
Randers Komm Elvaerk, Randers	Danm	2	41,66	6	1981
Solvay & Cie, Sarralbe	Frankr	2	21,73	3	1981
Gørlev Sukkerfabrik (DDS), Gørlev	Danm	1	13,20	2	1982
Borås Energiverk, Borås	Sver	2	38,91	4	1983
Assens Sukkerfabrik (DDS), Assens	Danm	1	18,24	3	1983
Göteborgs Energiverk, Sävenäs	Sver	1	62,50	8	1984
Du Pont, Maydown Works, N Ireland	Storbr	2	21,28	3	1984
Kraftvärmeverket, Linköping	Sver	1	36,48	4	1984
Grindsted Products, Grindsted	Danm	1	29,00	4	1984
Kbh. Pektinfabrik, L1. Skensved	Danm	1	19,76	3	1985
Union Chemic Belgie Sidac, Gent	Belg	1	29,12	4	1985

5.2.2 Burmeister & Wain Energy A/S

Burmeister & Wain har levererat 3 st spreaderstokeranläggningar. Inga garantier beträffande NO_xutsläpp har lämnats för dessa anläggningar och det har inte utförts några mätningar av NO_x på anläggningarna.

Leverantören kan inte lämna några uppgifter angående åtgärder för minskning av kväveoxidutsläpp eller vilka garantier de är beredda att lämna för NO_x-utsläpp från nya pannor.

Anläggningar

I/S Den sydøstjydske Faellcentral, Skaerbaeckvaerket, Panna 6, Danmark 1958.

2 pannor 40 ton ånga/h
Store Norske Spitsbergen Kulkompani Aktieselskap
Longyearbyen, Svalbard, Norge 1982.

5.5.3 Aalborg Boilers A/S

Spreaderstokers används för kapaciteter upp till 160 ton ånga per timme. De mest optimala storlekarna för spreader anges vid ångproduktioner till mellan 25 och 100 ton ånga per timme. Med flygaskåterföring anges att oförbränt i flygaska kan hållas på 2-4 %.

Lastreglerbarheten är snabb, 15 % per minut inom lastområdet ned till cirka 25 % av fullast.

Kol med sammansättning inom följande intervall kan anses lämpligt för spreaderstoker:

Askinnehåll	%	5-20
Fukthalt	%	3-15
Flykthalt	%	25-40
Swelling index		1-5

Det har inte lämnats några garantier för NO_x-emissioner från någon av de fastbränslepannor, som Aalborg Boilers har levererat.

Leverantören anger att följande faktorer påverkar NO_x-emissioner:

A) Ökning av last medför ökade NO_x-emissioner. Större energiinmatning ger varmare eldstad och därmed ökad NO_x-bildning.

B) Ökning av luftöverskott ökar NO_x-utsläppen. Lågt luftöverskott är det enklaste sättet att reducera NO_x-utsläppen.

C) Ett sekundärluftsystem, som gör det möjligt att tillsätta hälften av den erforderliga förbränningsluften över rosten, kan reducera NO_x-emissionerna på grund av stegvis förbränning.

D) Rökgasrecirkulation kan reducera NO_x-emissionerna genom att minska flamtemperaturen omedelbart över bränslelagret.

E) I bränslet påverkar bränslebundet kväve och andel fint material NO_x-emissionerna.

F) Ett tjockare och mer jämnt fördelat bränsle/askskikt på rosten ger en jämnare fördelning av primärluften och därmed möjlighet att minska luftöverskottet.

För att minska NO_x vid befintliga anläggningar rekommenderar Aalborg Boilers A/S följande åtgärder:

a) Installation av rökgascirkulation för koleldade anläggningar. Kontroll och eventuell ändring eller ökning av sekundärluftsystemet.

b) Vid förbränning av trä skall sekundärluftsystemet ha stor kapacitet för att stegvis förbränning skall erhållas.

Leverantören är beredd att lämna följande garantier för anläggningen, där både panna och förbränningsanläggning är konstruerade av Aalborg Boilers A/S.

		CO	NO_x
Kol	mg/MJ	90	215
Trä	mg/MJ	90	90

Förutsättningar för garantier är att finandelen i bränslet är begränsad och att fukthalten i bränslet är inom vissa gränser.

Leverantören marknadsför även SGR-system (Stoker Gas Recirculation från Zurn, som i sin tur har licens från KVB Inc's patent. Zurn Industries Inc i USA är en samarbetspartner till Aalborg Boilers. I SGR-systemet ersätts en del av primärluften, som tillförs under rosten med rökgas. Rökgasen kan tas ut antingen före economizer eller luftförvärmare, före stoftavskiljare eller efter stoftavskiljare och återföras efter primärluftfläkten. NO_x-emissionerna anges av leverantören reduceras 20-40 % om SGR-systemet installeras.

Följande spreaderstokerpannor är levererade av Aalborg Boilers AG.

Anläggning	Kapacitet t ånga/h uppmätt	Bränsle	Idriftt.
Waterford	2x113	Kol/trä-bränsle	1984
Du Pont	2x45	Kol/brunkol	1985

6 VÄSTTYSKLAND

6.1 ANLÄGGNING

Heilbronn

Heilbronn består av sju stora kolpulvereldade ångpannor. För att producera ånga för uppstart av block 7, 700 MW och ånga till ett fjärrvärmesystem finns dessutom en koleldad spreaderstokeranläggning. Anläggningen togs i drift under 1985 och består av en EVT-tvillingrost (Louvre typ 2 x 5 m x 6,5 m.) Sekundärluften tillsätts på två nivåer i frontväggen, en över och en under spreaderenheten. I bakväggen tillsätts luften endast på en nivå.

För att tända bädden och för stödeldning upp till 30 % last finns 2 st oljebrännare.

Kapacitet	t ånga/h	150
Rostarea	m^2	65

6.2 LEVERANTÖRER

6.2.1 EVT

EVT är beredda att lämna följande garantier för koleldade spreaderstokerpannor:

400 mg NO_2/m^3 norm vid 7 % O_2 (0,14 g/MJ_{br}) med följande förutsättningar.

1 15-20 % av förbränningsluften måste bestå av renade rökgaser som tillförs primärluftfläkten via en tryckhöjningsfläkt.

2 Kvävehalten i kolet får ej överstiga 1,5 % (torrt prov).

3 Garantier 400 mg NO_2/m^3 norm (0,14 g/MJ_{br}) innehålls inom lastområdet 35 till 100 %.

6.2.2 Vereinigte Kesselwerke AG (VKW)

Leverantören anger att NO_x-bildning vid rosteldning är starkt beroende av hur pannan körs. För anläggningar i drift består i de flesta fall NO_x-reducerande åtgärder i att optimera driften. Resultaten av vidtagna åtgärder är mycket anläggningsspecifika, då det hitintills inte finns några säkra, allmänna samband mellan NO_x-utsläpp och de olika driftparametrarna.

Tydligt är endast att luftöverskottet starkt påverkar bildning av kväveoxider.

De flesta uppmätta NO_x-värden för spreaderstoker är enligt VKW mellan 450 och 600 mg NO_2/nm^3 vid 7 % O_2 (0,16-0,22 g/MJ_{br}).

VKW har utfört försök med rökgascirkulation i en spreaderstokerpanna med kapaciteten 60 ton ånga/h. Rökgasen blandas där med primärluften.

Då 0 till 25 % av rökgaserna cirkuleras erhölls ett nära linjärt samband mellan NO_x-värde och rökgascirkulation.

Vid 80 % last och rökgascirkulation med 7 % O_2 i rökgasen reducerades NO_x från 470 till 340 mg/nm^3 (0,17 till 0,12 g/MJ_{br}). Vid 50 % last och rökgascirkulation med 10 % O_2 i rökgasen erhölls en minskning av NO_x från 590 till 390 mg/nm^3. (0,28 till 0,18 g/MJ_{br}.)

Koldata (Effektivt värmevärde: 29 MJ/kg, askahalt 7,2 %, flyktigt 23,5 %, kvävehalt: 1,3 %).

Värdena skall ses som mellanresultat, då försöken ännu ej är avslutade.

För en ny spreader lämnas NO_x-garantier på 450 mg/nm^3 (0,16 g/MJ$_{br}$) gällande från 30 till 100 % last med kol innehållande max 1,5 % N och med 25 % rökgascirkulation.

(Anm. Svenska pannleverantörer har ej fått dessa garantier av VKW.)

7 FRANKRIKE

Anläggning

Vid sockerbruket i Guignicourt i Frankrike finns en koleldad spreaderstoker, levererad av Stein Industrie. Resultat redovisat i artikel (ref 5) hörrör från arbeten med att förbättra verkningsgraden på pannan genom att bl a öka flygaskåtervinningen, inga direkta försök att minska kväveoxiden utfördes. Anläggningen togs i drift 1982 och var från början byggd med återföring av endast en del flygaska. Inför driftsäsongen 1983 skedde en ombyggnad för att kunna återföra all flygaska och på så sätt förbättra driftresultaten:

Exempel på resultat

Ångproduktion	ton/h	100	90
O_2 efter eco	%	5,16	5,01
NO_x efter eco	ppm	-	154
förlust genom oförbränt	%	2	0,5

Värden från två sydafrikanska kol

Partikelstorlek	mm	0-32	0-6
Kapacitet	ton ånga/h	90,4	85,4
O_2	%	5,27	5,44
NO_x	ppm	190	200

Enligt Stein Industrie erhålls vid spreaderstoker med deras patenterade system med flygaskåterföring en verkningsgrad på 92,5 %.

Andra fördelar med systemet är att en större variation i bränslekvalitet än vanligen vid spreaderstokerpannor kan accepteras. Partikelstorlek kan vara mellan 0-40 mm, inga krav på andel fina partiklar. Högre askhalter och lägre halt flyktiga är möjliga. All aska erhålls i form av bottenaska.

Leverantör av pannan är Stein Industrie.

8 USA

8.1 ALLMÄNT

I USA förbränns cirka 20 % av kolet i rostpannor främst i industrin. Mycket forsknings- och utvecklingsarbete har lagts ner på pulvereldning, men stokereldning har ej fått någon större uppmärksamhet.

I syfte att hitta tekniker för att ersätta olja och även att ta fram underlag för att förbättra dimensionering för rosteldade pannor, har studier utförts i full skala och i labskala på uppdrag av the Department of Energy (DOE), the US Environmental Protection Agency (EPA), American Boiler Manufactures Association. De studier som har berört spreaderstoker är:

- 11 rostpannor varav 6 spreaderstokerpannor i storleksordningen 20 till 90 MW har studerats med avseende på verkningsgrad och emissioner.

- Modellstudier har utförts på laboratorier för suspensionsfas, bäddfas och spreaderstoker.

- Emissioner och verkningsgrad har studerats för att uppdatera stokerspecifikationer på 18 rostpannor varav 6 var spreaderstoker. För de olika spreaderpannorna har mellan 25 och 68 testkombinationer körts.

- Långtidsuppföljning (30 dagar) för rostpannor varav 2 spreader för att under längre tid testa och bekräfta tidigare resultat som framkommit genom parameterstudier under kortare perioder.

- Modifieringar har utförts i full skala på 5 rostpannor varav 2 spreaderstoker, för att optimera förbränning och reducera emissionerna.

- Undersökning av vilka faktorer som påverkar NO_x-bildning vid vedeldning har utförts på 4 st industripannor.

- Visst arbete har lett till patent bl a att reducera emissioner genom att ta bort finandel i bränslet och genom rökgasåterföring.

8.2 FÖRSÖK I MINDRE SKALA

Ett antal studier har utförts för att studera förbränningsförloppets olika faser i mindre skala.

En studie har utförts (ref 8), där en modellugn för spreaderstoker (cirka 200 kW), en ugn för att studera suspensionsfasen (cirka 20 kW) och en för att studera fastbäddfasen (cirka 90 kW) har använts.

Resultaten indikerar att NO-emissioner från spreaderstoker härrör från en relativt hög omvandling (25-45 %) kväve i bränslepartiklar mindre än 2,8 mm vid förbränning i suspensionsfasen och en låg omvandling (5-15 %) av bränslets kväve från fastbäddförbränning. I suspensionsfasen frigörs kväve i ungefär samma grad som kol oxideras och omvandlingsgraden av kväve är relativt oberoende av temperatur i reaktionszon och partikelstorlek. Partikelstorlek har däremot stor betydelse för mängden bränslekväve, som avgår.

Lokalt tillgängligt syre är den viktigaste kontrollparametern för båda förbränningsfaserna. Reduktion av NO-emission uppnåddes när bränslebädden kördes understökiometriskt (bränslerik). NO-emissionen minskade ytterligare då stökiometrin i suspensionszonen minskades under 1,0 genom att flytta tillsatsen av sekundärluft över bränsleinmatningen. En omvandling på 6 % av bränslekväve uppnåddes som minimum, vilket antyder att stegvis förbränning ger en positiv samverkan mellan suspensions- och bäddfasen. I suspensionsfasen finns utrymme för

heterogen reduktion av NO, som bildats i bädden och koncentrationen av radikaler som krävs för att accelerera sönderfallet av kväveföreningar (TFN = NO + NH_3 + HCN), som bildats i bädden. Dessutom minskar det låga syrgaspartialtrycket omvandlingen av kvävet som frigjorts i suspensionszonen.

Det finns två sätt att kontrollera NO_x-emissionerna. För det första kan kolet siktas före det matas in i processen för att avlägsna de små partiklarna (mindre än 2,5 mm). Detta skulle väsentligt minska den höga omvandlingen av kväve som frigörs i suspensionsfasen och skulle leda till en total minskning av emissioner av cirka 5 till 25 % beroende på andelen fint material i kolet. Det kan även leda till att luftfördelning genom bädden förbättras.

Det andra alternativet är att sekundärlufttillförseln ändras så att all sekundärluft tillsätts över bränsleinmatningen, så att både suspensions- och bäddzonen arbetar understökiometriskt.

Dessa åtgärder skulle kunna leda till en minskning av emissionerna på upp till 50 %, men innan detta koncept kan användas kommersiellt måste inverkan av andra viktiga parametrar studeras såsom bäddtjocklek, rosttemperatur, askans egenskaper.

I en annan undersökning (ref 17) utfördes en serie mätningar i modellskala med syfte att studera bildning och kontroll av NO och stoft vid eldning med kol och flis. Studien inriktades på att optimera förbränningsförhållanden i de två skilda förbränningszonerna, bädd- och suspensionsfasen.

Försöken utfördes under betingelse så lika fullskaleanläggningar som möjligt i en modellugn ca 200 kW. Bränsle som studerades var kol från Utah med hög andel flyktiga ämnen och flis. Tre olika indelningar med avseende på partikelstorlek gjordes för kol. Olika mycket togs bort av finandelen. För att minska emissionerna har två metoder använts, dels att avlägsna finandelen i bränslet och dels att optimera stökiometrin i de båda förbränningszonerna utförts. Parametrar som studerats är luftöverskott, andel sekundärluft och nivå på tillsats av sekundärluft.

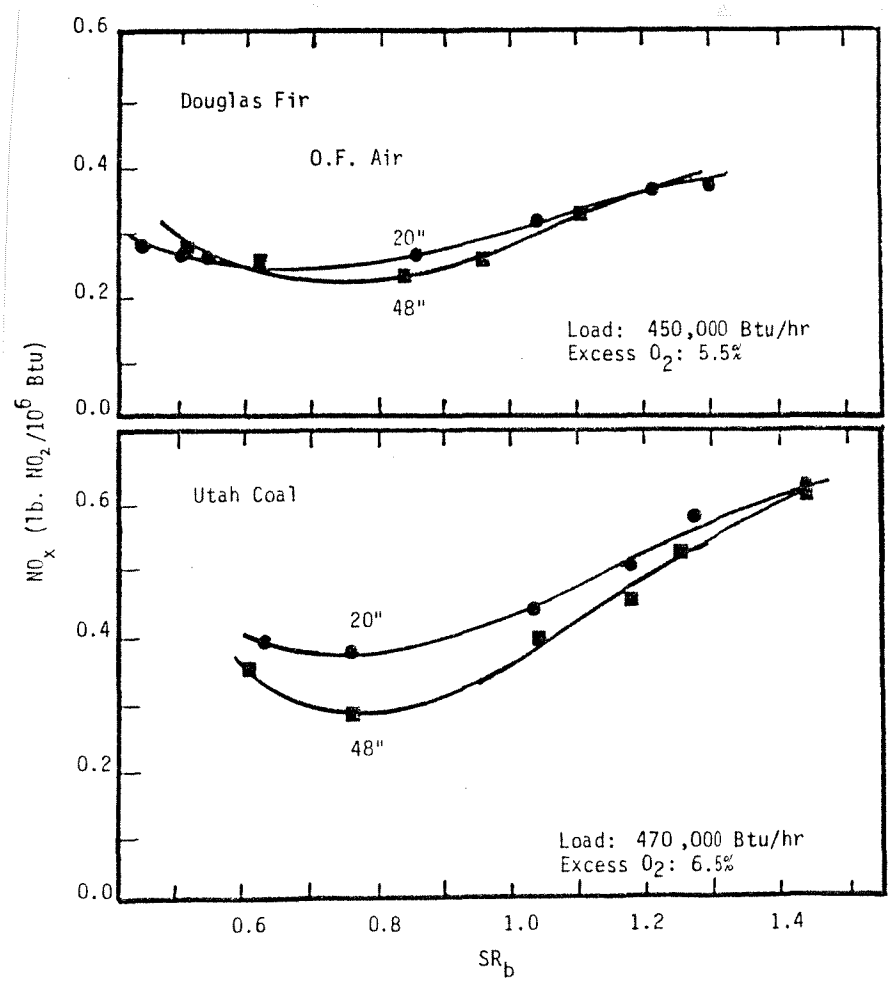
Sekundärluften tillsattes på två nivåer, antingen över bränsleinmatningen eller under. Vid ändring i den totala stökiometrin var bildning av NO relativt okänslig så länge stökiometrin i bädden hölls konstant. NO-emissionerna var vid både kol- och fliseldning lägre då sekundärluften tillsattes på den högre nivån vid konstant stökiometri.

Vid konstant bäddstökiometri, men med variation i den totala stökiometrin, ändrades inte NO_x i förväntad omfattning.

Nivån på kväveemissionerna för de båda bränslena korresponderar inte med förhållandet mellan kväveinnehållen i de båda bränslena. Kväveemissionerna i förhållande till kväve i bränslet är mycket större för flis än för kol.

NO_x ökar något med rostbelastning vid både överstökiometrisk och stegvis förbränning för de båda bränslena. De högre emissionerna beror troligen på att temperaturen stiger lokalt i såväl bäddfasen som suspensionsfasen. Högre temperatur ökar bildandet av termiskt NO och ökar bildandet av flyktigt kväve från den fasta fasen.

NO_x som funktion av bäddstökiometri vid konstant luftöverskott ger ett optimum (min). Lokalt tillgängligt syre är alltså den parameter som bestämmer hur mycket NO som bildas i varje steg. Lägsta NO-emissioner erhölls då den lokala stökiometrin i bädden hölls mellan 0,70-0,85, reduktionen var då 39 % för trä och 55 % för kol. Se bild 3 och 4.



Flis
5,5 % O_2
sekundärlufttillförsel

● 50 cm över rost
■ 122 cm över rost

Kol
6,5 % O_2
sekundärlufttillförsel

● 50 cm över rost
■ 122 över rost

Bild 3 och 4 NO-emissioner (pound $NO_2/10^6$ $Btu_{(övre)}$) som funktion av lokal stökiometri i bädden.
Figure 3 and 4 Influence of Bed-Region Stoichiometry

NO-emissionerna vid understökiometri i bäddfasen är beroende av på vilken nivå sekundärluften tillsätts. Tillsätts luften högt, ger det understökiometrisk förbränning även i suspensionsfasen.

Optimering av totalstökiometrin visade att NO minskade med 40 % vid luftöverskott i bäddfasen och 60 % vid luftunderskott i bäddfasen.

Kol med finandelen avlägsnad resulterade vid luftöverskott i bäddfasen i att NO minskade med 20 % (se bild 5).
PSD-1,-2,-3 är kol med olika mängd fina partiklar borttagna.

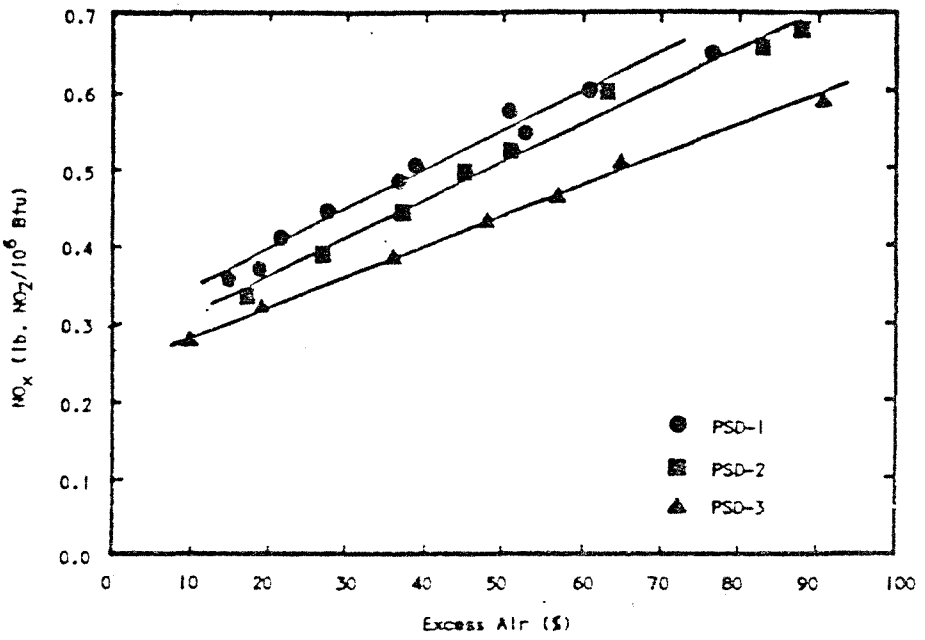


Bild 5. Kväveemissioner (pound $NO_2/10^6$ $Btu_{övre}$) som funktion av luftöverskott (%) vid olika kolfraktioner. (Simulerade fältförhållande)

Figure 5 Effect of particle size distribution (Simulated Field Conditions)

En annan undersökning (ref 13) är gjord i två steg för att kontrollera möjligheter att minska emissioner från rostpannor och förbättra verkningsgrad i konkurrens med övrig teknik utan att anläggningarna kompletteras med extra rökgasreningsutrustning.

Olika kolsorter provades först i en mindre ugn, 200 kW, sedan utfördes modifieringar i en större ugn, 8 MW, både med avseende på pannans utförande och driften av pannan.

I den första etappen då olika kolsorter provades, omvandlades i de flesta försöken 10 till 20 % av bränslekvävet till NO (beräknat med förutsättning att det inte bildas något termiskt NO). Som jämförelse anges att vid kolpulver omvandlas 30-40 % av bränslekvävet till NO.

Temperaturprofilen i och över rosten mättes för olika kol och gav att temperaturen är beroende på andel flyktigt i kolet. Hög andel flyktiga beståndsdelar ger lägre temperatur.

I den andra fasen av undersökningen användes en 8 MW ångpanna. Sekundärlufttillförseln sker genom fyra dysor i bakre väggen och fem i eldstadens främre vägg placerade 25 cm över rosten. Varje munstycke kan manuellt regleras separat.

Syftet med försöken var att studera följande parametrar: luftöverskott, andel sekundärluft, bäddtjocklek på rosten, flygaskåterföring och koltyp. Sju kolsorter testades med varierande egenskaper, ex kväveinnehållet varierade mellan 0,42 och 1,53 %.

Generellt visade det sig att ändringar av driftparametrar i syfte att sänka emissionerna också gav bättre verkningsgrad och tvärtom. Förklaring är att i båda fallen gäller det att få kontroll av luft- och bränslefördelning i rostsystemet.

Vid försök att minska luftöverskottet var inte den begränsade faktorn ökning av emissioner i form av oförbränt, utan slaggbildning på rosten. Det är svårt att fastställa vid vilket luftöverskott som slaggbildning börjar. Det kan bero på panntyp och vilken kondition pannan är i, koltyp som eldas och pannstorlek. För NO_x-emissioner fann man att de är direkt proportionella mot luftöverskottet i och över rostbädden. Emissionen var 340-460 ppm NO vid 3 % O_2.

Det kunde inte vid försöken visas på något direkt samband mellan N i bränsle och NO_x-emissioner. Detta kan bero på att bäddtjocklek, bäddtemperatur, fördelning mellan primär- och sekundärluft inte alltid var tillräckligt väl kontrollerade.

Vid justeringar av sekundärlufttillförseln vid konstant luftöverskott och förhållande mellan sekundär- och primärluft ändrades NO-halten något. Den sjönk mindre än 20 ppm. Optimal andel sekundärluft med avseende på emissioner och drift var cirka 18 % av totala förbränningsluften motsvarande 7,5 till 7,7 % O_2 i rökgaserna.

Vid försök med olika bäddtjocklekar vid fullast kunde tillfredsställande förbränning endast innehållas inom ett smalt variationsområde av bäddtjockleken.

Konstruktion av panna och kringsystem kan vara orsak till förhöjda emissioner. Bränsletransportdelen t ex, kan medföra att kolet segregeras och kol med större finandel hamnar i vissa matare. Kastarna kan då inte sprida kolet jämnt. Vidare är rostdesign och lufttillförseln till rosten viktig för att få en jämn lufttillsats och på så sätt hålla nere NO_x bildningen.

Tillförseln av sekundärluft är en annan viktig designfaktor. Sekundärluftsystemet skall utformas så att god omblandning erhålls över bädden. För att uppnå detta måste tillförseln av sekundärluft effektivt blanda bränslefragment och luft över bädden utan att orsaka störningar i bränslebädden.

8.3 MÄTNINGAR OCH UPPFÖLJNINGAR UTFÖRDA PÅ FULLSKALIGA ANLÄGGNINGAR

8.3.1 Pannor för skogsavfall (ref 9)

En undersökning har utförts på fyra spreaderstokerpannor eldade med skogsavfall. Syftet var att studera hur några parametrar påverkar NO_x-emissionerna och kontrollera om samma förhållanden gäller för att reducera NO_x-emissioner vid träbränsle som vid kol. Totalt samlades data in i 200 h.

Pannorna är av varierade storlek, 70-200 ton ånga/h, och samtliga är byggda efter 1978.

Parametrar som studerades var luftöverskott, fördelning mellan sekundär- och primärluft, kväveinnehåll och fukthalt i bränsle. Samband söktes mellan NO_x och CO-emissioner och pannans driftsdata såsom förbränningstemperatur, pannlast, primär- och sekundärluftfördelning och luftöverskott.

Bildningen av NO_x sker genom termisk oxidation av kväve i förbränningsluft, genom reaktion mellan kolväten och kväve i förbränningsluften, s k prompt NO_x och genom oxidation av bränslekvävet.

På grund av den höga fukthalten i skogsbränsle blir förbränningstemperaturen för låg för att termisk oxidation skall vara den mest betydande bildningsmekanismen.

Bildning av prompt NO_x är stort sett temperaturoberoende. Den största andelen NO_x kommer från kvävet i bränslet och promptbildat NO_x. Dessa gasfasreaktioner påverkas inte speciellt mycket av flamtemperaturen.

Bildning av NO_x i en skogsbränsleeldad spreaderstoker antas ske i tre steg.

1) Bildande av föregångare till prompt NO_x och avdrivning av flyktigt bränslekväve på eller nära rosten.

2) Reaktion i syreunderskott över rosten som förstör föregångarna till prompt och NO som redan bildats.

3) Oxidation av kvarstående föregångare till NO efter tillskott av sekundärluft.

Varje steg har skilda kriterier som påverkar den slutgiltiga mängden av bildat NO_x.

Vid studie av luftöverskottets betydelse för NO_x och CO- emissioner observerades att NO_x emissionen visades vara proportionell mot kvadraten av O_2-halten i rökgaserna. CO-halten däremot bildade en U-formad kurva i föhållande till O_2-halten.

Minsta CO-emission gav olika NO_x för de olika pannorna (detta kan ev förklaras med att blandningsförhållanden, luftläckage osv varierar mellan pannorna).

Den lägsta, praktiska NO_x emissionen uppträdde när CO-halten var som lägst och följande värden uppmättes för de olika pannorna.

A	4-11 % O_2 och 0,05-0,10 g	NO_2/MJ
B	5-7 % O_2 och 0,07 g	NO_2/MJ_{br}
C	4-9 % O_2 och 0,09-0,13 g	NO_2/MJ_{br}

Rostbelastning påverkade i försöken inte NO_x-emissionerna.

De driftparametrar som har störst betydelse för NO_x-bildning är nämnda i ordning efter betydelse.

1) luftöverskott
2) kväveinnehåll i bränsle
3) stökimetri i första steget av förbränningen
4) fukthalt i bränslet

Luftöverskott är den parameter som har den största betydelsen för NO_x-emission från vedeldade spreader-stokerpannor. Vid låga luftöverskott påverkas NO_x-emissionen mindre av kväveinnehållet i bränslet och andel primärluft, medan NO_x-emission påverkas mer av dessa faktorer när luftöverskottet är högt.

Det lägsta praktiska luftöverskottet bestäms av CO-halt och sotbildning.

Bränsle med högt kväveinnehåll gav förhöjt NO_x-utsläpp vid eldning med alla praktiskt genomförbara luftöverskott.

Bränsle med fukthalt mellan 40 och 50 % gav minskad bildning av NO_x.

Torra bränslen med högt kväveinnehåll ger höga NO_x-emissioner, medan torra bränslen med lågt kväveinnehåll inte gav höjning i NO_x-emissionerna.

Låg andel primärluft minskade NO_x-emissionen när bränsle med högt kväveinnehåll eldades. Hög andel primärluft resulterade inte i hög NO_x-emission när kväveinnehållet i bränslet var lågt.

Resultaten indikerar att bästa sättet att uppnå låga NO_x-emissioner är att minska luftöverskottet till en nivå där samtidigt en låg CO-emission kan innehållas. Innehåller bränslet lite kväve, är det allt som krävs. Har däremot bränslet ett högt kväveinnehåll krävs ytterligare åtgärder, såsom att andel primärluft måste hållas så låg som möjligt. Är bränslet torrt, bör det blandas med fuktigare för att hålla fukthalten mellan 40 och 50 %.

Är fukthalten över 50 % kan det medföra ökade NO_x-emissioner på grund av att den höga koncentrationen av OH-radikaler ökar en annan långsam bildningsmekanism.

Åtgärder genom sänkning av flamtemperaturen verkar inte ge lägre NO_x-utsläpp vid vedeldade spreaderstoker.

Att upprätthålla lågt luftöverskott kan emellertid vara svårt på spreaderstokerpannor i industriella applikationer, där lasten ständigt varierar och bränslet har varierande kvalitet. Detta kan orsaka instabilitet och driftproblem. Det är då svårt att köra anläggningen med liten marginal på luftöverskott.

8.3.2.2 Optimering av verkningsgrad och emission genom komplettering med rökgasåterföring (ref 11)

Försök har utförts på fem fullskaliga koleldade stokerpannor för att optimera verkningsgraden och reducera emissionerna. Två av dessa pannor var koleldade spreaderstokers. De kompletterades med rökgasåterföring för att minska NO_x-emissionerna och för att förbättra pannverkningsgraden. Rökgaserna tillsattes både till primär- och sekundärluften.

Data för spreaderstokerpannorna:

Anläggning		1	2
Pannleverantör		Babcock & Wilcox	Ene City Iron Works
Stokertillverkare		Westinghouse	Detroit Stoker
Tillverkningsår		1952	1965
l x b	m x m	4,94 x 4,04	4,66 x 6,52
Rostyta	m^2	20,0	36,9
Ångkapacitet	kg/h	45 400	90 800
Eldstadsvolym	m^3	126	337
Ingående energi	MW_t	39,3	79,1
Rostbelastning	kW/m^2	1967	2144
Eldstadsbelastn	kW/m^3	314	235
Bränsledata (på fuktigt)			
flyktigt	%	40,89	37,29
aska	%	8,41	9,27
kväve	%	1,34	0,72

Anläggning 1 visade en ökning av pannverkningsgrad efter installation av rökgasåterföring. Största orsken till detta var att rökgasförlusterna minskade, när O_2-halten i rökgaserna sänktes från 8 % till 5 %.

Det visade sig också att optimering av driften genom justeringar var viktigt, såsom justeringar av sekundärluften och justeringar av de olika stokrarna.

För anläggning 2 fungerade rökgascirkulationssystemet tillfredsställande, men ledde inte till höjd verkningsgrad. Detta berodde på att O_2-halten redan före rökgasåterföringen var låg, 4 % O_2, vilket inte kunde sänkas ytterligare vid rökgasåterföring.

NO_x-emissionerna påverkades från båda pannorna främst av panneffekt och O_2-halt. Variationer i sekundärluft och kolpartikelstorleksfördelningen verkade inte ha någon effekt på kväveoxidemissionerna.

Vid konstant O_2-halt påverkades NO_x-emissionerna inte av rökgasåterföringen, medan panneffekten har stor inverkan på NO_x-emissionerna. Kan ses alternativt i bild 6 och 7.

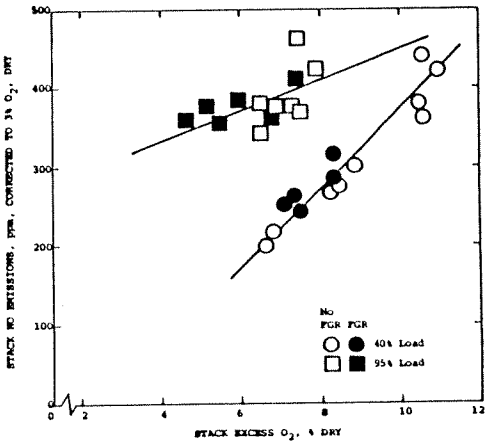


Figure 6 NO emissions versus excess O_2, Site 1

Bild 6. NO-emission(ppm vid 3 % O_2 torrt) som funktion av O_2-halt i rökgaser, med och utan rökgasåterföring.

Anläggning 1

Utan	Med	
○	●	40 % last
□	■	95 % last

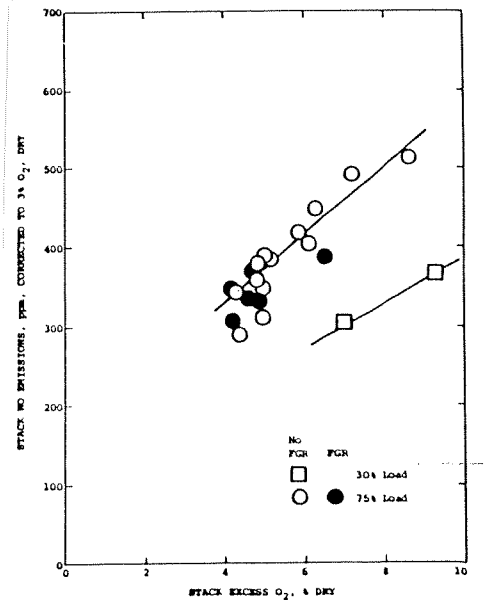


Figure 7 NO emissions versus excess O_2, size 2

Bild 7. NO-emission(ppm vid 3 % O_2 torrt) som funktion av O_2-halt i rökgaser, med och utan rökgasåterföring.

Anläggning 2.

Utan	Med	
□		30 % last
○	●	75 % last

8.3.2 Optimering av verkningsgrad och emission genom rökgasåterföring på en anläggning (ref 10)

Ytterligare arbete och försök är utförda med att förbättra verkningsgrader och sänka emissionerna från spreaderstokerpannor. Modifieringar och försök är utförda på en koleldad panna, som kompletterades med rökgasåterföring.

Arbetet har lett till ett patent på "Gas Recirculation Systems (SGR)" som innehas av KVB Inc. Som bakgrund till rökgasåterföring anges att det krävs en god blandning av bränsle och luft och att för bränslebädden krävs ett visst massflöde av förbränningsluft(gas) för att kyla bränslebädden, så att inte askan sintrar eller rosten överhettas.

För att kyla och blanda kan rökgaser återföras och blandas med förbränningsluften. Detta medför även att luftöverskottet kan minskas och sänkning i luftöverskott leder till lägre rökgasförluster och högre pannverkningsgrad.

Rökgaserna kan tas antingen före economizern, före eller efter stoftavskiljare. De cirkulerande rökgaserna kan blandas med primärluft och/eller sekundärluft.

För modifieringar användes en panna med en ångkapacitet av 45 ton/h, som före komplettering med rökgasåterföring endast kunnat ge 80 % av max last på grund av för höga stoftemissioner.

I samband med ombyggnad för rökgasåterföring utfördes även följande åtgärder.

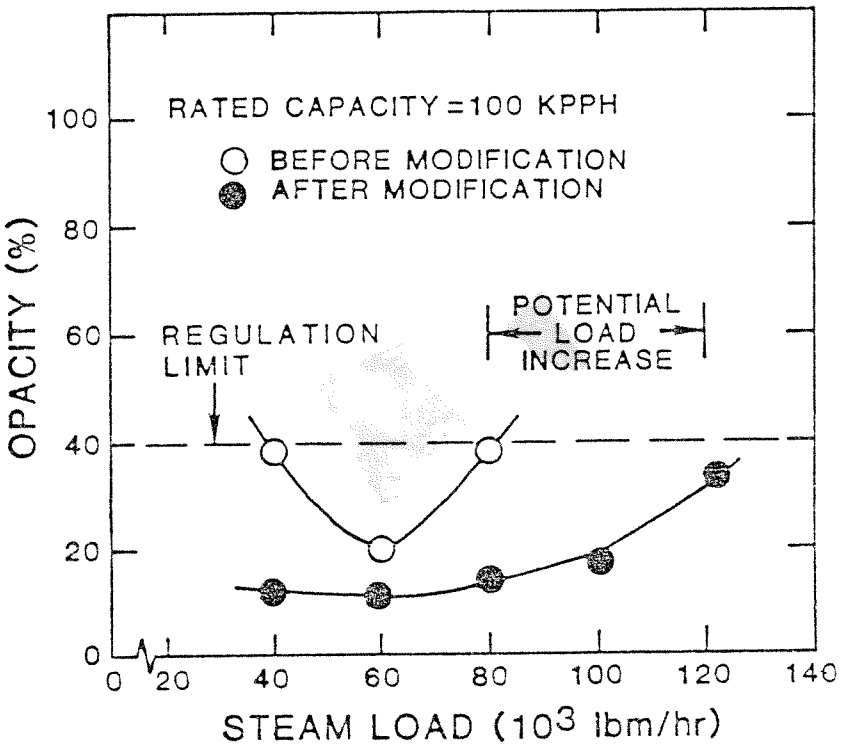
- För att förbättra inblandningar av luft har diametern på varje munstycke för sekundärluft ändrats från 1,9 till 5,1 cm. Arean i varje munstycke ökades då med en faktor 7. Sekundärluft och recirkulerade rökgaser blandas.

- Komplettering har skett med sekundärluftdysor i sidoväggarna - 4 i varje sida, cirka 0,3 m över rosten, för att förbättra fördelningen så att större yta nås

Under provet var det möjligt att tillsätta 100 % rökgaser till sekundärluften, men för att få god blandning anges 50 % vara ett bra värde.

Den mest lovande modifieringen är komplettering med rökgascirkulation till primär- och sekundärluft. Dessa åtgärder ger högre verkningsgrad och lägre emissioner av partiklar och kväveoxider.

I bild 8 ses hur panneffekten kunnat ökas på grund av sänkningar i stoftemissioner efter ombyggnaden.



○ Före ombyggnad
● Efter ombyggnad

Bild 8. Opaciteten (%) som funktion av lasten (pound ånga/h).

Figures 8 Effects of opacity

Bild 9 och 10 visar dels hur erforderligt luftöverskott minskat efter ombyggnaden och dels sänkningena av NO_x-emissioner till största delen beroende på att det har varit möjligt att sänka luftöverskottet.

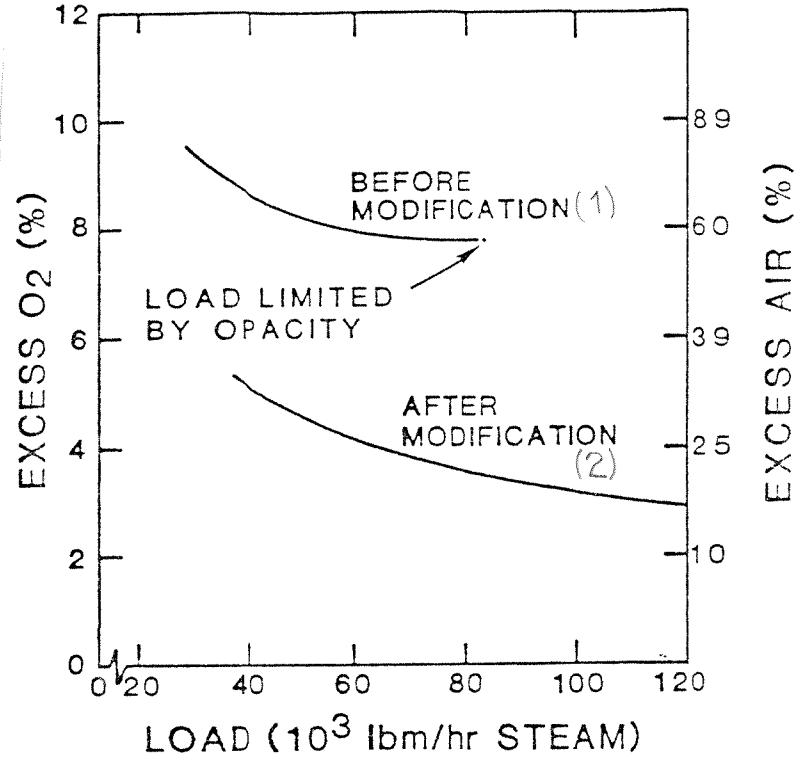


Bild 9 Erforderligt luftöverskott (% O_2) som funktion av lasten (pound ånga/h), före (1) och efter (2) ombyggnaden.

Figure 9 Fluegasrecycling Effects on Excess O_2

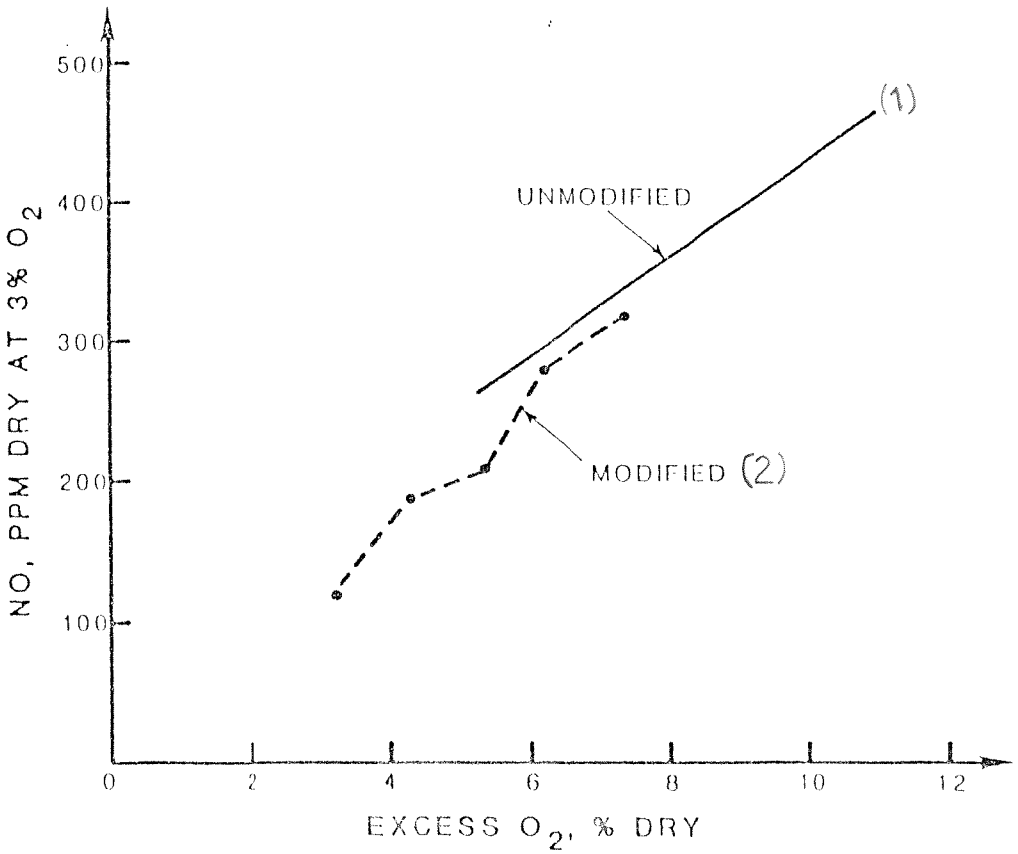


Bild 10 NO-emission (ppm vid 3 % O_2 torrt) som funktion av O_2-halt i rökgaser före (1) och efter (2) ombyggnad.

Figure 10 NO-emission versus Excess O_2

8.3.2.4 Långtidstest (ref 15)

Långtidstester (30 dagar) utfördes för att utvärdera modifieringar i driften på industripannor. Testerna utfördes på pannor, som tidigare mätts under kortare perioder. Syftet med långtidstesten var att utvärdera om de åtgärder som gav minskningar av emissionerna under korttidstest även gäller för längre perioder. Totalt testades sju pannor av storlek 15 till 75 MW. De olika pannorna eldades med olika bränslen; gas, lätt- och tjockolja och kol. Två av pannorna var koleldade spreaderstokerpannor.

På en spreader, byggd av Westinghouse 1952, cirka 30 MW, har lågt luftöverskott använts för att minska emissionerna. På denna panna var det en effektiv åtgärd.

Emissionerna mättes som NO och räknades om till NO_2. Medelvärde för NO_x var:

- 170 $mg/MJ_{övre}$, då lasten var 20,5-23,2 MW
- 168 $mg/MJ_{övre}$, då lasten var 17,6-20,5 MW

Drift med lågt luftöverskott medförde minskning av NO_x-emissionerna med 23 % vid hög last och 10 % vid låg last.

Panndriften störtes inte av sänkningen av luftöverskott. Vid drift med lågt luftöverskott krävs dock en god instrumentering och för ändamålet välutbildad personal.

Den andra spreadern, som testades under en längre period, var en spreader med en effekt på 38 MW, byggd 1960 med spreader från Detroit Stoker. Metoderna som användes för att minska NO_x-utsläppen var att ha lågt luftöverskott och stegvis förbränning genom justering av sekundärluften. Lågt luftöverskott var ett effektivt sätt att minska emissionerna, medan stegvis förbränning inte var det för denna panna. Ett stort antal varianter på sekundärlufttillsatser provades utan större resultat.

Medelvärden, som uppmättes för NO_x under perioden, var:

- 211 mg $NO_2/MJ_{övre}$, då lasten var 22 MW
- 240 mg $NO_2/MJ_{övre}$, då lasten var 28 MW

Vid den högre lasten medförde det låga luftöverskottet 19 % minskning av NO_x-utsläppet.

8.3.2.5 Testserier för att förbättra dimensioneringsunderlag för stokerpannor (ref 16)

Testerserier och mätningar (ref 16) genomfördes under 2 år, 1978-80, på 18 stokereldade kolpannor. Pannorna var bland de senast installerade, 1973 till 1976. 6 av dessa pannor var spreaderstokers. (I undersökning benämns de A, B, C, E, F, G.)

Syftet med undersökningen var att ge ett bättre underlag för dimensionering och tillverkning av stokers, så att de blir ekonomiskt och miljömässigt fördelaktiga i konkurrens med övriga förbränningstekniker.

Emissioner och verkningsgrad har studerats som funktion av återföring av flygaska, luftöverskott, kolets egenskaper, sekundärlufttillförsel, rostbelastning och lufthastighet genom rosten.

Mätningar utfördes på partikelemissioner, NO, NO_2, SO_2, SO_3, O_2, CO_2, CO, oförbränt i rökgaser, oförbränt i flyg- och bottenaska, partikelstorleksfördelning av aska och pannverkningsgrad.

Uppläggningen av proven var att test gjordes med 2-3 kolsorter. Sekundärlufttryck, flygaskåterföring och luftöverskott ändrades bl a och parametrar såsom pannverkningsgraden, emissioner av NO, kolväten, kolmonooxid mättes.

NO_x-emissioner varierade mellan 0,14 och 0,28 g NO_2/MJ under proven.

Jämförelsen mellan olika stokertyper visar att spreaderstokers ger högre NO-utsläpp än andra rostertyper.

Vid ökning av rostbelastningen från rosten ökade emissionerna. 10 % ökning av rostbelastningen medförde, att NO_x-utsläppet ökade 0,012 g/MJ.

De flesta spreaderstokerpannor kördes vid 5 % O_2 (30 % luftöverskott). Erforderligt luftöverskott var omvänt proportionellt mot anläggningsstorlek, vilket gör att luftöverskottet minskar, när rostbelastningen ökar.

En av pannorna har luftförvärmare och de fyra andra är utan luftförvärmare.

NO ökade med 0,0098-0,017 g/MJ_e för varje 10 %-ökning i luftöverskott för de pannor som inte var försedda med luftförvärmare.

För pannan med luftförvärmare ökade NO_x 0,031 g/MJ_{eff}, då luftöverskottet ökade med 10 %.

CO började bildas vid luftöverskott under 30-40 %.

Kväveoxidemissionerna ändrades inte då sekundärlufttrycket ändrades vid konstant luftöverskott.

Kväveinnehållet i bränsle varierade mellan 0,75-1,5 viktprocent i de olika kolen och hade ingen mätbar inverkan på kväveemissionerna.

Kolegenskaperna visade sig ej påverka det erforderliga luftöverskottet.

Ändring av luftfördelning kan genom ökning av sekundärluft användas för att erhålla stegvis förbränning.

Vid försöken erhölls vid ökning av sekundärluft ej någon NO_x-reduktion. Begränsande faktorer var slaggbildning och överhettning av rost vid minskning av primärluft. Det fanns även begränsningar i kapacitet för sekundärluftportarna.

Försök utfördes även med att ändra var sekundärluften tillsattes genom att variera flöden mellan de olika sekundärluftportarna.

Lägst NO_x erhölls då det mesta luftflödet tillsattes genom de övre portarna och högst NO_x då luft tillsattes genom portarna i bakre väggen. Motsättningar erhölls, eftersom de nedre portarna i bakre väggen, som är mest effektiva för att erhålla lågt CO, gav ökad NO_x-bildning.

Panndata

Anläggning		A	B	C	E	F	G
Spreader-leverantör					Riley spreader stoker	Detroit Stoker Company	Zurn Stoker
Idrifttagande		1976	1974	1975	1973	1976	1974
Kapacitet	ton ånga/h	136,2	91	82,9	82	36	34
MW_v		100	73	70	65	27	27
Rost							
1 x b	m x m	5,8x8,3	5,6x6	5,8x8,3	6,6x4,9	4x3,3	4,3x3
Rostarea	m^2	48	34	48	32	13	13
Eldstadsvolym	m^3	473	366	342	290	116	
Rostbelastning	kW/m^2	2100	2100	1400	2000	2100	2130
Eldstadsbelastning	kW/m^3	210	200	200	220	230	235
Sekundärlyftdysor							
Frontvägg							
övre							
antal		25	17	27	8	9	-
höjd[1])	m	1,9	2,4	1,9	2	1,2	
vinkel		19°	18°	25°	15°	26°	
nedre							
antal		30	-	28	-	11	12
höjd[1])	m	0,5		1,9		0,5	0,5
vinkel		0°		9°		0°	0°
Bakväg							
övre							
antal		25	17	28	8	14	14
höjd[1])	m	1,8	0,8	1,8	1,8	1,8	1,7
vinkel		9°	2,5°	9°	0°	11°	5°
nedre							
antal		27	17	13	8	7	11
höjd[1])	m	0,7	0,6	0,5	0,6	0,3	0,5
vinkel		2,5°	0°	0°	0°	0°	5°

[1]) höjd = avstånd mellan dysraden och rosten.

9 LITTERATURFÖRTECKNING

1 Kohleverbrennung, Brennstoff, Physik und Theorie, Technik.
J Zelkowski, VGB.
Technische Vereinigung der Grosskraftwerksbetreiber e.v.
VGB - BOO 8, 1986

2 Bildning och begränsning av NO_x och POM vid koleldning, KHM 22,
Bo Ström, Värme- och Ugnsteknik, KTH, Stockholm.

3 Emissioner vid koleldning och oljeeldning,
KHM 56, Jan Bergström, Studsvik Energiteknik AB, Nyköping.

4 Kulfyring med spreaderstoker samt kulfyring på vanderrost,
Kul, orientering nr 9, KL Duhn, augusti 1981.

5 Neue Entwicklungen bei kohlebefeuerte Industrikesseln, Von J Vidal, G Vergniol, VGB Heft 8, Augusti 1985, sid 717-721.

6 Utsläpp för kväveoxider i USA, Japan, Västtyskland, Schweiz, Österrike och Nederländerna, PM SNV,
Leif Bernegård, 19861202.

7 Formation and control of NO_x-emissions from coal-fired spreader stoker boilers.
G P Starley, D M Slaughter, J M Munro, D W Pershing, G B Martin. Nineteenth Symposium (International) on Combustion/The Combustion Institute 1982, sid 1311-1320.

8 Formation and control of No emissions from coal-fired spreader stoker boilers.
G P Starley, G P Slaughter, J M Munro, Pershing
EPA/600/D-85/247 October 1985

9 A study of factors influencing NO -emissions from spreader stoker wood residue fired boilers.
V J Dallons, D Hoy.
Presentation at the 78th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Detroit Michigan June 16-21, 1985.

10 Combustion modifications for coal fired stoker boilers.
K L Maloney, KVB Inc.
Proceedings of the 1982 Joint Symposium on Stationary Combustion NO_x control.

11 Combustion modifications for coal-fired stoker boiler.
Quartucy, Bvening, Yang KVB Inc.
EPRI CS-4360 Volym 2 EPA 6802 3695
Proceedings 1985 Symposium on Stationary Combustion NO_x control.

12 Provning och torveldning på spreaderstoker vid kraftvärmeverket i Borås
Mats Collin, Claes Sparre
ÅF Energikonsult
Värmeforskrapport nr 232

13 Evaluation of emissions and control technology for industrial stoker boilers.
Giammar, Russell, Barnes, Hopper, Webb, Weller
Proceedings of the Third Stationary Source Combustion Symposium, Volume I Utility, Industrial, Commercial, and Residential Systems EPA-600/7-79-050a feb 1979

14 Field tests of Industrial stoker fired boilers for emission control and efficiency
Gabrielson, Langsjoen EPA 600-7-80-082a site G, E, F
Proceedings of the Third Stationary Source Combustion Symposium, Volume I Utility, Industrial, Commercial, and Residential Systems EPA-600/7-79-050a feb 1979

15 Thirty-day Field Tests of Industrial Boilers
EPA-600/7-80- (085d) April 1980

16 Emissions and Efficiency performance of Industrial coal stoker fired boilers
Langsjoen, Burlingame, Gabrielson
EPA-600/7-81-111a July 1981

17 Control of Pollutant Emissions from coal and wood combustion in spreaderstokersystems.
Munro, Bradshaw, Pershing
International Symposium on conversion to solid fuels.
New Port Beach, 26 October 1982.

18 Pollutant formation during fixed-bed and suspension coal combustion.
Manis, Munro, Purcell, Starley, Slaughter, Pershing
EPA-600/7-84-026, February 1984

19 Reducing Pollutant Emissions by fines removal.
United States Patent
Patent Number 4485747 datum 19841204
Invetors Pershing, Martin, Munro

20 Review of NO_x emissions from and controls for coal fired boiler plant
Ken M Sullivan
Kolsektionen möte i Studsvik juni 1987

21 Nitrogen oxide emissions and emissions factors for Stationary sources in New South Wales
L M Ferrari
International Clean air Conference, Brisbane
Australien May 1978 (sid 643-656)

Information från leverantörer

Aalborg Boilers A/S
Burmeister & Wain Energy A/S
EVT Energie- und Verfahrenstechnik GmbH
Generator AB
Götaverkens Energy Systems
Vereinigte Kesselwerke AG (VKW)
Vølund Energy A/S

Utsläppskrav för kväveoxider (6)

USA (gäller för hela landet)

Nya elproducerande anläggningar med tillförd effekt över 73 MW

fastbränsle	0,28 g/MJ utom
subbituminösa kol	0,23 g/MJ

Nya anläggningar över 29 MW, där ej ovanstående gäller.

spreaderstokereldning	0,28 g/MJ

Japan

Fasta bränslen

Ny anläggning

> 550	MW	0,14 g/MJ
30-550	MW	0,18 g/MJ
< 30	MW	0,25 g/MJ

Västtyskland

Nya anläggningar

> 300	MW	0,07 g/MJ
50-300	MW	0,14 g/MJ
1-50	MW	0,18 g/MJ

Befintliga

> 300	MW utnyttjningstid	> 3000 h	0,07 g/MJ
		< 3000 h	0,23 g/MJ
50-300	MW		0,23 g/MJ
1-50	MW		0,18 g/MJ

Schweiz

> 300	MW	0,07 g/MJ
50-300	MW	0,14 g/MJ
1-50	MW	0,18 g/MJ

Österrike (förslag)

> 300	MW	0,05 g/MJ
50-300	MW	0,11 g/MJ
10-50	MW	0,14 g/MJ

Nederländerna

		före 1988	efter 1988
> 300	MW	0,28	0,14
50-300	MW	0,28	0,18

Sverige

Det finns för närvarande inga riktlinjer för kol. En vanligt förekommande gräns vid tillståndsgivning för kol är 0,28 g/MJ.

Förslag på riktlinjer från Naturvårdsverket och Statens Energiverk framlagda våren 1987.

Nyanläggningar i hela landet	Fr o m 1 juli 1987
- med ett årligt utsläpp av kväveoxider överstigande 300 ton	0,05 - 0,10 g NO_x/MJ tillfört bränsle
- övriga	0,10 - 0,20 NO_x g/MJ tillfört bränsle

Befintliga anläggningar med undantag av anläggningar i norrlandslänen, Värmlands län och Kopparbergs län	Fr o m 1 januari 1995
- med ett årligt utsläpp av kväveoxider överstigande 600 ton	0,05 - 0,10 g NO_x/MJ tillfört bränsle
- övriga med ett årligt utsläpp av kväveoxider överstigande 150 ton	0,10 - 0,20 g NO_x/MJ tillfört bränsle

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

- Elforsk
- Värmeverksföreningen
- Övrig industri

Värmeforsk samarbetar med Närings- och teknikutvecklingsverket (NUTEK).

STIFTELSEN FÖR VÄRMETEKNISK FORSKNING

Box 1765 · 111 87 Stockholm
Tek: 08-7900600 · Fax 08-796 00 37