

# NO<sub>x</sub> emission fra fyring med limholdigt affaldstræ fra møbelindustrier

Ole Schleicher  
FORCE Technology



# Indhold

1	Indledning.....	5
2	NO <sub>x</sub> dannelse og emission .....	7
2.1	<i>Dannelse af NO<sub>x</sub></i> .....	7
3	Målte NO <sub>x</sub> emissioner .....	9
3.1	<i>Kommentarer til måleresultaterne</i> .....	10
<b>Bilag 1</b>	<b>Emissionsmålinger med billeder af brændslet</b>	



# 1 Indledning

Miljøstyrelsen Referencelaboratorium for måling af emissioner til luften, har efter Miljøstyrelsens ønske udarbejdet denne rapport om måling af NO<sub>x</sub> emission fra fyring med affaldstræ med mere end 1% lim i mindre fyringsanlæg på træ- og møbelfabrikker.

Målingerne blev udført i december måned 2010 på et antal virksomheder, som velvilligt stillede deres fyringsanlæg til rådighed for projektet.

For at få målinger på så mange fyringsanlæg som muligt, med det begrænsede budget der var til rådighed, er målinger udført over en time, hvor emissionsmålinger normalt udføres over tre gange 1-time.

FORCE Technology

Ole Schleicher

Email: [osc@force.dk](mailto:osc@force.dk)

Tlf.: 43 26 75 40



## 2 NO<sub>x</sub> dannelse og emission

Ved forbrændingsprocesser dannes blandt andet nitrose gasser, nitrogenoxider. De mest dominerende er nitrogenoxid (NO) og nitrogendioxid (NO<sub>2</sub>). I røggasser fra forbrændingsprocesser vil 90 – 98 % af den samlede NO<sub>x</sub> - emission normalt bestå af NO og resten vil være NO<sub>2</sub>. Disse to gasser omtales samlet som NO<sub>x</sub>, og de beregnes vægtmæssigt som NO<sub>2</sub>.

I atmosfæren oxideres NO til NO<sub>2</sub>, der igen kan omdannes til HNO<sub>3</sub> (salpetersyre). Dette sker bl.a. ved reaktion med ozon (O<sub>3</sub>) eller organiske forbindelser. Salpetersyre medvirker til forsuring af nedbøren.

B-værdien gælder for den del af NO<sub>x</sub>-mængden, der udsendes som NO<sub>2</sub>. Ved dimensionering af skorsten og beregning af overholdelse af B-værdien med OML modellen, kan emissionen af NO<sub>2</sub> anvendes, men der skal regnes med, at mindst halvdelen af den målte emission af NO<sub>x</sub> udgøres af NO<sub>2</sub>.

### 2.1 DANNELSE AF NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> opstår, når N (kvælstof) og ilt reagerer med hinanden ved høje temperaturer. Ved forbrænding er der tre mekanismer, som danner NO<sub>x</sub>:

- Prompt NO<sub>x</sub>
- Termisk NO<sub>x</sub>
- Brændsels NO<sub>x</sub>

Prompt NO<sub>x</sub> dannes ved, at N reagerer med kulbrinte-radikaler. Disse reagerer videre til slutproduktet NO. Processen finder typisk sted i brændselsrige zoner. En god forbrænding med passende luftoverskud modvirker dannelsen. Prompt NO<sub>x</sub> har mindre betydning for den samlede NO<sub>x</sub> emission, og omtales ikke yderligere.

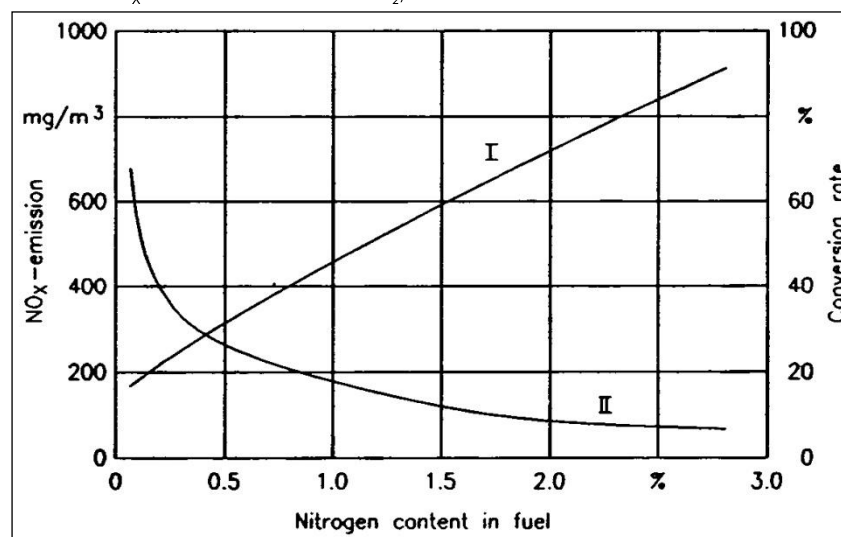
Termisk NO<sub>x</sub> dannelsen sker primært i flammen ved, at en del af forbrændingsluftens indhold af N<sub>2</sub> ved høj temperatur, over ca. 1.400° C reagerer med ilt og danner NO. I teorien dannes der også NO<sub>2</sub>, men kun i meget begrænset mængde, dels fordi temperaturen ikke er høj nok, dels fordi forbrændingen forløber med et lavt iltindhold. Afgørende faktorer for dannelsen er bl.a. O<sub>2</sub>-koncentration, opholdstid og temperatur. Forbrændingstemperaturen i anlæg fyret med biomasse sjældent er så høj at der dannes termisk NO<sub>x</sub> af betydning, så dette omtales ikke yderligere.

Brændsels NO<sub>x</sub> er NO dannet ved forbrænding af brændslets indhold af kemisk bundet N. Kun en mindre del af brændslets N emitteres som NO<sub>x</sub>, da en del også omdannes til N<sub>2</sub> (frit kvælstof). Forbrændingsforholdene har betydning for hvor stor en del af brændslets N emitteres som NO<sub>x</sub>.

Det er generelt sådan, at forbrændingens indvirkning på emissionen af  $\text{NO}_x$  er modsat af virkningen på CO emissionen, dvs. at en optimal forbrænding der giver lav CO emission vil give mere  $\text{NO}_x$  emission, og en dårligere forbrænding med høj CO emission vil give en lavere  $\text{NO}_x$  emission. Det er dog mange forhold der spiller ind på dette, så det er muligt at optimere forbrændingen til lavere  $\text{NO}_x$  emission, uden at CO emissionen øges, specielt hvis man også optimere hvordan forbrændingsluften fordeles og hvor den tilføres.

Der er en direkte sammenhæng mellem mængden af N i brændslet og emission af  $\text{NO}_x$ , således at  $\text{NO}_x$  emissionen er stigende med stigende indhold af N i brændslet. Sammenhængen er dog ikke lineær, for når indholdet af N i brændslet stiger, så er det en forholdsvis mindre del der emitteres som  $\text{NO}_x$ . Dette forhold er vist i Tabel 1.

TABEL 1.  $\text{NO}_x$  EMISSIONEN VED 11 %  $\text{O}_2$ , SOM FUNKTION AF N INDHOLDET I BRÆNDSLET



Kurve I =  $\text{NO}_x$  emission. Kurve II = Omdannelsesrate for brændslets N til  $\text{NO}_x$ .

Indholdet af N i rent træ er typisk  $< 0,5$  %, mens indholdet i affaldstræ fra træforarbejdende virksomheder, f.eks. møbelfabrikker, der forarbejder spån- og MDF plader, som yderligere kan være belagt med en tynd melaminplade, kan indeholde helt op til 4 % N. Det skyldes et højt indhold af N i den lim som spån- og MDF plader indeholder ca. 7-9 % af, samt at melamin også har et stort indhold af N.

Hvis alt N i affaldstræ med 3 % N brænder til  $\text{NO}_x$ , så vil  $\text{NO}_x$  emissionen være knapt  $11.000 \text{ mg/m}^3$  ved 11 %  $\text{O}_2$ . Ifølge kurven i Tabel 1, er  $\text{NO}_x$  emissionen omkring  $950 \text{ mg/m}^3$  ved et indhold af 3 % N i brændslet, og det er således kun omkring 8 % af N-indholdet der emitteres som  $\text{NO}_x$ .

Afhængigt af et fyringsanlægs udformning og forbrændingforhold, vil  $\text{NO}_x$  emissionen kunne afvige meget fra kurven i Tabel 1. Ved optimal udformning af fyrboksen, fordeling og tilsætning af forbrændingsluft, og styring af forbrændingen og forbrændingstemperaturen, kan der formentlig opnås væsentlig lavere emissioner end kurven i Tabel 1 angiver.

### 3 Målte NO<sub>x</sub> emissioner

FORCE Technology har i december 2010 udført emissionsmålinger for NO<sub>x</sub>, CO og O<sub>2</sub>, på en række fyringsanlæg på møbelfabrikker, som brænder træaffald med stor andel af spån- og MDF plader. På grund af den store andel af plader, er indholdet af lim højt, og derfor er indhold af N (kvælstof) også højt.

På grund af begrænsede midler er der ikke udført målinger af N indholdet i brændslet, men der er taget billeder af brændslerne, som tydeligt viser et stort indhold af spån- og MDF plader, som derved dokumenterer et højt indhold af lim og dermed også N.

Målingerne er suppleret med en række resultater af målinger udført af kedelleverandører i forbindelse med eftersyn af kedlerne i 2006 og 2010.

Alle målingerne er middelværdier over en times kontinuert måling.

NO<sub>x</sub> er summen af NO og NO<sub>2</sub> regnet som NO<sub>2</sub>, og (ref) angiver reference tilstanden, som er normaliseret tør røggas ved 0 °C, 103,5 kPa og 10 % O<sub>2</sub>

Resultaterne af målingerne på mindre kedler fyret med affaldstræ med mere end 1 % lim udført af FORCE er vist i nedenstående Tabel 2. Målinger på mindre kedler fyret med affaldstræ med mere end 1 % lim

TABEL 2. MÅLINGER PÅ MINDRE KEDLER FYRET MED AFFALDSTRÆ MED MERE END 1 % LIM

Kedel	Effekt	Røggas temp.	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Årgang	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
1973	1	168	10,9	1.575	465
1985	2,5	205	11,1	2.019	398
1991	1,8	116	8,8	877	(93) <sup>1)</sup>
2000	1	235	14,5	591	857
1982	1	218	10,7	350	837
1989	1	159	13,8	156	874
1994	1	183	12,7	297	802
1984	0,9	134	10,1	761	390
1988	1,1	152	12,1	606	1.193
2006	0,8	180	13	2.063	578
Middel	1,3	174	11,6	804	657
Min.	0,9	116	8,8	156	390
Maks.	2,5	235	14,5	2.019	1.193

1) Dette måleresultat er sandsynligvis fejlbehæftet, så der ses bort fra det.

Målinger på mindre kedler fyret med resttræ med mere end 1 % lim udført af kedelleverandøren i forbindelse med eftersyn i 2006 og 2010 er vist i Tabel 3.

De fleste af kedlerne er de samme som målingerne i Tabel 2.

TABEL 3. MÅLINGER UDFØRT I FORBINDELSE MED SERVICE PÅ KEDLERNE

Årgang	Effekt	Temp.	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	Støv
Årgang	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
?	2,5	220	13,8	1.544	758	47	243
?	2,5	205	15,0	1.920	655	117	231
1985	2,5	135	13,8	122	456	5	117
1991	1,75	152	12,9	671	618	43	165
2000	1	-	8,9	370	844	-	-
1989	0,99	200	7,9	572	469	7	271
1994	0,99	175	10,7	826	777	5	218
1984	0,325	200	6,8	1.926	546	266	425
1984	0,88	200	11,1	1.687	960	14	397
1985	1,1	180	10,0	527	1.152	29	223
1988	1,1	200	10,7	312	1.289	22	137
Middel	1	187	11,1	952	775	56	243
Min.	0,325	135	6,8	122	456	5	117
Max.	2,5	220	15,0	1.926	1.289	266	425

Målingerne udført af kedelleverandører er ikke akkrediterede, og det anvendte udstyr kendes ikke, så de bør betragtes som vejledende målinger.

Alle målinger af NO<sub>x</sub> er langt over den vejledende grænseværdi på 300 mg/m<sup>3</sup>(ref), undtagen en FORCE måling, der er så lav som 93 mg/m<sup>3</sup>(ref). Denne måling formodes dog at være fejlbehæftet, pga. utæthed, som giver fortynding med indsugget luft.

Spredningen på målingerne er meget stor, og der kan ikke ses nogen sammenhæng mellem NO<sub>x</sub> emissionen og hverken CO eller O<sub>2</sub>.

Alle målingerne vises med foto af det anvendte brændsel ordnet efter fyringsanlæg i bilag 1.

### 3.1 KOMMENTARER TIL MÅLERESULTATERNE

De gældende emissionsgrænseværdier for anlæg der fyrer med biomasse er vist i Tabel 4.

TABEL 4. GÆLDENDE EMISSIONSGRÆNSEVÆRDIER

	Enhed	CO			Støv			NO <sub>x</sub>		
Indfyret effekt	MW	< 1	1 - 5	5 - 50	< 1	1 - 5	5 - 50	< 1	1 - 5	5 - 50
Luftvejledningen	mg/m <sup>3</sup> (ref)	500	625	-	300	40*	40*	-	-	300**
G202	mg/m <sup>3</sup> (ref)	500	625	-	300	40*	-	-	-	-
G201	mg/m <sup>3</sup> (ref)	500	625	625	300	40*	-	-	-	300

\* Kan hæves til 400 ved anvendelse af f.eks. kondenserende anlæg.

\*\* Kan hæves til 400 mg/Nm<sup>3</sup> ved fyring med flis med højt barkindhold og stor nåleandel .

Ref = normaliseret tør røggas ved 10 % O<sub>2</sub>.

De fleste CO målinger er større end grænseværdierne på henholdsvis 500 og 625 mg/m<sup>3</sup>(ref) for henholdsvis kedler mindre og større end 1 MW.

Ingen af de anlæg der er udført målinger på kan overholde de gældende emissionsgrænseværdier. Fire anlæg overholder grænseværdien for CO og ingen anlæg overholder grænseværdien for NO<sub>x</sub> på 300 mg/m<sup>3</sup>(ref).

I den tyske TA-Luft, er der fastsat en emissionsgrænseværdi for NO<sub>x</sub> for fyring med resttræ fra træindustrier, bl.a. træfiberplader som ovenstående. For nye anlæg er grænseværdien 400 mg/m<sup>3</sup>(n,t) og for bestående anlæg er den 500 mg/m<sup>3</sup>(n,t) ved 11 % O<sub>2</sub>. Det svarer til henholdsvis 440 og 550 mg/m<sup>3</sup>(n,t) ved 10 % O<sub>2</sub>.

I den tyske standard VDI 3462 om forbrænding af denne type affaldstræ angives, at grænseværdien på 500 mg/m<sup>3</sup>(n,t) ved 11 % O<sub>2</sub> kan overholdes, hvis forbrændingstemperaturen holdes under 1.000 °C, og ved anvendelse af primære tiltag som røggastilbageføring.

Det er vanskeligt og dyrt at installere røggastilbageføring i eksisterende fyrringsanlæg, og effekten vil sandsynligvis også være begrænset, når anlægget ikke fra starten er dimensioneret til det. Det anses dog for meget usandsynligt, at eksisterende ældre træfyrede anlæg kan optimeres til at overholde de gældende emissionsgrænseværdier.




## Bilag 1


Emissionsmålinger med billeder af brændslet

Billeder af brændslerne er i de følgende tabeller vist sammen med målingerne udført af både FORCE og kedelleverandøren (når de foreligger).

TABEL 5. 1 MW KEDEL

					<p>Spånplade Laminat og papirbelægning</p>	
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1973	1	168	10,9	1.575	465

TABEL 6. 0,8 MW KEDEL

					<p>MDF plade Spånplade Laminat og papirbelægning Massiv løv-/hårdtræ Krydsfiner</p>	
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	2006	0,8	180	13	2.063	578

TABEL 7. 2,5 MW KEDEL



Spånplade  
Laminat og papirbelægning

	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1985	2,5	205	11,1	2.019	398
Leverandør			135	13,8	122	456

TABEL 8. 1,8 MW KEDEL




Spånplade  
Laminat og papirbelægning


	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1991	1,8	116	8,8	877	93*
Leverandør			152	12,9	671	618

\*Målingen er meget lav, så fejlmåling pga. utæthed forekommer sandsynlig, men kan ikke dokumenteres.


TABEL 9. 1 MW KEDEL

					Spånplade Laminat og papirbelægning	
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	2000	1	235	14,5	591	857
Leverandør				8,9	370	844


TABEL 10. 1 MW KEDEL

					Spånplade Laminat og papirbelægning	
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1982	1	218	10,7	350	837


TABEL 11. 1,1 MW KEDEL

					<p>Spånplade m. laminat</p>	
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
Leverandør	1985	1,1	180	10,0	527	1.152


TABEL 12. 1,1 MW KEDEL

					<p>Spånplade m. laminat</p>	
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1988	1,1	152	12,1	606	1.193
Leverandør			200	10,7	312	1.289

TABEL 13. 0,99 MW KEDEL

				<p>Mest MDF plade Lidt spånplade og massivt træ Lidt laminat og papirbe- lægning</p>		
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1989	0,99	159	13,8	156	874
Leverandør			200	7,9	572	469

TABEL 14. 0,99 MW KEDEL

				<p>Hovedsageligt spånplade med melamin og papirbe- lægning</p>		
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1994	0,99	183	12,7	297	802
Leverandør			175	10,7	826	777

TABEL 15. 0,88 MW KEDEL

		<p>Hovedsagelig spånplade og noget MDF, med melamin og papirbelægning</p>				
	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
FORCE	1984	0,88	134	10,1	761	390
Leverandør			200	11,1	1.687	960

Yderligere tre kedler med målinger udført af Leverandør.

	Årgang	Indfyret	Røggas	O <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>
Målefirma	Årstal	MW	°C	%	mg/m <sup>3</sup> (ref)	mg/m <sup>3</sup> (ref)
Leverandør	1984	0,33	200	6,8	1.926	546
Leverandør	?	2,5	220	13,8	1.544	758
Leverandør	?	2,5	205	15,0	1.920	655