

*Fullständiga  
Rapporten är  
reg. 413*

---

---

Arbetsrapport SGC A10

**NO<sub>x</sub>-REDUKTION GENOM NATURGAS-  
INJEKTION OCH REBURNING**

Demonstrationsprojekt på Knudmoseværket i  
Herning, Danmark

Jan Flensted Poulsen  
Vølund R&D Center

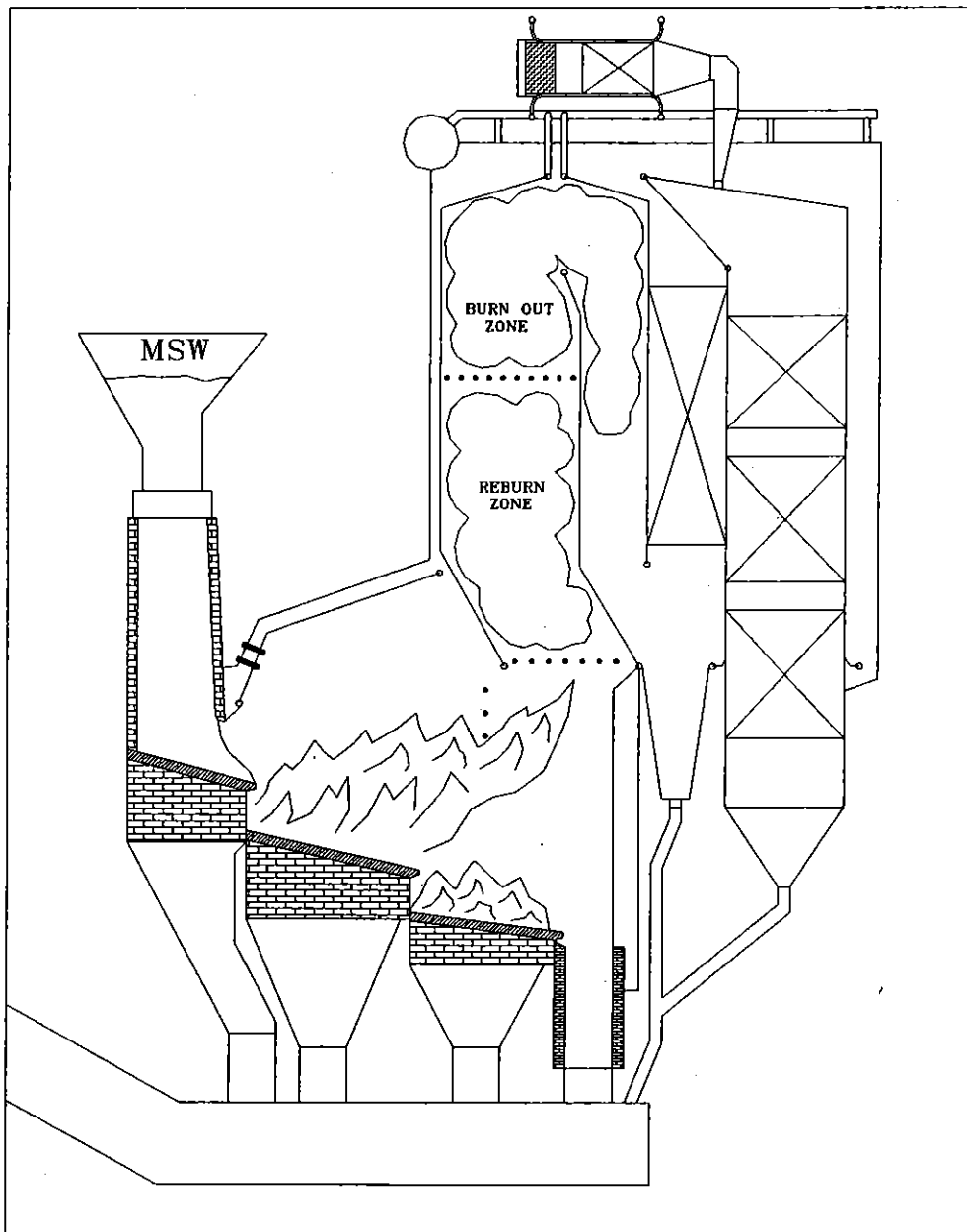
April 1996



Sammandrag av

**NO<sub>x</sub> reduction by means of Gas Injection and Reburning.**

**Demonstration Project at the Waste Incineration Plant  
"KNUDMOSEVÆRKET" in Herning, Denmark**



**VØLUND R&D CENTER  
APRIL 1996**

## NO<sub>x</sub>-REDUKTION GENOM NATURGASINJEKTION OCH REBURNING

Demonstrationsprojekt på Knudmoseværket, Herning, Danmark

### Inledning

Denna rapport utgör en sammanfattning av en fullständig rapport med titeln "NO<sub>x</sub> Reduction by Means of Gas Injection and Reburning. Demonstration Project at the Waste Incineration Plant Knudmoseværket in Herning, Denmark" (Ref 1). SGC medverkade i projektet genom övertag från det numera nedlagda NGC (SGC-proj. 94.02).

Rapporten redovisar erfarenheterna av NO<sub>x</sub>-reduktion avseende såväl naturgasbaserade åtgärder som stegvis förbränning och rökgasåtercirkulation.

Försöken har utförts vid avfallskraftvärmeverket i Herning i Danmark, benämnt Knudmoseværket. Kapaciteten är 5 ton/hr avfall och anläggningen togs i drift 1994/95. Genom kommunens försorg gavs tillfälle att redan på konstruktionsstadiet ta hänsyn till de prov som senare skulle utföras.

### Bakgrund

Medelvärde på NO<sub>x</sub>-emissioner från danska avfallsvärmeverk ligger omkring 350 mg/Nm<sup>3</sup>, vilket kan jämföras med förväntad EU-norm på 200 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>, 11 % O<sub>2</sub>, torr gas. Även om det i dag inte finns gränsvärden för NO<sub>x</sub> i Danmark så indikerar det förväntade EU-värdet att någonting måste göras även på danska anläggningar.

Förutom de testade metoderna finns två andra metoder tillgängliga: Selektiv katalytisk rening (SCR) och selektiv icke-katalytisk rening (SNCR). SCR är den mest effektiva men samtidigt den dyraste metoden. SNCR har ungefär samma NO<sub>x</sub>-reduktionsförmåga som naturgasteknikerna (ca 50 % reduktion) men har nackdelar i form av utsläpp av ammoniak och lustgas.

Frånvaron av "bieffekter" gör naturgas attraktivt för NO<sub>x</sub>-reduktion. Det finns emellertid en nackdel som speciellt accentueras vid avfallsförbränning. Eftersom pannan har en begränsad effekt måste avfallsmängden minskas vid tillsats av naturgas. Anläggningen får betalt för att ta emot avfall men måste betala för att få naturgas. Att ersätta en viss mängd avfall med naturgas har därför en kraftig, negativ inverkan på ekonomin.

### Metodik

Syftet med projektet var att demonstrera en 50 %-ig reduktion av NO<sub>x</sub>-nivån med hjälp av naturgas. Naturgasen kan tillsättas både i eldstaden (Gas Injection Mode) och vid rökgasernas inträde i pannan (Reburn Mode).

Naturgastillsats kräver en stökiometri på ungefär 0,9 (bränslerik gas/luft-blandning) samt så hög temperatur och så lång uppehållstid som möjligt för att resultaten skall bli de bästa.

För Knudmoseværket innebär detta att stökiometrin i eldstaden måste reduceras från det normala värdet 1,68 till ca 1,1 och att temperaturen måste hållas under 1.200°C (och helst under 1.100°C) för att inte eldstaden skall skadas.

En reduktion av stökiometrin i eldstaden medför en höjning av temperaturen, eftersom mängden gas som kan ta upp värmen reduceras. Eldstaden utrustades därför så att rök-

gaserna kunde återcirkuleras till det primära och sekundära luftsystemet. Därvid kunde det normala gasflödet upprätthållas men syreinhållet blev lägre. På så sätt kunde stökiometrin sänkas utan risk för överhettning i eldstaden.

Efter injektion av naturgas äger reaktionerna rum i pannans reurningzon och efter en sträcka motsvarande 2 sekunders uppehållstid injiceras "burn-out"-luft som säkerställer fullständig förbränning i utbränningszonen. Zonernas belägenhet framgår av försätsbladets figur.

Reurningzonen börjar vid panninträdet och om ingen naturgas injiceras genom där belägna dysor så blir stökiometrin i reurningzonen samma som i eldstaden. Dysor för "burn-out"-luft finns på två nivåer, vilket gör att man kan testa två olika uppehållstider på vägen från reurningzon till utbränningszon.

Införandet av ett "burn-out"-system möjliggör stegvis förbränning och därigenom kan fördelarna med reducerad stökiometri i eldstaden testas.

Rökgasåterföring och stegvis förbränning är kända metoder för  $\text{NO}_x$ -reduktion och det beslöts att inom projektets ram pröva dessa, såväl var för sig som i kombination.

Parallellt med de praktiska försöken i anläggningen bedrevs arbete med modellering och simulering av processerna. Mätdata från anläggningen utnyttjades för att förbättra överensstämmelsen mellan modeller och verklighet.

## Genomförande

Genomförandet av de praktiska proven visade sig besvärligare än förväntat. Huvudsakligen berodde detta på ständigt förändrad sammansättning av det avfall som skulle förbrännas, vilket i sin tur orsakade snabba ändringar i stökiometrin. Den automatiska driftstyrningen kunde ej användas under försöken utan manuell styrning fick tillgripas. Man räknar dock med att kunna modifiera det automatiska styrsystemet så att det klarar av förhållandena vid lågstökiometrisk förbränning.

Ett annat problem var slaggbildning på eldstadsväggarna. Detta har emellertid senare åtgärdats.

Det har tidigare rapporterats att naturgasanvändning generellt resulterar i sänkta CO-emissioner. Typiskt värde för Knudmoseværket utan naturgas ligger i området 10-20  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , vilket är ett förhållandevis lågt värde. Detta beror förmodligen på de tegelplattor som täcker eldstadsväggarna i den nedre delen, vilket resulterar i reducerad värmeöverföring från rökgaserna och därmed högre temperaturer under längre tid.

Vid alla prov, såväl utan som med naturgas, ändrades ej CO-emissionerna utan låg inom ovan angivet band.

## Resultat

Vad beträffar  $\text{NO}_x$  låg emissionsvärdet vid 232  $\text{mg}/\text{Nm}^3$  innan försöken startade. Detta är ett förhållandevis lågt värde och nära det förväntade danska övre gränsvärdet på 200  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ . Utan naturgas erhöles den mest stabila förbränningen då eldstadstemperaturen kontrollerades genom injektion av återcirkulerade rökgasar strax före inträdet i pannan och med stökiometrin = 1,1. Genom dessa åtgärder kunde man komma ner i en  $\text{NO}_x$ -halt på 165  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , dvs en reduktion på 29 %. Man kan således komma under förväntat gränsvärde utan vare sig naturgas eller komplettering med SCR eller SNCR.

Mängden naturgas som injicerades under naturgasförsöken motsvarade 15 % av den totala termiska belastningen. Denna mängd gav såväl rätt stökiometri som stabila förbränningsförhållanden.

Vid injicering direkt i förbränningszonen i eldstaden (Gas Injection Mode) erhöles en  $\text{NO}_x$ -emission på  $121 \text{ mg/Nm}^3$ , dvs en reduktion med 48 % jämfört med "basfallet".

När samma mängd naturgas injicerades vid panninträdet blev emissionen  $119 \text{ mg NO}_x/\text{Nm}^3$ , dvs 49 % reduktion.

Vid en minskning av stökiometrin till 0,8 sänktes  $\text{NO}_x$ -nivån ytterligare till  $115 \text{ mg/Nm}^3$ , dvs målet 50 % reduktion var då uppnått.

I praktisk drift är en stökiometri på 0,9 mer realistisk, varför i praktiken  $\text{NO}_x$ -reduktion blir knappt 50 %.

Från driftsynpunkt var "Reburning Mode" lättast att hantera och den inverkar minst på eldstadsförhållandena.

Nivån  $119 \text{ mg NO}_x/\text{Nm}^3$  (se ovan) motsvarar vid aktuella driftförhållanden  $72 \text{ mg NO}_x/\text{MJ}$ , vilket är jämförbart med emissionerna från svenska avfallsanläggningar utrustade med SNCR.

### Modelleringsarbete

Det tidigare nämnda modelleringsarbetet bestod av en kartläggning av flödesmönstret med hjälp av Computational Fluid Dynamic (CFD)-program samt fysisk modellering. Uppnådda resultat har dessutom analyserats med hjälp av kemisk dynamisk modellering.

Den dynamiska modelleringen var primärt inriktad på "Gas Injection Mode" med inputdata från uppmätta temperaturprofiler. Modellen förutsåg  $\text{NO}_x$ -emissioner i området  $117\text{-}131 \text{ mg/Nm}^3$ , vilket stämmer väl överens med det uppmätta värdet  $121 \text{ mg/Nm}^3$ .

Framtagna modeller kommer att vara till stor hjälp framöver vid framtagande av nya processer liknande den vid Knudmoseværket.

### Slutsats

Uppnådda mätresultat visar att nu förväntat gränsvärde för  $\text{NO}_x$ -emissioner,  $200 \text{ mg/Nm}^3$ , utan problem kan innehållas med enbart rökgasåtercirkulation och stegvis förbränning.

### Referens

J F Poulsen

$\text{NO}_x$  Reduction by Means of Gas Injection and Reburning.

Demonstration Project at the Waste Incineration Plant "Knudmoseværket" in Herning, Denmark

Vølund R&D Center Report

April 1996