

REFERAT FRÅN THE JOINT SYMPOSIUM
ON STATIONARY COMBUSTION NO_x-
CONTROL I DENVER OKT 1980

Eddie Johansson
Frank Kressl

Ingår i KHM serie av tekniska rapporter som
nr 3, ref 22.243

STIFTELSEN FÖR
**VÄRMETEKNISK
FORSKNING**

VÄRMETEKNIK MATERIALTEKNIK VATTENKEMI

REFERAT FRÅN THE JOINT SYMPOSIUM
ON STATIONARY COMBUSTION NO_x
CONTROL I DEVNER *OCT 1980*

Frank Kressl

Eddie Johansson

Abstract

The Joint Symposium on stationary combustion NO_x control was considering control for NO_x-emissions from coal-, oil- and gas combustion. One report considers NO_x-emissions from residential wood combustion. All sorts of industrial process like engines, FBC-boilers, industrial boilers, stokerboiler and utility boilers were discussed. A large part of the symposium concerns NO_x control on coalfired boilers. The authorities, process developers, users and R & D were represented.

Two principal systems for NO_x-control from coalfired sources are developed: NO_x-control by Combustion modifications and NO_x-control by Fluegas treatment. The Fluegas treatment process is developed in Japan and California. The FGT process for gas- and oilfiring was commercial two or three years ago. The FGT-process reduces NO_x-emissions by 90%. The influence of DeNO_x technology on the other emissions as ammonium is not yet clear.

One fullscale unit for FGT from coalfired plant was constructed in Japan. The unit was started six months ago and the reduction of NO_x-emissions is about 50%. The costs and effects of FGT-process on coalfired boilers are not yet definitely estimated. The experiences in the next five years will show if the FGT-process is available on coalfired boilers.

Some significant results have been obtained by combustion modification. Reduction of NO_x-emissions by 50% can be reached by moderate combustion modification. The common ways of combustion modification are reduction of furnace load, fluegas recirculation into the burners, overfire air, and staged firing. The costs for this measures are about 10-15% of the total boiler costs. The investigation of side-effects (e g particulate emissions, boiler slagging, boiler performance) did not identify any significant problems, except some fireside corrosion on the waterwalls. It is commonly believed that NSPS NO_x-emissions standards are possible to reach with firing by bituminous coals.

Further reduction of NOx-emissions to about 100-200 ppm level can be possibly reached by development of staged burners in the next 5-10 years. This is an optimistical estimation which will bring high demands on development of other facilities as coal mills, air control, furnace design. The maximal level of NOx-reduction by combustion modifications have not yet been estimated.

VATTENFALL

Från	Datum	Kl.-nr
EVO	1980-11-24	
Till	Art	
KHM, Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning, EV	Serienr	
	Författare	
	Frank Kressl	
	Eddie Johansson	
Enbart sammanfattningen till	Vidi/Utfärdare	
	Godkänt	
	Antal textblad	Antal bilagsblad

Titel

Referat från The Joint Symposium on Stationary Combustion NO_x Control i Denver 1980-10-06--1980-10-09.

Sammanfattning

The Joint Symposium on Stationary Combustion NO_x Control behandlade NO_x-begränsning från kol-, olje- och naturgasförbränning samt i ett föredrag eldning av skogsavfall. Olika förbränningsanläggningar såsom dieselmotorer, fluidiserade bäddpannor, stokerpannor, industriella pannor och kraftverkspannor diskuterades. Större delen av symposiet koncentrerades på NO_x-problematiken vid kolpulvereldning. Myndigheter, tillverkare, kraftproducenter och forskare var representerade.

För att minska NO_x-emissionen vid kolpulverförbränning har två system utvecklats. Dels används tekniken med rökgasbehandling och dels förbränningstekniska åtgärder. Rökgasbehandling har under de senaste åren utvecklats för naturgas och oljeeldning främst i Japan och Kalifornien och har varit i kommersiell drift i 2-3 år. Erfarenheter visar att man kan nå upp emot 90% NO_x-reduktion vilket ger en nivå på ca 20-100 ppm NO₂ i rökgaserna. Effekterna av denna låg-NO_x-teknik på andra utsläpp, typ NH₃ mm, är ej helt klarställd, varför denna teknik kan anses vara i pilotstadiet.

För rökgasbehandling i kolpulvereldade anläggningar har man installerat en fullskaleanläggning i Japan som varit i drift ett halvt år och man har där nått 51% NO_x-reduktion. Kostnadsbilden och effekten av tekniken för kolpulvereldning kan ej anses klarställd varför NO_x-begränsning genom rökgasrening för kolpulvereldning ej^x kan ses

EVO-EJ/MS

som kommersiellt tillgänglig teknik. Inom den närmaste 5-års-perioden bör erfarenheterna ha gett svar på om tekniken är användbar.

Betydligt större erfarenheter har nåtts på den förbränningstekniska sidan. Sedan utvecklingen av låg- NO_x -teknik startade i början på 1970-talet har man idag erfarenheten att nivåerna 300-400 ppm NO_2 kan nås med måttliga åtgärder på förbränningssidan, dvs ca 50% reduktion från utgångsnivåerna i högeffektiva eldstäder. Reduktionen har nåtts genom att minska eldstadsbelastningen, införa rökgasrecirkulation till brännarna, samt använda "over-fire-air" och flerstegsförbränning.

Kostnaden för dessa åtgärder bedöms ligga vid 10-15% av pannkostnaden. De låga NO_x -nivåer, som erhållits har inga negativa verkningar på tillgänglighet, verkningsgrad, halten oförbränt eller slaggning. Vissa undersökningar tyder dock på att man genom låg- NO_x -tekniken fått ökad korrosion i eldstaden i området runt brännarna. Erfarenheterna har erhållits genom drift i fullskaleanläggningar främst i USA men också i Tyskland, med inhemska kolsorter, varför slutsatserna ej entydigt kan överföras på andra kolsorter. Man bedömer dock att nivå 440 ppm, dvs USA:s nuvarande standard kan klaras med normala ångkol.

Panntillverkare och forskare tror sig kunna nå NO_x -emissioner på ca 100-200 ppm genom ytterligare utveckling av flerstegsbrännare, under den närmaste 5-10-årsperioden. Detta är optimistiska bedömningar som kommer att ställa höga krav på utveckling av övrig utrustning såsom kolkvarnar, luftreglering, eldstadsutformning m m varför det är för tidigt att idag bedöma var den praktiska miniminivån för NO_x -emissioner genom förbränningstekniska åtgärder ligger.

Innehållsförteckning

Allmänt

Session I	NO _x Emission Issues
Session II	Manufacturers Update of Commercially Available Combustion Technology
Session III	NO _x Emissions Characterization of Full Scale Utility Powerplants
Session IV	Low NO _x Combustion Development
Session Va	Postcombustion NO _x Control
Session Vb	Fundamental Combustion Research
Session VI	Status of Flue Gas Treatment for Coal-Fired Boilers
Session VII	Large Industrial Boilers
Session VIII	Small Industrial, Commercial, and Residential Systems
Session IX	Environmental Assessment
Session X	Stationary Engines and Industrial Process Combustion Systems
Session XI	Advanced Processes

Allmänt

Amerikanska Environmental Protection Agency (EPA) höll tillsammans med Electric Power Research Institute (EPRI) ett symposium i Denver, Colorado, 1980-10-06--1980-10-09. Symposiet behandlade NO_x-begränsningar från stationära anläggningar.

På uppdrag från projekt Kol Hälsa Hiljö (KHM) och Stiftelsen för Värmeteknisk Forskning (SVF) deltog Frank Kressl, Götaverken Ångteknik, och Eddie Johansson, Statens Vattenfallsverk.*)

Rapporten från symposiet är så upplagd, att för varje föredrag ges en beskrivning av vad som avhandlats, och där det är möjligt, ges en indikation på vad beskriven teknik kan prestera.

En komplett uppsättning av föredragen finns hos deltagarna, KHM och SVF, där intresserade kan rekvirera en kopia.

*) Numera anställd på Västerås Stads Kraftvärmeverk AB,
tel 021/16 17 54

Eddie Johansson

The Joint Symposium Stationary
Combustion NO_x Control

Session I: NO_x Emissions Issues

Regulatory Pressure for Increased
NO_x Control

(by R.E. Wyzga, Electric Power Research
Institute "EPRI")

Med några få undantag kan kraftverken i USA idag uppfylla kraven på NO_x-emissioner med tillgänglig teknik. Troligen kommer NO_x-kraven att skärpas och påverka den tekniska utvecklingen för nya och i vissa fall befintliga anläggningar.

Lagen på tillåtna mängder föroreningar i omgivande luft kan i vissa områden komma att påverka krav på NO_x-emissioner från kraftverk. Ett kort-tids NO₂-krav i omgivningsluft kan bli mera restriktiv än dagens SO₂-krav. Kort-tidskraven på NO₂ kommer troligen ej att påverka mindre anläggningar, och speciellt inte om de ligger på stort avstånd från varandra.

Kravprogrammet kommer att ställa krav på kraftverkens storlek, läge och emissionsbegränsande teknik.

Ytterligare restriktioner kan komma att ställas på NO_x-emissioner pga dess benägenhet att öka surheten i nederbörden, och att ge otillåtet höga ozonhalter i luften. Låg-NO_x tekniken får ej påverka utsläppen så att man introducerar nya föroreningsrisker, t ex ammoniakutsläpp, stoft, CO m m.

Development and Revision of Air Quality
Standards with Special Attention to the
NO₂ Standard Review

(by M.H. Jones, Environmental Protection
Agency "EPA")

Föredraget beskriver förfarandet för att fastställa luftvårdskrav. Speciellt intresse riktas mot bakgrunden till att kravet för NO_x-immission enligt EPA bör modifieras. De tekniska grunderna för luftvårdskraven, policyfrågor och de rättsliga frågorna beskrivs. Vidare diskuteras de grundläggande besluten innan NO₂-standarden formulerats. Man betonar att hälsoeffekterna är de viktigaste.

Acid_Rain_Issues

(by R.A. Luken, Environmental Protection
Agency "EPA")

Syraregnens påverkan på miljön har ökat de sista två årtiondena och EPA lägger vikt vid att begränsa problemen. Sjöar och floder främst i USA, Kanada och Skandinavien visar pH-värden omkring 4-4,5. Syraregnen har också blivit mera utbredda och erfarenheterna tyder på att syrligheten kan transporteras långa sträckor. För att reducera SO₂ och NO_x emissionerna utreder EPA tillsammans med USA:s energidepartementet emissionsbegränsande strategier. Dessa strategier koncentreras på kraftverk och industriella anläggningar.

State of California Perspective on
Stationary Source NO_x Controls

(by A. Goodley, California Air Resources Board)

NO_x-restriktionerna i Californien är satta med hänsyn till ozon, partikelutsläpp och siktbarhet då man här har problem med fotokemisk smog. Idag finns inga kolpulvereldade kraftverk i Californien utan endast olje- eller gaseldade. Staten kräver att kraftverken skall använda "bästa tillgängliga teknik" för NO_x-begränsning. Idag menar man att rökgasbehandling i form av selektiv, katalytisk reduktion (SCR) är bästa tillgängliga teknik för både olja, gas och kolpulvereldning men utesluter ej att utvecklingen av förbrännings-tekniken kan komma att göra att SCR inte är nödvändig.

Eddie Johansson

The Joint Symposium on Stationary
Combustion NO_x Control

Session II: Manufacturers Update of
Commercially Available Combustion
Technology

Fossil_Fuel_NO_x_Control_Update

(by J.A. Barsin, Babcock & Wilcox Company "B & W")

De senaste åren har man fått stor erfarenhet vad beträffar NO_x-emissioner från kolpulvereldade kraftverk utrustande med B & W:s "Dual Register" brännare i uppdelade brännarskåp. Erfarenheterna bygger på ett stort antal olika koltyper både bituminösa och subbituminösa. Resultat från B & W:s låg NO_x satsning visar att man uppnått reduktioner på upp till 60% jämfört med pannor byggda utan sikte på NO_x-begränsning. Samtliga installerade pannor med dagens låg NO_x teknik ligger med NO_x-emissioner under 0,26 g/MJ bränsle. Tidigare pannor byggdes med kompakta eldstader med litet avstånd mellan brännarna och följdaktligen hög brännarzonbelastning. Dagens pannor byggs med lägre brännarzonbelastning och med venturidysor i kolpulverströmmen för att få mera jämn kolpulverfördelning i eldstaden. B & W inför också rökgasrecirkulationen i sekundärluften. Ett samarbete med Hitachi har inletts för att ytterligare utveckla tekniken, och man förväntar att nå 25% NO_x-reduktion från dagens teknik.

Current Developments and Field Experience in
Low NO_x Firing Systems

(by Donald J. Frey, Combustion Engineering)

Mitsubishi Heavy Industries (MHI) utvecklade teknik för minskning av NO_x-utsläpp från gas- och oljeeldade kraftverk visar god möjlighet att reducera NO_x-emissionen ca 50 % för olja och med ca 70 % för gaseldning. Brännar- och eldstadsmodificeringar har varit i kommersiell drift sedan 1977 i 25 pannor utan att övriga förbränningsparametrar påverkats negativt. Brännarmodificeringarna beskrivs i presenterad artikel. Försök med motsvarande teknik för kolpulvereldning i proveldstäder visar att NO_x-minskning 30-40% erhålles genom att variera rökgasåterföring och "over-fire air". Dessa låg-NO_x brännare har installerats i Matsushima kraftstation 2x500 MW, vilket är den första applikationen i kommersiell skala. Driften har just startat och de första drifterfarenheterna beräknas presenteras inom några månader.

Development and Field Operation of the
Controlled Flow/Split-Flame Burner

(by Joel Vatsky, Foster Wheeler Energy Corporation)

Foster Wheeler (FW) startade 1975 ett utvecklingsprogram för låg- NO_x kolpulverbrännare. Brännarkraven kan summeras i

- brännarkapaciteten skulle vara i samma storlek som tidigare hög-turbulenta brännare (upp till ca 90 MW).
- luftöverskott och oförbränt skulle ligga under eller i samma nivå.
- vanligt brännarskåp skulle bibehållas för att arrangemanget för införandet av sekundärluft skulle förbli enkelt.
- inga tillkommande komplicerande faktorer vad beträffar brännarstyrning eller flamvakter fick förekomma.

Två brännarkoncept, "The Controlled Flow Burner" (CF) och "Controlled Flow/Split Flame Burner", CF/S, utvecklades. I en proveldstad med 4 brännare nåddes en reduktion med 30-40% av NO_x -emissionen för CF-brännaren och med 55-60% för CF/S-brännaren. CF brännaren installerades 1976 i en 265 MW_e "opposed-fired" panna i Japan. NO_x -reduktion med 45-50%, då "over-fire air" (OFA) var stängd och reduktion med 65-70 % då OFA var öppen uppnåddes.

CF/S-brännaren installerades 1979 i en 375 MW_e "front-wall fired" panna i Mexiko. En reduktion av NO_x -emissionen med ca 65% erhöles och nivåerna ligger på ca 0,17 g/MJ (290 ppm).

Dessa brännare kan installeras i befintliga kolpannor då flamlängder och geometrier i stort överensstämmer med konventionella brännare.

An_Evaluation_of_NO_x_Emissions_from_Coal-Fired
Steam_Generators

(by John J. Marshall, Riley Stoker Corporation)

Riley Stoker Corp (RS) startade undersökningar angående NO_x-emissioner i början på 70-talet. RS konstruerar en panntyp som kallas "TURBO-furnace". Denna teknik visade sig ha goda egenskaper vad beträffar låg NO_x-emission. Brännarna är i sitt grundutförande utformade som flerstegsbrännare och det man har utvecklat är sekundärluftens riktning i förhållande till kolkpulverströmmen. Optimala spjällägen ger i befintliga pannor en NO_x-emission av ca 0,21-0,26 g/MJ (360-430 ppm). På grund av sin säregna pannkonstruktion är eldstadsgeometrin starkt beroende på kolkvaliteten varför det är tveksamt om dessa pannor kan optimeras för flera kol-sorter, som troligen blir aktuellt i Sverige.

RS räknar med att kunna förfina tekniken ytterligare så att kommande EPA-krav skall innehållas. Inga erfarenheter finns idag för ytterligare reduktion.

Eddie Johansson

The Joint Symposium on Stationary
Combustion NO_x Control

Session III: NO_x Emissions Characterization of
Full Scale Utility Powerplants

Fireside Corrosion and NO_x Emission
Tests on Coal-Fired Utility Boilers

(by Erwin H. Manny, Exxon Research and
Engineering Company)

Föredraget behandlar de undersökningar som gjorts på ångpannor som infört modifieringar i förbränningsutrustningen för att nå lägre NO_x-emissioner. Misstankarna om ökade slaggproblem, ökade partikelemissioner och minskad tillgänglighet har ej kunnat verifierats. De pannor som undersökts har i genomsnitt uppnått en NO_x-reduktion med ca 35%. Utökad undersökning om korrosion i eldstaden genomfördes i en kolpulvereldad 500 MW panna. Ett års drift tyder på att korrosionshastigheten i regionen runt brännarna är ca dubbelt så stor efter att man infört låg NO_x-brännare. Korrosionen i slaggtratten och eldstadens övre del ligger på oförändrad nivå. Korrosionsundersökningarna kommer att utökas och pågår för närvarande i tre koleldade pannor, varav en tangentialeldad.

Vidare har additivs inverkan på slaggmängden undersökts. Preliminära resultat tyder på att intervallerna mellan sotblåsning i eldstaden kan utökas 3-5 gånger genom additivtillsats i bränslet.

NO_x Emissions Characteristics of Arch-
Fired Furnaces

(by T.W. Sonnichsen, KVB, Inc.)

"Näseldade" pannor har visat sig ge låga NO_x-emissioner utan NO_x-begränsande åtgärder. "Näseldningen" är speciell genom att kolpulvret blåses nedåt från näsan in i eldstaden. Förbränningsluften inblåses genom eldstadsväggen vinkelrätt mot kolpulverflamman. Man når därigenom något som liknar stegförbränning. NO_x-mätningar har utförts på tre pannor för subbituminösa kol vid normal drift, det vill säga utan att någon optimering m a p NO_x-bildning har gjorts. Uppmätningar visar NO_x-nivåer på 200 till 300 ppm, där de lägsta emissionerna mättes i den största pannan (275 MW). Genom att variera luftöverskott, riktning på förbränningsluften samt luftmängden till respektive brännare reducerades NO_x-halterna med mellan 5 och 35 %.

Combined - Cycle Powerplant Emissions
(by Lawrence J. Muzio, KVB, Inc.)

Föredraget beskriver en kombinationsanläggning där avgaserna från en gasturbin ($25 \text{ MW}_{\text{el}}$) leds till brännarskåpet på en $220 \text{ MW}_{\text{el}}$ ångpanna. Både gasturbinen och ångpannan eldades vid mätningarna med naturgas. Fördelarna är att högre totalverkningsgrad och lägre emissioner av NO_x , CO och kolväten nås, jämfört med om gasturbin och ångpanna körs separat.

Målet med provningen var att kontrollera

- 1) Till vilken grad kan NO_x -emissionen från en kombinationsanläggning reduceras med tvåstegs förbränning.
- 2) Vilken grad av NO_x -reduktionen kan hänföras till minskad NO_x -bildning i eldstaden och vilken grad till reduktion i gasturbin-genererad NO_x
- 3) Hur beroende är NO_x -reduktionen av brännarplacering, luftöverskott, last m m och i vilken grad är dessa parametrar beroende av varandra.
- 4) Hur påverkas driftparametrar såsom verkningsgrad etc. jämfört med separata anläggningar?

En NO_x -reduktion med ca 25% jämfört med om turbinen och pannan kördes var för sig uppnåddes.

Relationship Between NO_x and Fine
Particle Emissions

(by M.W. McElroy, Electric Power Research
Institute "EPRI")

Erfarenheter från kolpulvereldade pannor i kommersiell drift indikerar att anläggningar med utrustning för låg NO_x-bildning tenderar att minska bildningen av små partiklar mindre än 1 µm. Speciellt massflödet av partiklar med 0,1 µm i diameter minskar i utloppet av pannan med en 10-potensvid låg NO_x-drift. Dessa observationer överensstämmer med teorierna att förgasning och kondensering är orsakerna till partikelbildningen i denna storleksklass. Fördelen att antalet partiklar i denna storlek minskar är att elfilter och slangfilter normalt har minsta avskiljningen i den partikelstorleken. Dessutom orsakar dessa partiklar siktförsämring i rökgasplymen, kan ge större hälsorisker genom tendensen att anrika spårämnen och har benägenheten att lättare spridas i luften. Problemen kan i viss mån minskas genom att man inför låg-NO_x teknik vid förbränningen.

Eddie Johansson

The Joint Symposium on Stationary
Combustion NO_x Control

Session IV: Low NO_x Combustion Development

Commercial Evaluation of a Low-NO_x
Combustion System as Applied to Coal-Fired
Utility Boilers
(by S.A. Johnson, Babcock & Wilcox B & W)

Föredraget behandlar B & W:s utvecklingsarbete på låg-NO_x området. B & W startade med att jämföra förbränningstekniska åtgärder och rökgasbehandling. Utvecklingsarbetet på förbränningstekniska åtgärder tyder på att man klarar uppställda krav till en lägre kostnad än rökgasbehandling. Utvecklingen går i tre faser.

- 1) Modifiering av befintliga eldstäder med nya brännare
- 2) Förförbränningsteknik PCF
- 3) Venturieldstad

Första fasen var för att möta kravet 0,3 g/MJ (500 ppm) medan fas 2 och 3 förväntas understiga 0,09 g/MJ (150 ppm). En kostnadsjämförelse visar att venturieldstaden är billigare att installera än PCF, storleksordningen 9 respektive 30% ökning av pannkostnaden. Fas 2 och 3 finns ännu ej i kommersiell drift.

B & W anser sig ha funnit ett samband mellan NO_x-emission och andra stegets förbränningstemperatur. Detta bygger på data från provning i proveldstäder. Sambanden redovisas i föredraget.

Pilot Scale Evaluation of a Low NO_x
Tangential Firing Method
(by J.T. Kelly, Acurex Corporation)

En 292 kW eldstad användes för att utveckla ett brännarsystem för tangentialeldning av kolpulver som ger låg NO_x-emission. De lägsta NO_x-nivåerna erhöles om mindre än 20% av sekundärluften tillfördes med kolpulverströmmen till centrum av eldstaden. Återstående sekundärluft tillfördes parallellt med eldstadsväggarna. Detta förfarande ger en understökiometrisk zon i centrum av eldstaden där NO_x-produktionen då hålls till ett minimum. Denna förbränningsmetod jämfördes med konventionell tangentialeldning där större delen av förbränningsluften tillföres eldstadens centrum. Tekniken med bränslerik förbränningszon minskade NO_x-emissionen med upp till 65% och nivåer omkring 0,12 g/MJ (200 ppm) erhöles. Halterna oförbränt, CO och kolväten hölls på oförändrad nivå. Förbränningsluft parallellt med eldstadsväggarna gav också mindre slaggnng då väggarna kylde med en "skärm" av kallare luft. Fortsatta försök kommer att göras innan tekniken provas i kommersiell skala.

Japanese Technical Development for
Combustion NO_x Control

(by K. Mouri. Electric Power Development
Company Ltd "EPDC")

EPDC har tillsammans med tillverkare utvecklat ett rökgasbehandlingssystem, "Selective Catalytic Reduction" (SCR) sedan 1975. Man har fått positiva resultat för användning i stora kolpulvereldade anläggningar. Man har byggt en demonstrationsanläggning vid Takehara Thermal Power Station (250 MW koleldad) och planerar att bygga en fullskaleanläggning vid Takehara No 3 (700 MW koleldad). Man förväntar sig att Takehara No 3 skall underskrida 60 ppm NO_x i rökgaserna för Australiska och Kinesiska kol då den tas i drift 1982. Vid Takehara installerades 1977 IHI-FW låg NO_x brännare som idag ger en 250 ppm NO_x-emission.

The Development and Generalization
of Design Criteria

(by D.P. Rees, Energy and Environmental Research
Corporation "EERC")

Föredraget summerar utvecklingsarbetet för att konstruera en låg- NO_x brännare för kulpulver. Arbetet finansieras av Environmental Protection Agency (EPA). Data för ensam brännare och fler-brännarkonfigurationer i laboratorieeldstäder redovisas. Brännarstorlekarna 3, 15 och 30 MW har utprovats. I proveldstäderna har man med låg- NO_x brännarna nått ned till NO_x emissioner på 100 ppm för bituminösa kol, utan att kraven på oförbränt åsidosätts. Proven visar att optimala, första stegets stökiometri, ligger på 70% av teoretisk luftmängd.

Sverige deltar tillsammans med Danmark och Kanada i ett samarbetsprojekt där ovannämnda utrustning används för att kontrollera för oss aktuella kol-sorters benägenhet att bilda NO_x .

The_Development_of_a_Low_NO_x
Distributed_Mixing_Burner_for_Pulverized
Coal_Boilers

(by B.A. Fulsom. Energy and Environmental
Research Corporation "EERC")

EERC har tillsammans med Foster Wheeler (FW) utvecklat en låg-NO_x brännare, "Distributed Mixing Burner" (DMB), som har provats i EERC:s laboratorium och proveldstäder. DMB-brännaren skall installeras i två små kolpulvereldade pannor, vilket beräknas vara klart 1982. Brännarna är av typen flerstegsbrännare där man i proveldstaden varierat

- | | | |
|---|--------------|---|
| . | Bränsle | a) Första stegets stökiometri |
| | | b) Munstyckets storlek och axiella position |
| | | c) Utloppshastighet |
| | | d) Rotation |
| . | Sekundärluft | a) Luftfördelning mellan sekundärluftutloppen |
| | | b) Hastighet |
| | | c) Rotation |
| | | d) Stökiometri i brännarzonen |
| . | Tertiärluft | a) Hastighet |
| | | b) Antal tertiärluftportar |
| | | c) Portarnas placering. |

Målet är att utveckla en låg NO_x-brännare som kan byggas in i befintliga pannor.

Brännarprov i proveldstäder indikerar att NO_x-emissionen minskas från ca 450 ppm vid förbränning utan "stegning" av luft till ca 100 ppm vid optimala stegningar. Optimala förhållanden når vid ca 45° rotation på sekundärluft och med ca 70% av totala luftmängden tillfört i brännarzonen. Man förväntar sig att i kommersiella applikationer nå ca 150 ppm NO_x i rökgasen med acceptabla CO-halter.

Field Evaluation for Utility Boilers

(by E.J. Campobenedetto, Babcock & Wilcox
Company "B & W")

B & W har tillsammans med EPA utvecklat en låg NO_x-brännare för kolpulvereldning. Brännaren är av typen flerstegsbrännare, och utvecklingsprogrammet beskrivs i föredraget. Målet är att nå lägsta praktiskt realiserbara NO_x-emission vid normala driftbetingelser utan att tillgänglighet, driftsäkerhet och verkningsgrad försämrats. De krav som ställs för brännarkonstruktionen är

- . Applicerbar i befintliga kolpulverpannor
- . Strålningsprofilen i eldstaden hålls oförändrad
- . Ingen förändring i verkningsgrad
- . Ingen förändring i tillgänglighet
- . Ingen ökning av övriga utsläpp
- . Ingen ökning av korrosion i de delar av eldstaden som har reducerande miljö

Låg NO_x-brännaren kommer att installeras i Northern States Power, en 175 MW panna. Anläggningen kommer att tas i drift på hösten 1981.

Operating Experience and Field Data of
a 700 MW Coal-Fired Utility Boiler with
Retrofit Low NO_x Staged Mixing
(by S. Michelfelder, Steinmüller GmbH)

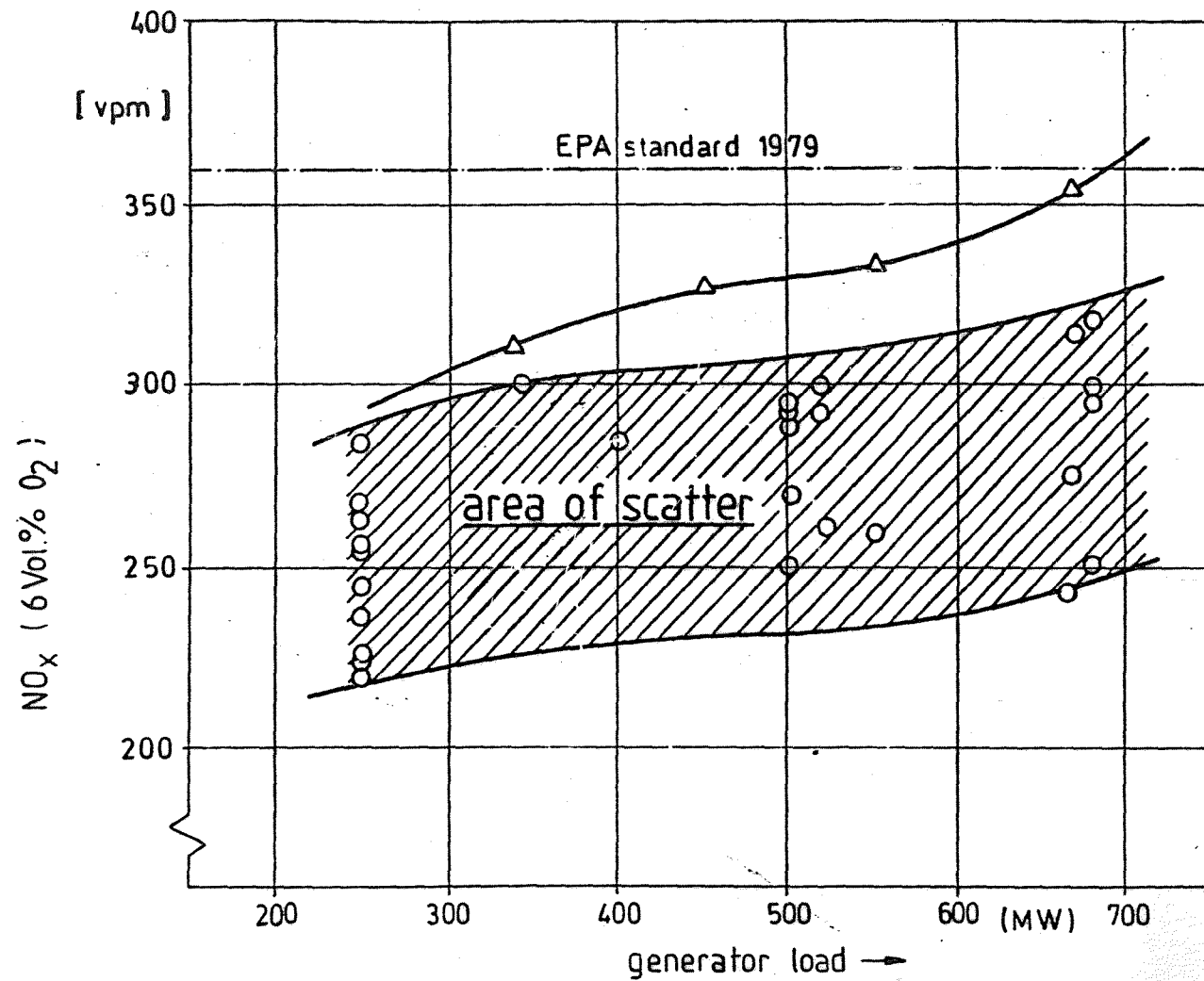
Tyska normer säger idag att bästa möjliga teknik skall användas för att minska NO_x-emissionen. Man väntar sig inom den närmaste tiden att få nya bestämmelser som klart definierar tillåtna utsläppsmängder.

I ett första steg provade man en låg-NO_x brännare på 2,5 MW och nådde en NO_x-reduktion på ca 50%. Brännarkonstruktionen bygger på en konventionell cirkulär brännare med tertiärluftdysor placerade runt brännaren. Efter lyckade resultat beslöts att installera låg-NO_x brännare i en 700 MW anläggning (Weiher III, Saarbergwerke) Anläggningen togs i drift med låg-NO_x brännare i oktober 1978. Installationen består av 24 st 70 MW brännare där luftflödet mäts och regleras separat till varje brännare. Kravet vid brännarinstallationen var att inga förbränningsparametrar fick försämrats.

Mätningar efter installationen visar att brännarzonen-temperaturen har minskat, att slagningen vid brännarna minskat och att CO koncentrationen utmed eldstadsväggarna är oförändrad. Övriga resultat kan summeras med följande

- Stegförbränning är en effektiv metod att minska NO_x-emissionen. Den erhållna NO_x-reduktionen med mer än 50% beror huvudsakligen på minskad omvandling av bränslebundet kväve.
- Brännarkonstruktionen ger låga NO_x-emissioner utan förändringar i förbränningsintensitet, flamstruktur eller laständringsbegränsningar.
- En specialkonstruerad låg-NO_x anläggning kan ge minskning i NO_x-emissioner med upp till 70%.
- Ingen ändring i asksammansättningen har noterats efter ombyggnaden.
- Brännarkonstruktionen kan användas både i befintliga anläggningar och i nya.

Bilaggt diagram visar erhållna NO_x-emissioner under en mätperiod i mars 1979 och en i februari 1980.



DATA-COLLECTION

1979 (MARCH /
APRIL)

1980 (FEBRUARY)

Retrofit Burner, Long Term Fluegas NO_x Data as Function of Boiler Load.

Frank Kress1
80-10-15

The Joint Symposium on Stationary
Combustion Nox Control

Session Va: Postcombustion Nox Control

Empirical Evaluation of Selective Catalytic
Reduction (SCR)

(by J Edward Cihanowicz)

Selektiv katalytisk reduktion är en tänkbar teknik för minskning av Nox emissioner till nivå som är väsentligt lägre än NSPS* för koleldade pannor. EPRI håller på att utvärdera denna teknik. Underlag för utvärdering utgör erfarenheter och värden från en pilotanläggning i EPRI's Emission Test Station Arapahoe. Programmet är en logisk utökning av EPRI's tidigare verksamhet som behandlade ekonomiska aspekter av "Post Combustion Control" samt komplettering av andra studier utförda både i USA och Japan.

SCR-anläggningen i Arapahoe Test Station behandlar 8500 nm³/h rökgaser vilket motsvaras av 2 MW_e. Anläggningen arbetar med autentiska rökgaser från koleldad panna.

I anläggningen ingår en luftförvärmare i serie med katalytisk reaktor för att kartlägga krav på luftförvärmarens utformning.

Provprogram kommer att ge underlag för utvärdering av SCR med avseende på:

- minskning av NOx emissioner under autentiska villkor
- processens driftparametrar såsom övervakning och automatik, nödvändiga kemikalier (NH₃) och energi (extra tryckfall, extra apparatur), driftunderhåll, katalysatorns livslängd.
- emissioner i form av NH₃, SO₃, sulfater, bisulfater samt partikulära emissioner.
- värmeförluster samt begränsningar vid normala lastvariationer.

I rapporten har presenterats resultat som behandlade mätteknik samt publicerade data för reaktor och luftförvärmare.

* NSPS = The New Source Performance Standards

Assessment of NOx Flue Gas Treatment Technology
(by I David Mobley, EPA)

EPA har sedan 1970 arbetat med teknik för minskning av NOx emissioner baserad på rökgasbehandling. Programmet innehåller studier och utvärderingar i samband med mindre experiment. Dessa aktiviteter har visat, att det via selektiv katalytisk reduktion är möjligt att minska NOx med 90%. En sådan teknik är idag kommersiell för gas- och oljeeldade pannor i Japan. Koleldade pannor håller på att förberedas för provdrift med denna teknik. Japanska erfarenheter tillsammans med USA's projekt ger förutsättning för etablering av SCR som en effektiv metod för minskning av NOx emissioner i USA.

Vissa viktiga tekniska aspekter måste införas i demonstrationsprojekt innan applikation av denna teknik kan rekommenderas.

Slutsatser som kan ställas upp tack vare EPA's studier:

s

- 1 NOx reduktion baserad på SCR har demonstrerats på kommersiella olje- och gaseldade anläggningar i Japan. NOx minskning $\geq 80\%$ har uppnåtts.
- 2 SCR håller på att installeras på kommersiella koleldade anläggningar i Japan. Detta kommer att demonstrera användbarheten av tekniken på koleldade enheter.
- 3 SCR testas på pilotanläggningar för koleldning samt i en demonstrationsanläggning för oljeeldning i USA. NOx-minskning är 90%. Parallell minskning av NOx/SO₂ håller på att testas i en pilotanläggning i USA. Om resultaten motsvarar förväntningarna blir test i en demonstrationsanläggning aktuell.
- 4 Även om avsevärda framsteg i denna teknologi har uppnåtts, finns det ett antal uppgifter - problem att lösa, ev. undersöka, såsom
långtidsdrift
påverkan på efterföljande utrustning
driftstillgänglighet
- 5 Praktiska erfarenheter i anslutning till utvärdering behövs för att kunna fastställa om SCR-teknik är lämplig för USA.

Development of Flue Gas Treatment in Japan

(by Hiroshi Sugami, Electric Power Development Co Ltd)

Electrical Power Development Co (EPD) arbetar med ett FoU program med avseende på reduktion av NOx-emissioner från koleldade pannor. Programmet utförs i samarbete med japanska panntillverkare.

Målet är 100 ppm NOx vid 6% O₂ i rökgas och 1,8% N₂ i bränsle. Detta mål har ännu ej uppnåtts.

Erfarenheter från FoU har successivt applicerats på befintliga och nyinstallerade koleldade pannor.

NOx-emissioner minskade från 400-500 ppm till 160-300 ppm (vid 6% O₂ och 1,7% N₂).

För närvarande byggs nya pannor med målsättning 250 ppm NOx (2500 MW) och en enhet om 700 MW med målsättning 200 ppm NOx.

EPD Co Ltd tror, att nivå på 150 ppm NOx i rökgaser blir ett standardvärde för nya pannor inom en nära framtid i Japan.

I föredraget presenteras FoU program samt resultat av förbränningstekniska åtgärder såsom låg NOx-brännare, tvåstegsförbränning, rökgasåterföring osv.

Status of Selectiv Catalytic Reduction.

Retrofit at Southern California Edison Huntington
Bead Generating Station Unit 2

(by Cornelius L Overduin, Southern California Edison Company SCEC)

Miljökrav i Södra Kalifornien South Coast Air Basin fordrar (enl. Rule 1135.1) reduktion av NO_x-emissioner med 90%. Rule 1135.1 innehåller fyra steg. De första två stegen har en mediar målsättning att bygga en demonstrationsanläggning med reduktion av NO_x-emissioner med 90%.

Detta föredrag behandlar förberedelser för installation av SCR på en c:a 100 MW-enhet. Följande punkter behandlas i föredraget:

- beskrivning av befintlig anläggning
- nyinstallerade huvudkomponenter
- förfarande och manövrering för att uppnå 90% minskning av NO_x-emissioner vid normalt förekommande lastvariationer
- erforderliga kemikalier och energi
- katalysator samt omhändertagandet av förbrukad katalysator
- underhåll och drift
- problem med projektering vid ombyggnaden
- kostnader för ombyggnaden och drift

Eddie Johansson

The Joint Symposium on Stationary
Combustion NO_x Control

Session Vb: Fundamental Combustion Research

The Fundamental Combustion Research
Program

(by W.R. Seeker, Energy and Environmental
Research Corporation "EERC")

Forskningen som beskrivs i detta föredrag har som
mål att klarställa följande

- 1) Förklara förbränningsproblematiken och
därmed hjälpa utvecklingen av låg- NO_x
teknologi på rätt spår
- 2) Att utveckla modeller som ger information
om låg- NO_x tekniken
- 3) Att identifiera information som är nöd-
vändig för låg- NO_x teknikens utveckling

Kinetiken för bildandet av NO_x beskrivs för olje-
och koleldning. Resultat från laboratoriebrännare
redovisas.

Two Phase Processes Involved in the
Control of Nitrogen Oxide Formation in
Fossil Fuel Flames

(by A.F. Sarofim, Massachusetts Institute of
Technology)

Omvandlingen av bränslebundet kväve till NO_x i
flammar är beroende av ett antal fysiska och
kemiska faktorer varav tre diskuteras i föredraget.

- 1) Benägenheten för bränsle-N att frigöras på
tung eldningsolja
- 2) Temperatur-tidshistoriken för en brinnande
kolpartikel
- 3) Kinetiken för reduktionen av NO i koks.

Gas Phase Processes Involved in the Control
of Nitrogen Oxide Formation in Fossil Fuel
Flames

(by J.M. Levy, Massachusetts Institute of
Technology)

För att optimera tekniska lösningar att minska NO_x -
bildningen från fossileldning krävs att man förstår
konverteringen av bränslebundet kväve till NO_x .
Föredraget beskriver hur en kvävedopad etylen/
luft-flamma omvandlar N till NO_x . Resultatet om-
sätts i matematiska modeller. Kinetikkonstanter
anges för reaktioner aktuella i samband med NO_x -
bildning.

Frank Kressl
80-10-16

The Joint Symposium on Stationary Combustion
NOx Control.

Session VI: Status of Flue gas Treatment for
Coal-Fired Boilers

"Countermeasures for Problems in NOx Removal
Process for Coal-Fired Boilers"

(by Yoshihico Kajukutu, Kawasaki Heavy Industries)

Uppbyggnad av ett stort antal koleldade kraftverk är resultatet av den pågående bristen på olja. Detta har aktualiserat behovet av DeNox-process för koleldade enheter.

Det finns ett antal problem som måste lösas innan DeNox-tekniken kan införas för koleldade kommersiella anläggningar.

Huvudsakliga problem i koleldade pannor är:

- igensättning av katalysatorbädd samt erosion av katalysator med flyggaska
- påverkan av utrustning utav rester av NH_3 och SO_3 från DeNOx reaktor
- deaktivering av katalysator med damm och SO_x .

Kawasaki Heavy Industries (KHI) har sedan länge arbetat med dessa tekniska lösningar på ovan nämnda problem att använda DeNOx-process i anläggningar för koleldning i samarbete med Electric Power Development Co under många år.

KHI utvecklade en katalysator som klarar flera av dessa problem, dvs. som är motståndskraftig mot SO_x , damm och som har minimal effekt på omsättning SO_2 till SO_3 medan katalysatorens livslängd är tillfredsställande långt.

KHI har utvecklat den mest ekonomiska och stabila DeNOx-processen som är känd idag. Detta föredrag beskriver svårigheter vid den praktiska applikationen av DeNOx-processen i koleldade anläggningar samt KHI's åtgärder för att klara av dessa.

"Treating Flue Gas from Coal-Fired Boilers for NO_x
Reduction with the Shell Flue Gas Treating Process"

(by Jack B Pohlenz)

Koppar som kopparsulfat (CuSO_4) är en av de metaller som vid temperaturer mellan 350°C - 450°C katalyserar selektiv reduktion av NO_x i rökgaser till kväve och vatten med hjälp av ammoniak (NH_3). Omsättningsgraden och verkningsgraden är hög, vilket resulterar i låga NH_3 -koncentrationer i behandlade rökgaser.

Om rökgasen, innehållande både svavel och kväveoxider samt ammoniumjoner, kommer i kontakt med koppar vid 400°C , omvandlas koppar först till oxid och sedan till sulfat. När kopparsulfat har bildats, börjar reduktion av NO_x medan omvandling av koppar till kopparsulfat fortsätter att minska NO_x -halten i den behandlade gasen samtidigt som SO_x -halten ökar.

Kopparsulfat kan reduceras med ett antal olika brännbara ämnen såsom H_2 , Co , CH_4 osv. Resultatet av reaktionen vid 400°C är SO_2 , vatten och elementär koppar.

Därför utgör kopparsystem den tekniska grunden för rökgasbehandling med avseende på reduktion av SO_x , NO_x eller parallell reduktion av båda delarna. Denna teknik erbjuder fördelar som en torr process har, dvs. inga biprodukter och moderat energibehov.

Detta är i korthet principen av Shell Flue Gas Treating (SFGT). Kommersiell applikation var i drift redan 1973. Rökgaser från varierande bränslen behandlades inklusive rökgaser från kol. UOP har under några år haft i drift en SFGT pilotanläggning. Anläggningen är byggd nära Ruskin (Florida) på Tempa Electric Company's Big Bend Station. Pilotenheten behandlar rökgaser (en delström) från en av de koleldade pannorna.

Följande förfaranden har undersökts: DeSO_x ; $\text{DeSO}_x/\text{DeNO}_x$; DeNO_x . Pågående program har stöd från EPA.

"The Hitachi Zosen NOx Removal Process Applied
to Coal-Fired Boilers"

(Richard S Wiener, Chemico Air Pollution Control Corporation, and S Tanaka, Hitachi Zosen).

Hitachi Zosen är en av de ledande leverantörerna för behandling av rökgaser med avseende på NOx-reduktion. Företaget har byggt nio kommersiella anläggningar som är i drift. Chemico Air Pollution Control Corporation har 1978 förvärvat Nordamerikansk licens för Hitachi Zosens teknologi: en torrprocess baserad på selektiv katalytisk reduktion med NH_3 .

Behandlade rökgaser innehåller ofta en icke försumbar andel av partikulära emissioner. Hitachi Zosen har offrat avsevärda resurser på utvecklingen av en katalysatortyp som kan användas i svårt förorenade gaser. Pilotanläggningar testade en speciellt utvecklad metallisk katalysator vid drift med avgaser från sinterverk och koleldade pannor.

Ett omfattande provprogram har pågått över ett år på Georgia Power Company's anläggning i Mitchell i Albany, Georgia. Denna är en 0.5 MW demonstrationsenhet för DeNOx av rökgaser från koleldning. Projektet stöds av EPA. Hitachi Zosens tror, att detta provprogram kommer att visa fördelar och effektivitet av denna process och dess utformning.

I föredraget ges en god beskrivning av använd teknik samt beskrivning av pilotanläggningen och dess resultat.

"Babcock Hitachi NOx Removal Process for Flue
Gases from Coal-Fired Boilers".

(Kiroshi Kuroda, Babcock-Hitachi, and F Nakajima, Hitachi Ltd).

Det finns två alternativ för behandling av rökgaser från koleldade pannor med avseende på NOx. Det första är DeNOx-processen för rökgaser med låg halt av flyggaska, i vilken en DeNOx-reaktor är placerad efter ett varmt elektrostatiskt filter. Det andra är DeNOx-processen för rökgaser med hög halt av flyggaska som har DeNOx-reaktorn placerad före ett kallt elektrostatiskt filter.

Placering av elektrostatiskt filter bestäms huvudsakligen av utformningen av askseparation i pannan. Babcock-Hitachi utvecklade en DeNOx-process som kan appliceras på båda ovan beskrivna alternativ. Två kommersiella anläggningar är redan färdigtillverkade och kommer att sättas i kommersiell drift i november 1980 resp. juni 1981.

I detta föredrag beskrivs resultatet av undersökningar av en katalysator som testades med rökgaser innehållande 15-20 g stoft/Nm³.

En annan viktig parameter i SCR-processen är begränsning av omvandling av SO₂ till SO₃. Babcock-Hitachi katalysator har den lägsta omvandlingsgraden, lägre än 0.5% utan att NOx-konversion påverkas.

Test Summary of an Intergrated Flue Gas System
Utilizing the Selective Catalytic Reduction Process
for a Coal Fired Boiler

(N. Aoki, Ishikawajima-Harinsa Heavy Industries Company Ltd, and John S Coicker, Foster Wheeler Energy Corporation).

IHI genomförde ett FoU-program med avseende på undersökning av selektiv katalytisk reduktion i kombination med avsvavling och minskning av partikulära emissioner i en integrerad experimentanläggning.

Experimentanläggningen var konstruerad för 1000-2000 Nm³ rökgas/h. Undersökningen genomfördes med avseende på:

- Katalysatorens livslängd
- Katalysatorens igensättning
- Katalysatorens erosion
- Igensättningar i luftförvärmare
- Verkningsgraden hos ett varmt elektrostatiskt filter
- Verkningsgraden hos ett kallt elektrostatiskt filter
- Verkningsgraden hos textilslangfilter
- tillsammans med verkningsgrad av avsvavlningssystem.

Resultaten från provdriften har visat att ett sådant integrerat reningssystem för rökgaser är lämpligt att ansluta till koleldad panna.

"The Development of a Catalytic NOx Reduction
System for Coal-Fired Boilers"

(Tadamasa Sengoku, Mitsubishi Heavy Industries,
Brooks M Howell, Combustion Engineering).

Mitsubishi Heavy Industries har nyligen tagit i drift en fullskaleanläggning för katalytisk reduktion av NOx i rökgaser från koleldad panna.

I anförandet beskrivs konstruktion och driftsresultat från en pilotanläggning samt resultat från en fullskale demonstrationstest. I anslutning till ovannämnda presenteras utförandet av en modern koleldad station med katalytiskt NOx-reduktionssystem.

Pilotdrift med katalytisk reduktion av NOx började 1977 på Takasago Station. Efter provdrift med katalysator utformad i "plattor" har sedan 1979 övergått till "galler"-formad katalysator. Efter övergången till gallerkatalysator genomfördes provdrift på över 5000 timmar med 90% NOx-minskning i rökgaser från en koleldad panna med både hög och låg halt av stoft.

På Nakoso Station (Joban Joint Power Co) var katalysator av "galler"-typ i drift c:a 6000 timmar. Verkningsgrad var över 85% med avseende på NOx-minskning. Låga tryckfall har uppnåtts genom en begränsad sotblåsning.

På Shimonoseki Station (Chugoku Electric Power Co) finns sedan april 1980 den första fullskale-anläggningen för koleldning utrustad med katalytisk NOx-reduktion. Anläggningen arbetar med 51% verkningsgrad med avseende på NOx-reduktion (målet var 50% NOx-reduktion).

I föredraget diskuteras ammoniak i rökgaser efter katalytisk reaktor, katalysatorens livslängd, katalysator i flyggaskan och dylikt. Konstruktion av en 500 MW kommersiell anläggning baserad på vunna erfarenheter samt olika variabler som påverkar konstruktion av stora kommersiella enheter diskuteras.

Frank Kressl
80-10-21

The Joint Symposium on Stationary
Combustion NOx Control

Session VII: Large Industrial Boilers

"Combustion Modification for Coal-Fired Stoker
Boilers"

(Kenneth L Moloney, KVB Inc.)

Preliminära resultat från ett FoU-program för utvärdering av förbränningstekniska åtgärder för koleldade Stoker-pannor presenteras. Test på en 45360 kg ånga/h. Spreader Stoker visar att "overfire air" minskar rökgasemissioner bara om luft blåses in relativt nära bränslebädden. Testad konstruktion tillåter lägre luftöverskott för att reducera NO_x, medan CO-emissioner hålls inom acceptabla gränser.

Resultat från laboratorieprover med "staged combustion"* på en Stoker visar att "staged combustion" kan vara en effektiv teknik för NO_x-minskning. Huvudparten av NO_x bildas via kväve från bränsle. Förbränning i syrefattig atmosfär inhiberar omsättning av N₂ till NO_x.

* "Staged combustion" är ett förbränningsförfarande vid vilket förbränningen sker stegvis, genom att införa sekundärluft i olika nivåer ovanför rosten.

"Thirty-Day Field Test of Industrial Boiler
Combustion Modifications"

(Wallace A Carter, KVB Inc.)

Föredraget handlar om "30-days" testprogram, som stöds av EPA. Tills idag genomfördes 30 dagars provdrift i 5 olika anläggningar. I de förbränningstekniska åtgärder som testas ingår:

- lågt luftöverskott i koleldad spreader stoker
- staget combustion i en oljeeldad panna
- staget combustion i kolpulvereldad panna
- lågt luftöverskott i kombination med staget combustion i en spreader stoker
- gaseldad låg NOx-brännare.

NOx-minskning varierade från 15% vid provdrift i kolpulvereldad panna till 70% vid gaseldning. Inga driftsproblem kunde indikeras och de flesta enheter visade ökad verkningsgrad.

"Applicability of Thermal DeNOx to Large
Industrial Boilers"

(Boyd E Hurst, Exxon Research and Engineering
Company).

Exxon Research and Engineering Company utvecklade och med framgång applicerade en process, så kallad "Thermal DeNOx" för minskning av NOx-emissioner från förbränningsrökgaser.

Detta är en icke katalytisk gasfasreaktion. Tekniken innebär i praktiken inblåsning av NH_3 och H_2 i rökgasen av en viss temperatur.

Thermal DeNOx demonstrerades kommersiellt i gas- och oljeeldade pannor samt ugnar. Provdriften med rökgaser från koleldning har genomförts och demonstrerade möjligheten för applikation av denna process på koleldade enheter.

Kostnader för denna typ av minskning av NOx i rökgaser är mera fördelaktiga än andra konkurrerande metoder för rökgasbehandling. Thermal DeNOx-processen är en konkurrenskraftig metod och kan appliceras med samma kostnader på både nyinstallerade som på befintliga anläggningar.

Frank Kressl
80-10-21

The Joint Symposium on Stationary Combustion
NOx Control

Session VIII: Small Industrial Commercial
and Residential Systems.

"Evaluation of Emissions and Control Technology
for Industrial Stoker Boilers"

(Robert D Giammar, Bathelle-Columbus Laboratories)

Föredraget behandlar FoU program för utveckling av teknik för minskning av emissioner från industriella "stoker" pannor.

- Fas 1 Utredning om alternativa bränslen
- Fas 2 Utredning om teknik för minskning av emissioner
- Fas 3 Utveckling av kol/kalksten pellets

SO₂ lär vara den besvärligaste emission vid eldning med högsvavliga kol i stokerpannor. Pellets kol/kalksten utvecklades och utvärderades som teknik för minskning av svavelemissioner.

Vid Ca/S molförhållande lika med 7 kunde sådana pellets eldas i en 8 MW industriell spreader-Stoker. SO₂-emissioner minskade med 75%. Men molförhållandet var för högt samt pellets kunde icke klara av mekaniska påfrestningar i ett industriellt bränslehanterings-system.

Baserade på tidigare resultat fortsatte utvecklingen av pellets. Förbättrade pellets har molförhållande Ca/S c:a 3,5 och mekaniska egenskaper är mycket nära kolets egenskaper.

En ekonomisk utredning har visat att 1 ton pellets är c:a 15 US\$ dyrare än 1 ton kol. Vid proveldning i laboratorieanläggning var SO_x-reduktionen 70%, under eldning i industriskala erhålles en SO_x-reduktion av 50%.

"Control of Emissions from Residential Wood Combustion by Combustion Modification"

(John M Allen, Battelle-Columbus Laboratories)

Målsättning med FoU program som beskrivs i detta föredrag var att identifiera lovande metoder för minskning av emissioner från vedeldade ugnar. I programmet ingår en översikt av de få pågående studier med avseende på mätning, ursprung och karakteristik av emissioner.

De viktigaste emissionerna är kolväten och kolmonoxyd som bildas vid pyrolys resp. förbränning vid lokalt luftunderskott. Kolväten har visat sig innehålla polyaromater som misstänks vara cancerframkallande.

I den experimentella delen av programmet ingick laboratorieundersökningar i en ugn som var konstruerad på sådant sätt att emissioner kunde utvärderas via varierande konstruktions- och driftsparametrar. Förbränningsprover utfördes med målsättningen att fastställa sådana fenomen som direkt eller indirekt påverkar emissioner. Följande emissioner registrerades kontinuerligt: O₂, CO₂, CO, NO, SO₂ samt totala kolväten.

Partikulära emissioner och polycykliska aromater fastställdes genom stickprover på rökgaser. Mätning av förbränningsgraden utfördes via kontinuerlig vägning av testade ugnar.

Medelvärde på CO-emissioner samt på kolväten varierade med faktor 10 mellan olika förbränningsförfaranden. Kolväte- och CO-emissioner ökar med lägre luftöverskott och tvärtom. Efterförbränning ger lägre emissionsnivåer en luftförvärmning. NO_x ökar med luftöverskott i alla ugnar med naturligt drag inom området 0,45-4,5 kg NO_x/ton bränsle.

Förbränningstekniska åtgärder påverkar emissionsnivån och därför är dessa intressanta som en teknik för emissionsminskning.

"Field Tests of Eleven Stoker Coal Fired Boilers
for Emissions Control and Unproved Efficiency"

(William H Axtman, American Boiler Manufacturer
Association)

Målsättningen med detta FoU-program var att ta fram data relaterade till emissioner och verkningsgrader vid koleldning i stokerpannor. Elva pannor testades, bland annat "spreader stoker", "vibragrate stoker", "overfeed travelling" och "chain grate"-enheter. Emissioner och verkningsgrad fastställdes vid varierande driftstekniska parametrar. Föredraget behandlar partikulära emissioner och koncentration av NOx i rökgaser samt oförbränt i flygg- och bottenaska. Emissioner undersöktes i förhållande till anläggningens konstruktion, last, luftöverskott, "overfire air" och bränslegenskaper.

Resultaten visar, att "overfeed stoker" har lägre partikel- och NOx-emissioner samt lägre förluster i form av oförbränt än "spreader stokers". Återinmatning av flyggaska har i vissa fall ökat partikulära emissioner. "overfire air" har mycket liten eller ingen alls effekt på NOx-emissioner.

Oförbränt i flyggaska är funktion av partikelstorlek.

Ett försök har gjorts att ställa upp vissa kvantitativa samband som underlag för utvärdering för koleldade stokerpannor. Slutrapport kommer att vara tillgänglig i slutet på 1980.

The Joint Symposium on Stationary Combustion
NOx Control

Session IX: Enviromental Assessment

Conventional Combustion Enviromental Assessment
Program

(Wade H Pander, EPA)

EPA's Industrial Enviromental Research Laboratory i Research Triangle Park utvecklade ett huvudprogram för värdering av miljömässiga och ekonomiska aspekter av emissioner från olika förbränningsprocesser. Conventional Combustion Enviromental Assessment (CCEA) Program blev en viktig källa för information vid utveckling och modifiering av riktvärden och teknik för minskning av emissioner.

I föredraget presenteras aktuella emissioner, pågående aktiviteter och några representativa uppgifter från CCEA program, såsom:

- utvärdering och jämförelse mellan kol- och oljeeldning i industriskala
- miljömässig värdering av en 820 MW koleldad panna försedd med FGD*, samt 342 MW oljeeldad panna
- fältstudie om förbränningskällor
- industriella pannor för kolpulvereldning
- koleldning för bostadsuppvärmning
- studier om vedeldning.

* FGD = Flue gas desulfurisation

"Combustion Modification Enviromental Assessment"

(Howard B Mason, Acurex Corporation)

Combustion Modification Enviromental Assessment (CMEA) startade 1976 som en del av EPA's Conventional Combustion Enviromental Assessment Program.

Primära mål av CMEA är:

- identifiera potentiella föroreningar från förbränningsanläggningar före och efter användning av förbränningstekniska åtgärder för NOx-minskning,
- utarbeta riktlinjer för applikation av förbränningstekniska åtgärder med avseende på kostnader, energiförbrukning, driftparametrar och miljömässiga mål för att uppnå föreskrivna emissionsnivåer,
- identifiera de mest kostnadseffektiva och miljömässigt acceptabla förbränningstekniska åtgärder för att kunna uppnå mål för NOx-emissioner.

För att verifiera dessa parametrar genomfördes praktiska tester på fullskaleanläggningar. Ändringar i emissionernas storlek, verkningsgrad och driftparametrar som följd av förbränningstekniska åtgärder har undersökts. Bland annat har följande värden registrerats i rökgaser: NOx, SO₂, SO₃, CO, CO₂, O₂, metaller, organiska och oorganiska ämnen. Under de första 3 åren genomfördes tester på två industripannor, tre hetvattenpannor, en gasturbin och en ugn för bostadsuppvärmning. Samtliga enheter var antingen modifierade med avseende på låga NOx-emissioner eller utrustade med låg NOx-brännare. Testresultat har visat att ingen väsentlig förändring i emissioner (utom NOx) kunde registreras. Verkningsgraden påverkades inte heller utav förbränningstekniska åtgärder med undantag av vatten i insprutningsmetoden. Då sjönk verkningsgraden med c:a 2%.

CMEA-programmet har nyligen utökats på följande områden: alternativa bränslen, instabil drift och avancerade förbränningsmodifikationer. Status av de utökade programmet återges i föredraget.

"Utility Boiler Enviromental Assessment -
the EPRI Approach"

(Monta W Zengerle, EPRI)

EPRI har utrett förbränningsteknikens inflytande på miljö med avseende på ekologi och människohälsa. Utredningen behandlar kostnader, fördelar och nackdelar för olika typer av energiframställning samt respektiva resultat vid reducering av emissioner. Fysisk och kemisk karakteristik av föroreningar behandlas med hänsyn till både lokala och regionala aspekter. Utredning om överföring av föroreningar mellan olika regioner började med "Sulfate Regional Experiment" (SURE) i nordöstra USA och fortsatte sedan med utredningen om försurning i östra och västra delarna av USA.

Nedfallsdistribution studeras. Målsättning är att skaffa underlag för utveckling av tekniska modeller som kan ge vägledning vid bedömning av emissionsbidrag från pannor till nedfall ev. till befintliga föroreningar.

Ekologisk studie betonar potentiella effekter av försurning på biogeokemisk process som påverkar resulterande surhet i vatten och mark samt kvävecykel i naturen.

Hälsostudie är inriktad på att fastställa vilken effekt emissioner från pannor har på människor. I hälsostudien ingår studier med avseende på epidemiologi, kliniska studier samt studier om djurlivet.

Frank Kressl
80-10-28

The Joint Symposium on Stationary Combustion
NOx Control

Session X: Stationary Engines and Industrial
Process Combustion Systems

"Characterization and Oxidation of Diesel
Partikulate"

(David A Trayser, Battelle-Columbus Laboratories)

Arbetet utfördes för EPA för att utvärdera metoder för emissionsminskning hos dieselmotorer i fordon. Primär målsättning är att undersöka om selektiv katalytisk reduktion är en lämplig metod för minskning av partikulära emissioner från dieselmotorerna.

I programmet ingår översikt över teknikens status, detaljerad teknisk och fysikalisk beskrivning av partikulära emissioner från dieselmotorer. Inom ramen för programmet utfördes ett stort antal av "bänk"-tester för att definiera eller undersöka:

- antändnings- och oxideringsvillkor för partikulära emissioner
- katalytisk antändning av partiklar, samt
- experimentell utvärdering av förfarandet för minskning av emissioner beroende på oxidation i avgaskanal efter motor.

Beskrivning av partikulära emissioner kartlades med hjälp av en Oldsmobile 4,3 liter dieselmotor, ansluten till dynamometer med direkt uttag för samling av partikulära emissioner. Emissionerna undersöktes med avseende på:

- masskoncentration
- halten av lösliga organiska ämnen
- halten av koks
- halten av väte
- oförbränt
- spårämnen
- yta
- partikelfördelning.

Resultaten visar att när motorens last ökar, ökar partikelkoncentrationen i avgaser medan halten av lösliga organiska ämnen minskar. Både vätehalten och askhalten varierar mellan 0.5 och 2.0%. Yta hos partiklar är c:a $100 \text{ m}^2/\text{g}$. Medelpartikelstorlek ökar med ökad last och är av storleksordning 0.1-0.3 micrometer. Preliminära resultat från försök med katalytisk antändning visar att antändningstemperatur för partikulära emissioner kan minskas till minst 150°C om små mängder av metallsalter injiceras i avgaser. Katalytisk effekt av metalliska salter ökar vid närvaro av NaCl och NH_4Cl . Den bästa verkningsgraden hade kopparsalter.

"Single-Cylinder Test of Emission Control Methods
for Large-Bore Stationary Engines"

(Robert P Wilson, Artur D Little, Inc)

Målsättningen av detta utvecklingsarbete som presenteras här var att utveckla förbränningstekniska åtgärder som minskar NO_x-emissioner från grovkalibriga motorer utan att detta skulle påverka bränsleförbrukning eller öka halten av oförbränt. Projektet innefattar tekniken för NO_x-minskning i avgaser från dieselmotorer och motorer med elektrisk tändning med cylinderstorlekar mellan 8 och 20 inch. Idag är de första två faserna av projektet helt avslutade, vilket innebär att c:a 40 olika metoder för minskning av NO_x har testats.

Cooper Energy Services testade en single-cylinder motor (diameter c:a 20 inch, 330 rpm). Följande modifikationer testades: modifierad insprutning av bränsle, bränsle-luftpörhållandet, tändstiftens placering, bränsleinsprutningens placering, utformning av kolven. Resultat av undersökningar kan summariskt beskrivas enligt följande:

- NO_x-emissioner påverkas mest utav varierande förhållanden bränsle-luft
- NO_x-minskning är i storleksordning mellan 76 och 62%
- Effekten av övriga åtgärder är bara marginell

Analys av värmealstring bekräftade att minskning av kvoten bränsle-luft försenar antändningen och minskar flammans hastighet.

Modifikationer i bränsleinsprutningen påverkar NO_x-bildning. Kolvens utformning har större effekt på NO_x än placering av bränsleinsprutning eller tändstift.

Fairbanks Morse utförde prover med insprutning via tomgångsmunstycke samt ökad andel av insprutning i en 11-inch PA-6 motor (1000 rpm). Försenad tändinställning minskar NO_x-emissioner med 4% per grad. Avgastemperaturen var begränsad för minskning av NO_x-emissioner vid både insprutning via tomgångsmunstycke eller ökad insprutning vid fulleffekt, men vid delast kunde en c:a 20%-ig reduktion av NO_x uppnås.

"Kinetics and Mixing in Industrial Afterburners"
(Arthur Levy, Battelle-Columbus Laboratories)

Industriella efterförbrännare kan vara effektiva anordningar för minskning av utsläpp med avseende på organiska emissioner. För att uppnå en effektiv drift är det nödvändigt att ta hänsyn till bränsleekonomi och konstruktionsfrågor i samband med efterförbrännarens storlek och kapacitet.

I föredraget behandlas förbränningsfenomen i efterförbrännare med avseende på kompakt utformning som är nödvändig samt reaktionskinetik för processen. Blandningsförhållanden behandlas utifrån de konstruktionsdetaljer som är industriellt användbara för konstruktion samt med avseende på matematisk modell för optimering av efterförbrännare. Kemiska aspekter analyseras med avseende på kolväteoxidation. Särskild uppmärksamhet ägnas åt kvasiglobal och global reaktionskinetik för oxidationsprocess. Ekvationer för beräkning av kemiska förlopp, grundade på teoretiska och laboratoriedata, samt allmänna bedömningskriterier diskuteras.

"Emission Reduktion by Combustion Modification
for Petroleum Process Heaters"

(Wallace A Carter, KVB Inc.)

Föredraget presenterar FoU-arbete för utvärdering av förbränningstekniska åtgärder applicerade i industriella processer. Projektet stöds av EPA. Målsättningen var att utveckla förbränningstekniska åtgärder för minskning av NO_x-emissioner från industriella uppvärmningsanläggningar. Särskild uppmärksamhet ägnades åt applikationer av "staged combustion" och minskat luftöverskott båda var för sig eller i kombination.

Undersökning av en råoljeförvärmare visade att vid 59%-ig kapacitet kan NO_x-emissioner minskas med 50% genom att tillämpa en kombination av "staged combustion" och minskat luftöverskott. En liten ökning i förvärmarens verkningsgrad (c:a 2%) kunde observeras vid låg NO_x-eldning. Bränslet var brännbar gas från raffinaderi.

Exakt samma modifikationer undersöktes vid eldning av restoljor i kombination med raffinaderigas. Reduktion av NO_x var något mindre då.

Kostnader och metodens användbarhet för befintliga anläggningar diskuteras.

"Subscale Test of Combustion Modification
for Steel Furnaces"

(Robert J Tidona, KVB Inc.)

Detta är en rapport om FoU-arbete för förbrännings-
tekniska åtgärder med avseende på emissionsminsk-
ning och ökning av verkningsgraden. Arbetet är en
utökning av EPA's kontrakt 68-02-2645, vilket be-
handlar driftsåtgärder.

Följande metoder testades i en liten skala:

- vatteninsprutning i flamzonen
- rökgasrecirkulation
- minskat luftöverskott.

Bränslen var olja nr 2 och naturgas. Vid eldning
med naturgas var den största reduktionen av NOx
(88%) med rökgasåterföring. Vid eldning med eld-
ningsolja Nr 2 uppnåddes den största minskningen
med avseende på NOx (89%) med vatteninsprutning.

I rapporten utvärderas kostnader för vatteninsprut-
ning och rökgasåterföring. Vattensinsprutning vi-
sade sig vara den mest effektiva metoden med av-
seende på kostnader och verkningsgrad med avseende
på reduktion av NOx-emissioner för både gas och
oljeeldning.

Frank Kressl
80-10-29

The Joint Symposium on Stationary Combustion
NOx Control

Session XI: Advanced Processes

"Low NOx Combustors for High Nitrogen Liquid Fuels"

(Glenn C England, Energy and Environmental Research Corporation)

Resultat från försök med en 21 KW tunnelugn visar, att vid normala förbränningsförhållanden motsvarar NOx-emissioner från 26 olika flytande bränslen kvävehalten i bränslet. Man studerade parametrar för optimering av "staged combustion" för att få underlag för dimensionering av en avancerad anläggning i pilotskala (900 KW). I anslutning till emissionsmätningar genomfördes detaljerade studier av flammen. Avgasemissioner visade sig vara i direkt samband med den totala halten av nitrogenhaltiga ämnen (NO, HCN, NH₃) som bildas i första förbränningssteget. Ökad temperatur i primärzonen minskar den totala halten av nitrogenhaltiga ämnen och därmed också NOx-emissioner i avgaser.

"Fate of Coal Nitrogen During Combustion"

(Michael P Heap, Energy and Enviromental Research Corporation)

Tjugosex kolsorter undersöktes vid varierande förbränningsförhållanden för att fastställa inflytande av kolens egenskaper på omvandling av kväve i bränslet. Tre olika brännarsystem användes vid undersökningar. För att undersöka omvandling av bränslekväve vid förbränning användes kvävefritt oxydant. Man har funnit att halten av kväve i bränslet inte är den enda faktor som påverkar NO_x-bildning. Även lättflyktighet av kväveföreningar samt den totala kvävemängden är viktig för NO_x-bildning.

Detaljerade mätningar vid förbränning med låga syrehalter gav följande resultat:

- Fördelning mellan NO, HCN och NH₃ i avgaser beror på koltyp
- Minskning av temperaturen i den primära flamzonen ökar kvävekoncentration i gasfas men minskar emissioner av oförbränt.

Omfattande mätningar med avseende på NO_x-emissioner i avgaser gentemot total kvävekoncentration i den bränslerika flamzonen genomfördes.

"Systems Applications of Catalytic Combustion"

(John P Kesselring, Acurex Corporation)

Utveckling av systemet för katalytisk förbränning närmar sig prototypdemonstrationsstadiet. Testade katalysatorer visade större genomströmningsskapacitet och enhetliga axiala temperaturprofiler. Speciella komponenter som krävs för bränsleinsprutning, antändning och temperaturmätning utvecklades och testades i systemet. I de utvecklade integrerade systemen ingår en liten gasturbin samt vattenrörpanna.

Systemet med gasturbinen visar lovande resultat vid eldning med gasföreningar och destillerade bränslen. Besvärligaste delen av utvecklingen var att införa förblandad blandning bränsle/luft på katalysator samt intrimning av antändningssystemet. Ett komplicerat system utvecklades för detta ändamål. I dess komponenter ingår bland annat specialutvecklade munstycken, atomiserad insprutning och antändningsbrännare. Test av detta koncept är nära sitt avslutande och resultaten är mycket lovande.

I konceptet med vattenrörpanna används överföring via den direkta strålningen till tuberna i förbränningszonen. Emissioner som härstammar från den termiska NO_x är lägre än 2.0 ppm. Brännaren arbetar med låga luftöverskott vid yttemperaturer omkring 1370°C. Programmet med utveckling av ovannämnda system kommer att fortsätta.

"Fixed Bed and Suspension Firing of Coal"

(David W Pershing, Univeristy of Utah)

Föredraget sammanfattar resultat erhållna via undersökningar med avseende på formation av föroreningar vid förbränning av kol i fasta bäddar. Viktigaste föroreningar som behandlas här är kväve och svaveloxider.

Resultaten visar att stora partiklar inte hinner att delta i förbränningsprocessen innan de når bädden. Förbränning av små partiklar är däremot starkt beroende av lokaltemperatur och syrekonzentration. Vidare tyder resultaten på att lättflyktiga kväveföreningar avges snabbt från bädden och bildar avsevärda mängder av NOx. "Staged combustion" lär vara en effektiv metod för minskning av dessa emissioner. Det har ej observerats ökade sintringsproblem vid applikation av "staged combustion" men detta lär vara ett problem i storskaleanläggningar. Både varierande luftöverskott och "overfair air" har studerats, men dessa metoder lär icke ha avgörande betydelse vid begränsning av emissioner under villkoren som undersöktes. På grund av erhållna resultat konstruerades en model Spreader stoker. Tillverkningen av denna kommer att avslutas vid årskiftet 1980/81.

"Pressurized Bench Scale Testing of Low NOx
LBG Combustors"

(Wyman D Clark, Energy and Enviromental Research Corporation)

På grund av hög verkningsgrad är kombinerad gas-ånga turbincykel för lågvärdig gas ett attraktivt alternativ till ångturbin för direk eldning med högsvavliga kol. I förgasningsprocessen är mycket av bränslebundet kväve omvandat till NH_3 som konverteras vidare till NO_x i konventionella förbränningsanläggningar. Detta föredrag presenterar utformning av "bench scale" reaktorer för låga NO_x -emissioner. Lågvärdig gas framställdes i en katalytisk reformer och eldades i två primära förbränningsapparater: diffusionsflamma och platinium/nickeloxi katalytisk förbränning. Effekt av stökiometri tryck, genomströmningar och uppehållstid undersöktes.

Låga NO_x -emissioner kunde uppnås vid bådelåg och hög syrehalt vid förbränning i båda apparater.

"Control of NOx and Particulates Emission from
SRC-II Spray Flames"

(Janos M Beer, EPRI)

Undersökning av SRC-II bränslen* genomfördes dels i en laminär reaktor i laboratorieskala och dels i "4-by 4 foot MIT Combustion Research Facility". I den laminära reaktorn förgasas homogena droppar i inntert atmosfär vid olika temperaturer och tiden för förångning av kvävehaltiga ämnen i bränslet bestäms. Denna information är nödvändig för att utarbeta förfarandet för NOx-minskning genom "staged combustion". Parallellt med laboratorieförsöken genomförs prover med SCR-II bränsle insprutat i "unstaged" resp. "staged" turbulenta diffusionsflammar i miljö som motsvarar den som finns i industriella pannor. Kväveemissioner och partikulära emissioner fastställs i "unstaged" förbränning med avseende på bränsle/luftförhållandet, luftförvärmning samt kvalitet av atomisering. Resultaten visar att lågt luftöverskott och långsam turbulent flamma med låg grad av rotation i luft för flammornas stabilisering kan minska Nox-emissioner till 250 ppm i jämförelse med 550 ppm från intensiva snabba flammar.

Ytterligare minskning av NOx kan nås via "staged combustion" via fysiskt avskiljda steg. I sådana försök är det nödvändigt att använda dataanalys för konversion av bränslekväve för att styra försök genomförda på MIT Combustion Research Facility.

Fördelning av NOx och partikulära emissioner med avseende på effekt av temperatur, atomiseringsgrader och bränsle/luftförhållande i primära steg av förbränningen fastställdes. Omblandning i både bränslerika och bränslefattiga områden samt värmeavgivning från flaman är noggrant kontrollerade vid dessa försök.

Resultaten visar att (vid 3% O₂ i rökgaser) NOx-emissioner kan minskas till c:a 100 ppm utan att öka partikulära emissioner. Experimentella resultat visar bra överenskommelse med datamodell.

Emissionsgränser som uppnåddes vid dessa försök kan betraktas som de lägsta gränsvärden som kan nås i konventionella eldstäder i pannor.

* SCR-II-bränslen - flytande bränslen framställda ur kol.