

www.sintef.no



**SINTEF****SINTEF Energiforskning AS**Postadresse: 7465 Trondheim
Resepsjon: Sem Sælands vei 11
Telefon: 73 59 72 00
Telefaks: 73 59 72 50

www.energy.sintef.no

Foretaksregisteret:
NO 939 350 675 MVA**TEKNISK RAPPORT**

SAK/OPPGAVE (tittel)


Initielle multibrensel reaktor forsøk i KRAV prosjektet

SAKSBEARBEIDER(E)

Øyvind Skreiberg, Judit Sandquist

OPPDRAGSGIVER(E)

KRAV konsortiet

TR NR.	DATO	OPPDRAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A6766	2008-12-15		16X807
EL. ARKIVKODE	RAPPORTTYPE	PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
		Lars Sørum	Åpen
ISBN NR.		FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG SIDER
978-82-594-3385-5		Inge R. Gran 	19
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Energiprosesser	Kolbjørn Hejes vei 1A	73 59 28 89	

RESULTAT (sammendrag)

Blandinger av to brenslere er testet i en multibrensel reaktor. Fire temperaturer ble valgt for å undersøke effekten av blandingsforhold, luftoverskuddstall og temperatur; 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C. Resultatene fokuserer på NO_x, SO₂ og HCl utslipp og hvor mye av brenselets nitrogen, svovel og klormengde som konverteres til hhv. NO_x, SO₂ og HCl. Utslippene er avhengig av brenselets sammensetning og forbrenningsforholdene. Resultatene viser at temperaturen i det valgte temperaturområdet ikke påvirker hvor mye av brenselets nitrogeninnhold som konverteres til NO_x, men for svovel og klor konvertering er temperaturen av betydning. Brenselets sammensetning har en tydelig effekt på graden av nitrogen-, svovel- og klorkonvertering. Videre eksperimentelle studier hvor også aske- og partikkel analyse er inkludert er nødvendig for å kunne analysere og forklare klor og svovel effektene i detalj.

STIKKORD

EGENVALGTE	Biomasse	Forbrenning
	Utslipp	Brenselblanding

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
1 INNLEDNING	3
2 FREMGANGSMÅTE	3
3 RESULTATER	8
4 KONKLUSJONER	18

1 INNLEDNING

For å gjøre framtidens biomasse til energi systemer kostnadseffektive er det viktig å gjøre dem brenselfleksible. Det er hovedsakelig to måter å gjøre dette på: å gjøre selve prosessen brenselfleksibel eller å oppgradere brenslene. Uansett hva man velger er det viktig å karakterisere brenslene.

Alle aspekter ved biomasse konvertering er påvirket av biomassekvaliteten. Kvaliteten av biomassen påvirker forbrenningsprosessen, kostnadseffektiviteten, korrosjons- og beleggproblemer, røykgassutslipp og askeegenskapene¹ i et anlegg. Energitettheten og partikkelstørrelsesfordelingen påvirker effektiviteten og kostnadseffektiviteten til lagrings-, håndterings- og innmatingssystemene. Kjemiske egenskaper, fuktighetsinnhold og noen fysiske egenskaper påvirker konverteringseffektiviteten og utslipp fra røykgassen.

En av de viktigste forurensningskomponentene er NO_x. NO_x utslipp kommer fra brenselets nitrogeninnhold i biomasse til energi systemer² dvs. biomasse med høyt nitrogeninnhold (f.eks. halm eller gress) gir et høyt NO_x utslipp hvis anlegget ikke har effektive primærtiltak for å redusere NO_x utslippet eller hvis anlegget ikke har NO_x fjerning³. Korrosjon og beleggdannelse i et anlegg er avhengig av klor- og svovelinnholdet i brenselet som mates inn, samt askesammensetningen. Enkelte askekomponenter (f.eks. Ca) minsker korrosjon og beleggdannelse ved å binde klor og svovel i asken, mens alkalimetaller gjør korrosjon og beleggdannelse verre⁴. Askemelteegenskapene påvirker konverteringsprosessen og er avhengige av askens sammensetning.

Denne rapporten presenterer resultatene fra initielle forsøk utført i en multibrensel reaktor ved SINTEF Energiforskning.

2 FREMGANGSMÅTE

Multibrenselreaktoren ved SINTEF Energiforskning AS er bygd for å kunne håndtere flere forskjellige brenslar og omforme dem til energi på flere måter. Det har blitt utført en rekke forsøk og tester i denne reaktoren siden den ble bygget, deriblant disse initielle forsøkene i KRAV prosjektet. Utenom brenselet kan en for eksempel velge konverteringsmåten, dvs. forbrenning, gassifisering eller pyrolyse. Videre kan man velge reaksjonsgass sammensetning og mengde, som gjør det mulig å velge oksygenrik eller brenselrik forbrenning. Forbrenningstemperaturen kan velges og styres i fire soner i ovnen og i tillegg blir reaksjonsgassen også varmet opp før den kommer inn i reaktoren. Brenselinmatingen skjer ved hjelp av et stempel. Roterende blader på risten sørger for at brenselet blir fordelt på hele risten. Risten har to nivåer. På det øverste skjer forbrenningen mens på det nederste skjer evt. resterende karbonutbrenning før brenselet detter ned i askebeholderen. Asken blir fjernet på slutten av forsøkene når reaktoren er avkjølt.

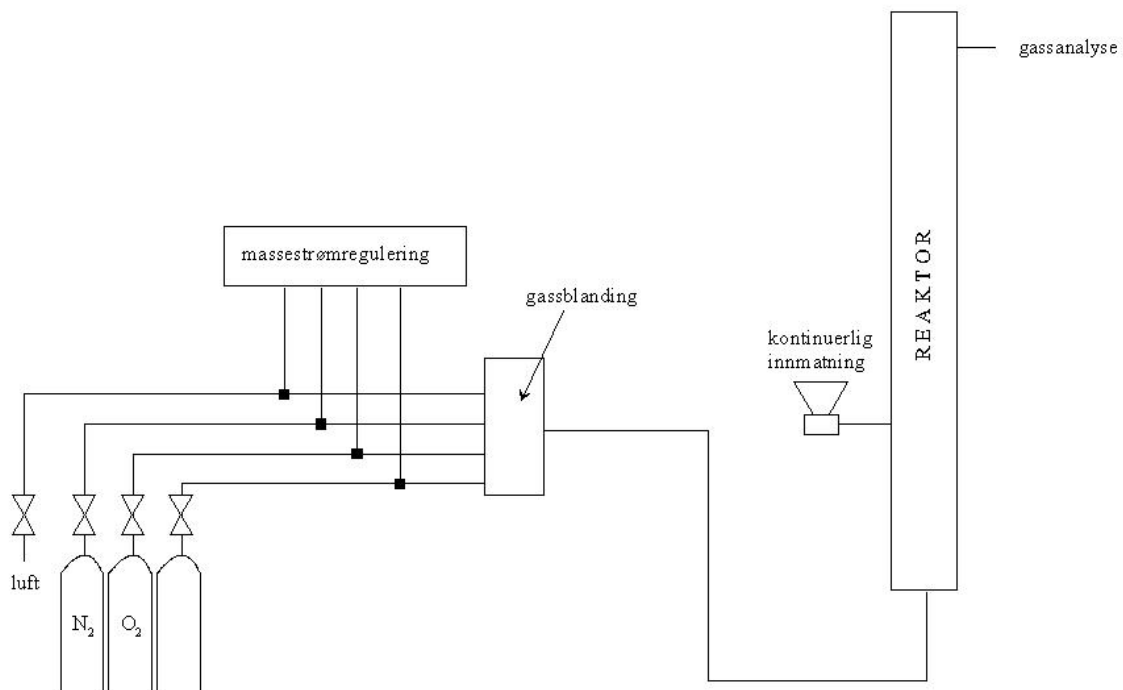
En oversikt over multibrensel reaktor systemet er vist i Figur 1.

¹ Handbook of biomass combustion and co-firing, (ed.: Sjaak van Loo and Jaap Koppejan), Earthscan, 2008

² W. Permchart, V.I. Kouprianov: Emission performance and combustion efficiency of a conical fluidized-bed combustor firing various biomass fuels, *Bioresource Technology* 92 (2004) 83–91.

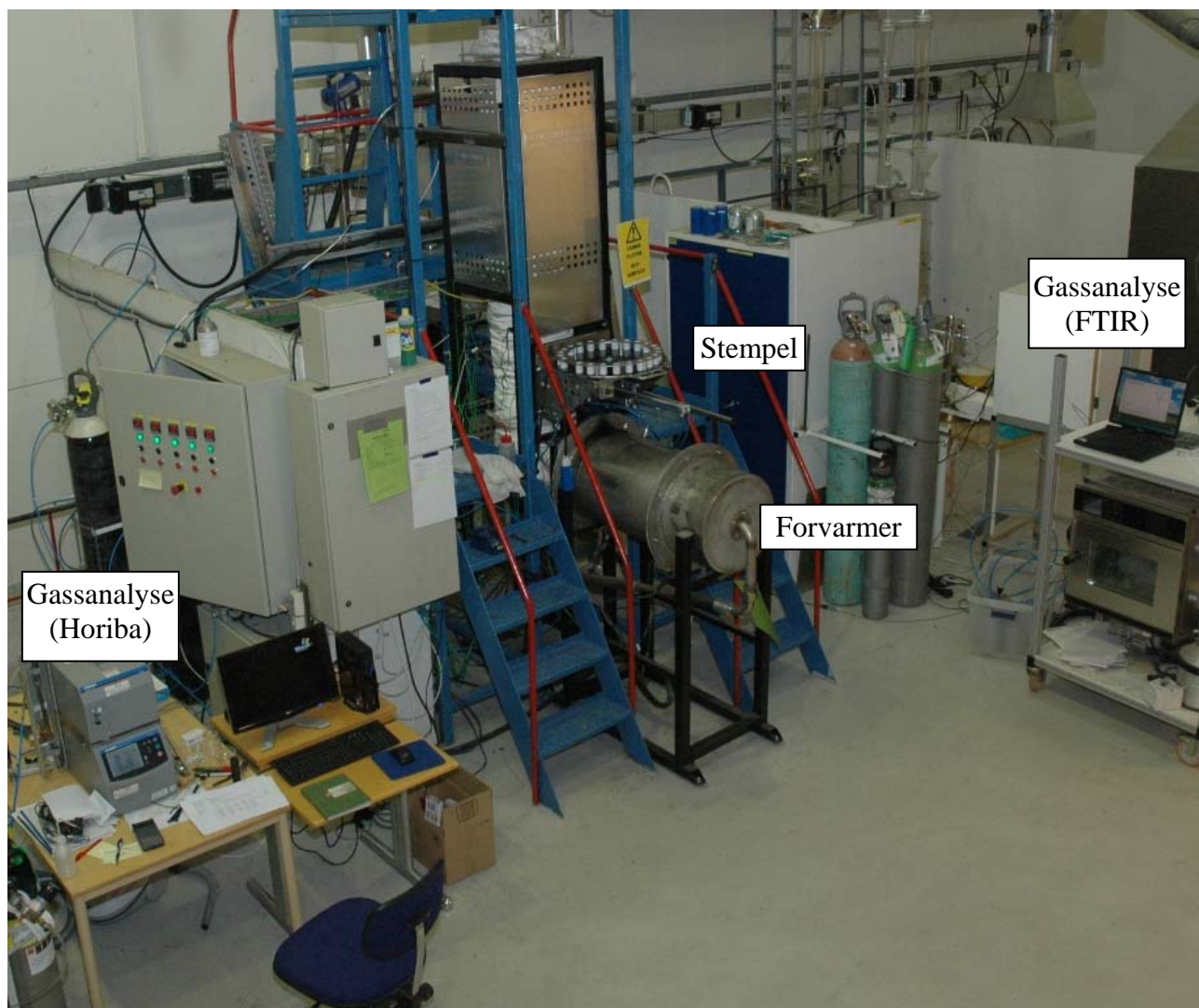
³ I. Obernberger et al.: Chemical properties of solid biofuels—significance and impact, *Biomass and Bioenergy* 30 (2006) 973–982.

⁴ H. P. Nielsen, Deposition and high-temperature corrosion in biomass fired boilers (PhD avhandling ved DTU, 1998).



Figur 1 Multibrensel reaktor system

Et bilde av SINTEFs multibrenselreaktor er gitt i Figur 2.



Figur 2 Multibrensel reaktor

Forsøkene ble utført med kontinuerlig innmatning. Stempelet matet inn brenselpellets hvert tiende sekund, dette tilsvarer en mengde på halv kilo per time. Fire temperaturer ble valgt for å undersøke effekten av temperaturen; 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C. Luftoverskuddstallet ble styrt etter oksygeninnholdet i røykgassen, tilsvarende ca. 15 %, 10 %, 7 % og 5 % oksygen i røykgassen på tørr volumbasis.

Blandinger av to brenslere er testet i disse forsøkene. Brenslene var trepellets og kaffeavfall som ble mottatt som hhv. 6 mm pellets og briketter. Bilder av brenslene som mottatt er gitt i Figur 3.



Trepellets – Miks1

Kaffeavfall

Figur 3 Brenslene som mottatt

Brenslene ble først kvernet, blandet sammen i riktige mengder og pelletert igjen (se bilder av brenslene i Figur 4). Samme prosedyre ble utført for alle brenslene bortsett fra for ren trepellets da den ble mottatt som pellets. To av brenslene som ble testet er rene brensler (trepellets og kaffeavfall) og 11 av brenslene var blandinger av de to rene brenslene i forskjellige blandingsforhold. Bilder og blandingsforhold av testede brensler og brenselblandinger er presentert i Figur 4, Miks1 som er ren trepellets vises i Figur 3.



Figur 4 Bilder og blandingsforhold av testede brensler og brenselblandinger (TP=trepellets, KA=kaffeavfall)

Elementsammensetning finnes i Tabell 1 og askeanalyse i Tabell 2 for de brukte brenslene.

Tabell 1 Elementsammensetning (vekt%, tørr askefri basis) av brenslene

Brensel	C	H	O	N	S	Cl
Trepellets	50,33	6,21	pd	0,11	<0,02	0,020
Kaffeavfall*	51,33	6,79	pd	3,02	0,21	0,055**

pd: per differanse, * data fra Becidan (2007)⁵, ** ny analyse

Tabell 2 Askeanalyse for utvalgte askeelementer (mg/kg tørr brensel)

	Trepellets	Kaffeavfall
Element	mg/kg	mg/kg
Na	47	138
P	73	1232
K	550	22620
Ca	1849	15230

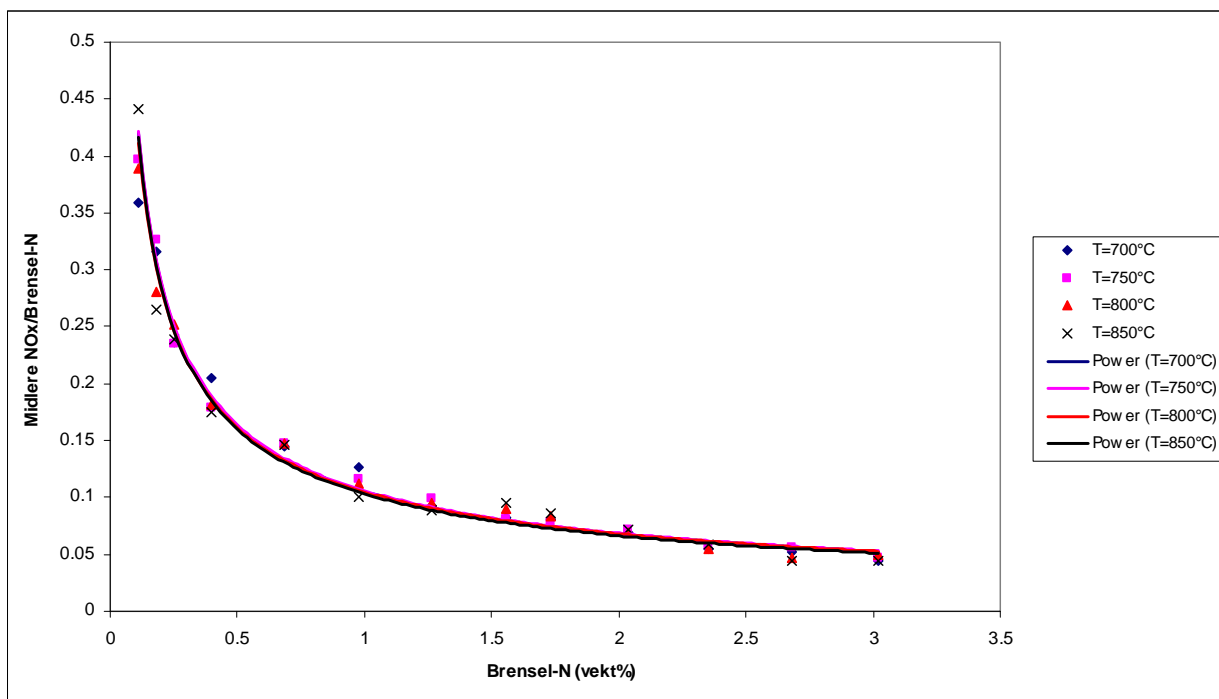
Trepellets og kaffeavfall inneholdt henholdsvis 0,08 og 6,58 vekt% aske på tørr basis.

Røykgassanalysen – CO₂, CO, NO_x (NO+NO₂) og O₂ – ble foretatt med en 'Horiba portable multi-species gas analyzer, PG-200 series' gassanalysator. Det er en analysator med rask respons, og data ble logget hvert andre sekund. I tillegg ble en FTIR brukt og data fra denne ble logget hvert minutt. Resultatene fra SO₂ målingene blir mer pålitelige ved bruk av en bærbar FTIR (Gaset DX-Series). I denne rapporten presenteres kun resultatene fra FTIR analysatoren. Horiba analysatoren (som også kan måle SO₂) ble brukt til å verifisere data internt og til å registrere hurtige transiente effekter.

⁵ Becidan M, Skreiberg Ø, Hustad JE (2007). Products distribution and gas release in pyrolysis of thermally thick biomass residues samples, J. Anal. Appl. Pyrolysis 78:207–213.

3 RESULTATER

Figur 5 viser brenselnitrogen til NO_x konvertering for de fire temperaturnivåene og Figur 6 viser maksimums-, middel- og minimumsverdier for brenselnitrogen til NO_x konvertering.

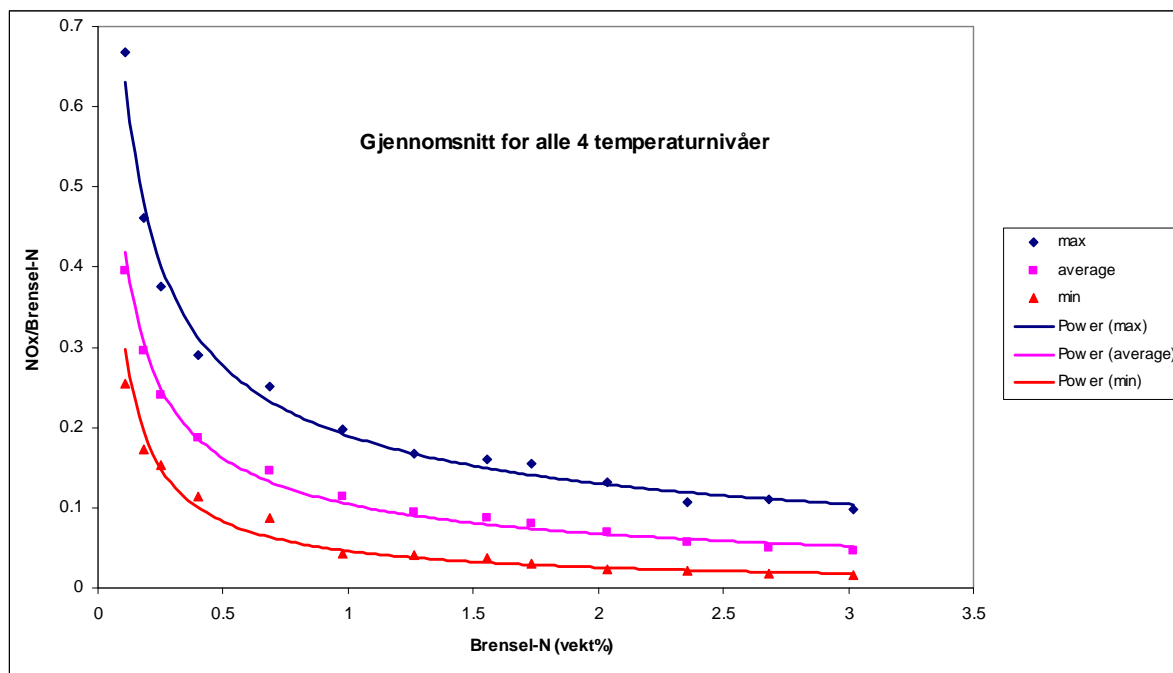


Figur 5 Brenselnitrogen konvertering til NO_x

Figur 5 viser tydelig at ved lavere nitrogeninnhold i brenselet, er det mer nitrogen som konverteres til NO_x . Dette er som forventet og i overensstemmelse med litteraturen^{6,7}. Det vises også at temperaturavhengigheten i det utvalgte temperaturområdet er ubetydelig. Temperaturkurvene overlapper hverandre.

⁶ Löffler G, Winter F, Hofbauer H (2000). Parametric modeling study of volatile nitrogen conversion to NO and N_2O during biomass combustion. In proceedings from Progress in Thermochemical Biomass Conversion, 17–22 September, Tyrol, Austria, pp. 641-655.

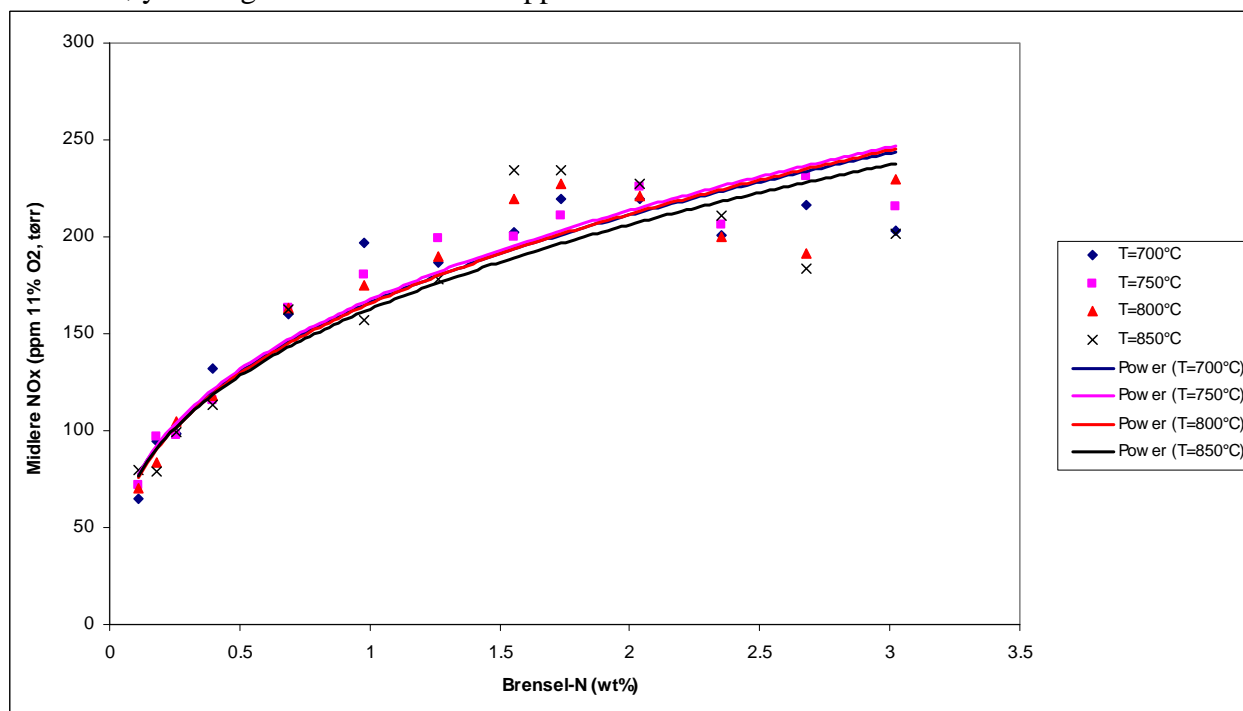
⁷ Weissinger A, Obernberger I (1999). NO_x reduction by primary measures on a travelling-grate furnace for biomass fuels and waste wood. In Proceedings of the 4th Biomass Conference of the Americas, Pergamon, pp. 1417-1424.



Figur 6 Brenselnitrogen konvertering til NO_x; maksimums-, middel- og minimumsverdier

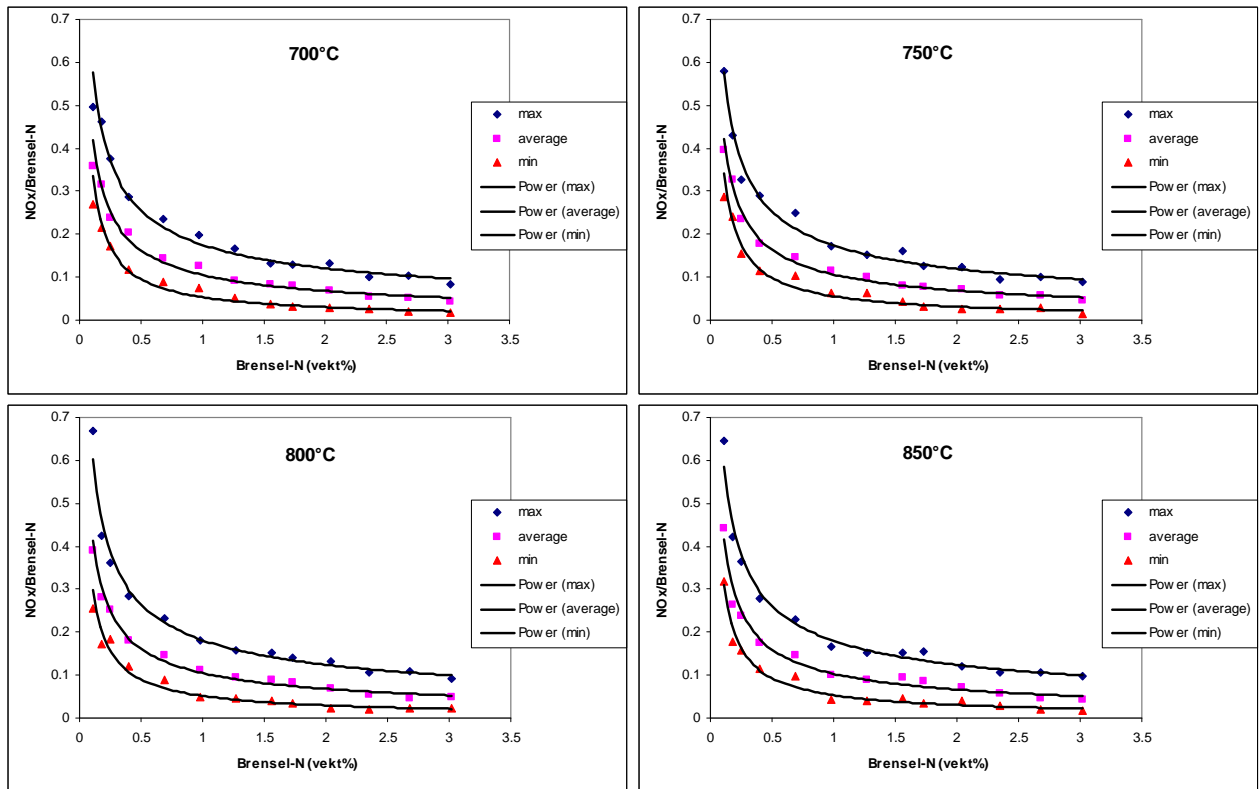
Figur 6 viser samme trend som Figur 5. Forskjellen mellom minimums- og maksimumsverdier er stor i forhold til forskjell i brenselets nitrogeninnhold og øker ved minkende brenselnitrogen innhold. Luftoverskuddstallet er den dominerende påvirkende faktoren ved et gitt nitrogeninnhold i brenselet. Avvikene som funksjon av brenselets nitrogeninnhold er små, som igjen betyr at temperaturavhengigheten er liten.

Figur 7 viser utslipp av NO_x for de fire temperaturnivåene som funksjon av nitrogeninnhold i brenselet. Figuren viser at NO_x utslippet øker konsistent med økende nitrogeninnhold i brenselet, men for høye nitrogeninnhold flater utslippsnivået ut.



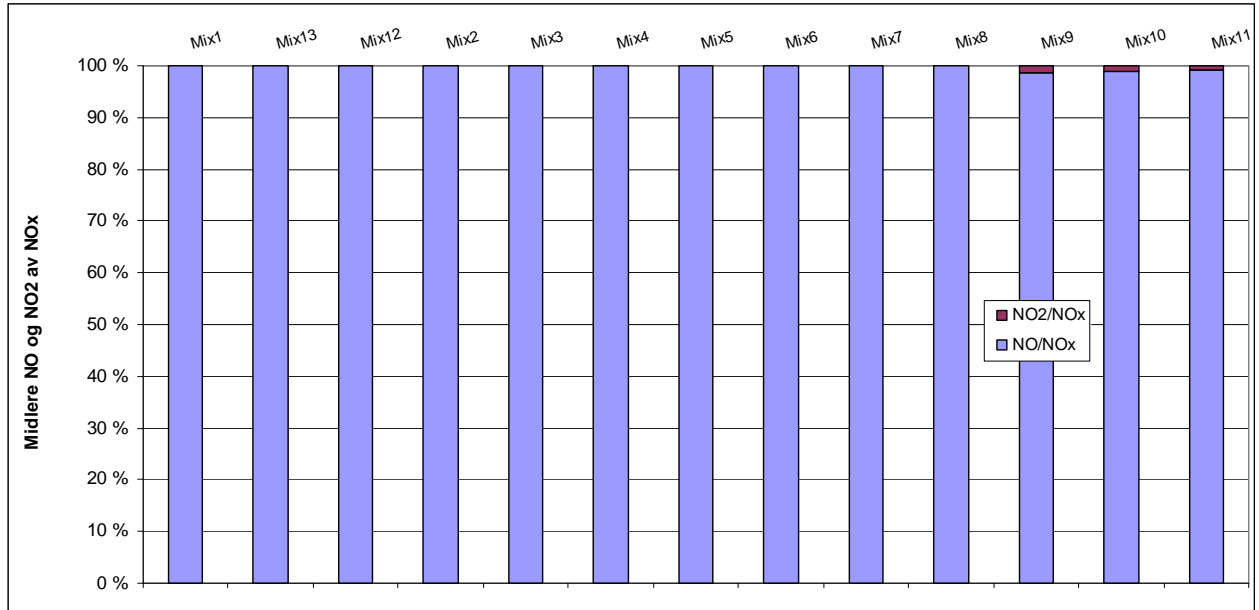
Figur 7 Utslipp av NO_x som funksjon av nitrogeninnhold i brenselet

Figur 8 viser maksimums-, middel-, og minimumsverdiene for nitrogenkonverteringen ved 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C. Her vises det også tydelig at temperaturavhengigheten er minimal (merkes kun ved den laveste temperaturen) og mest nitrogenkonvertering får en ved lave brenselnitrogen innhold.



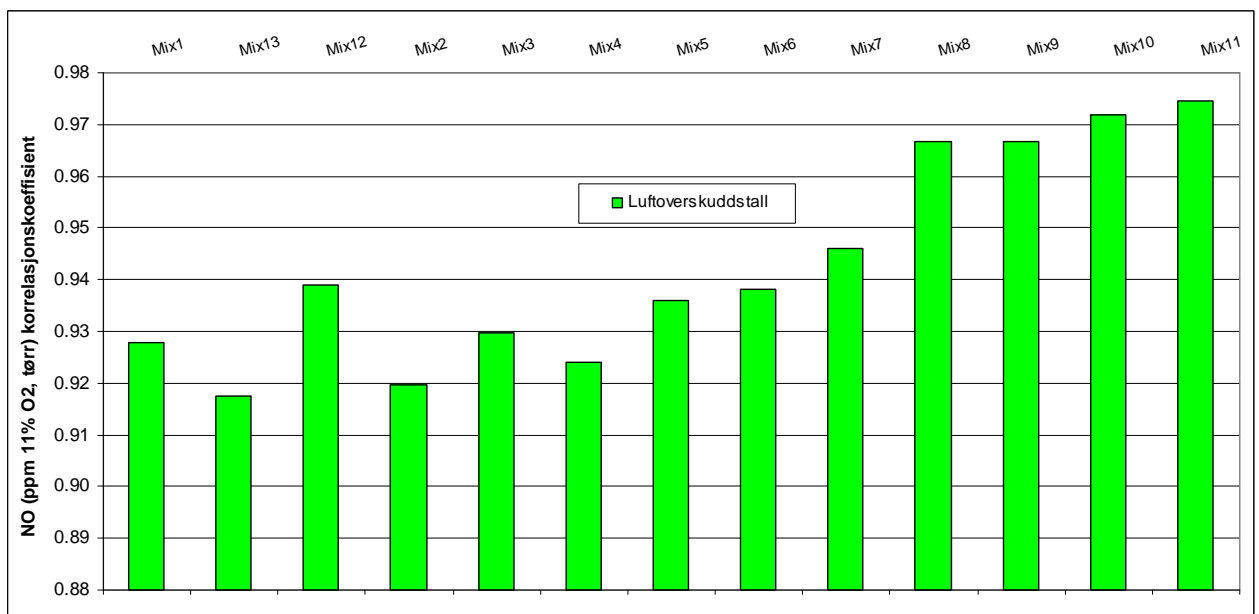
Figur 8 Brenselnitrogen konvertering til NO_x for 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C

Figur 9 viser nitrogenkonvertering til NO₂ og NO (NO_x = NO + NO₂). Figuren viser tydelig at mesteparten av NO_x består av NO, og NO₂ er her tilstede kun i et par prosent for brensler med høyt nitrogeninnhold, dvs. miks 9, 10 og 11.



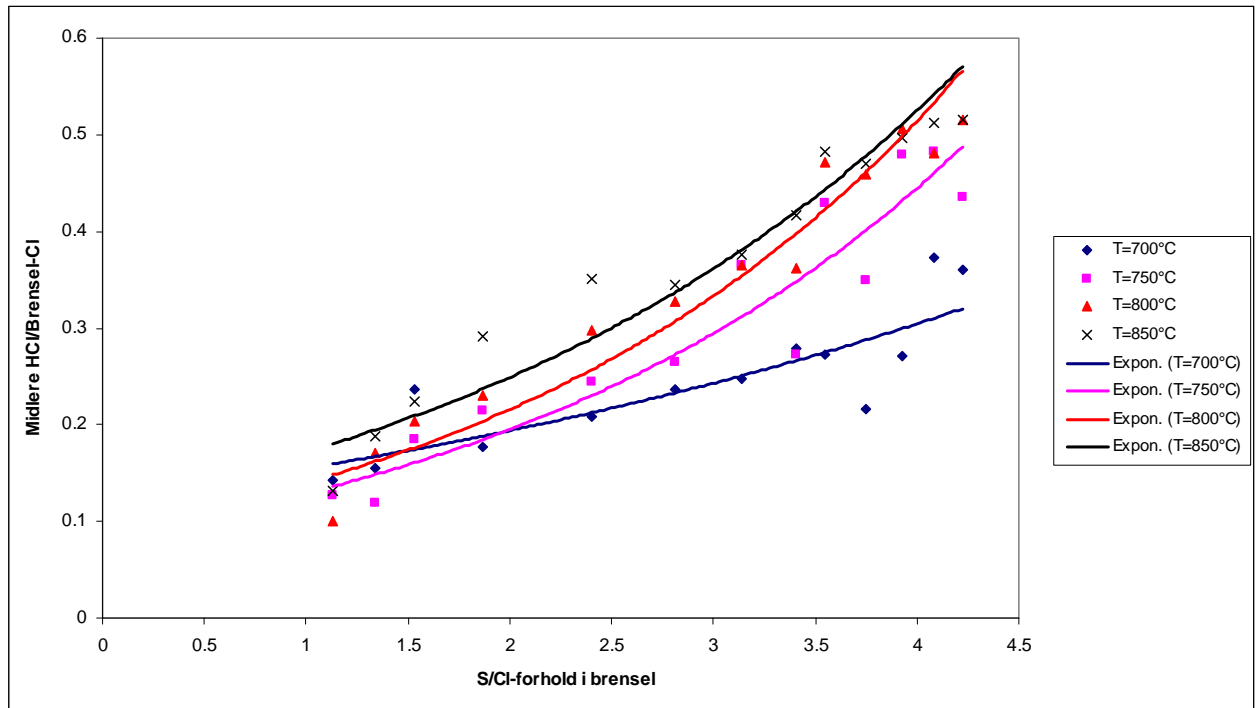
Figur 9 Forholdet mellom NO og NO₂

Figur 10 viser korrelasjonen (funksjonen correl i MS Excel) mellom luftoverskuddstall og NO utslipp, figuren viser at trenden er klar, korrelasjonen er i alle tilfeller over 0,90. For brensel med høyt nitrogeninnhold er korrelasjonen enda bedre, over 0,95.



Figur 10 Korrelasjon mellom NO utslipp og luftoverskuddstall

Figur 11 viser brensel-Cl konvertering til HCl som funksjon av S/Cl forhold (mol forhold) i brenselet.

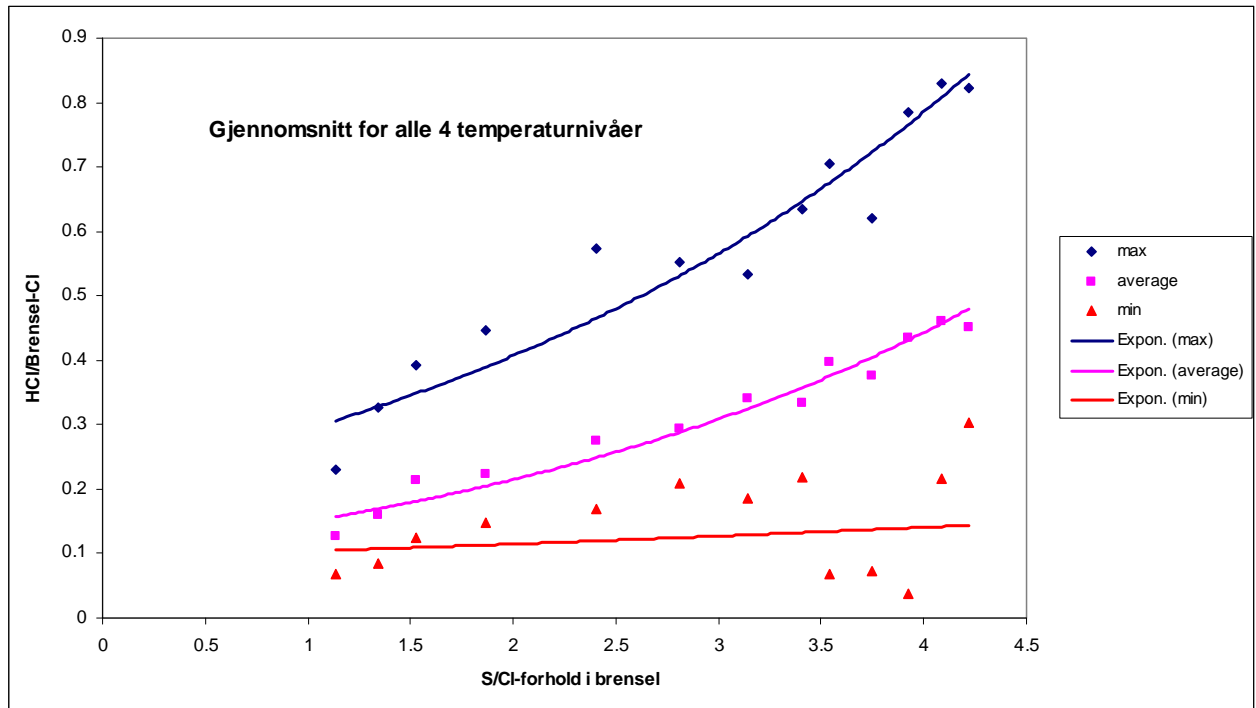


Figur 11 Brensel-Cl konvertering til HCl som funksjon av S/Cl forhold i brenselet

Figur 11 viser at mer av brenselets klorinnhold konverteres til HCl ved økende S/Cl forhold i brenselet. Dette er i samsvar med litteraturen. Miltner m fl.⁸ hevder at denne trenden snur ved S/Cl=4 men dette ses ikke her. Figuren viser betydelig temperaturavhengighet også, særlig ved lave temperaturer.

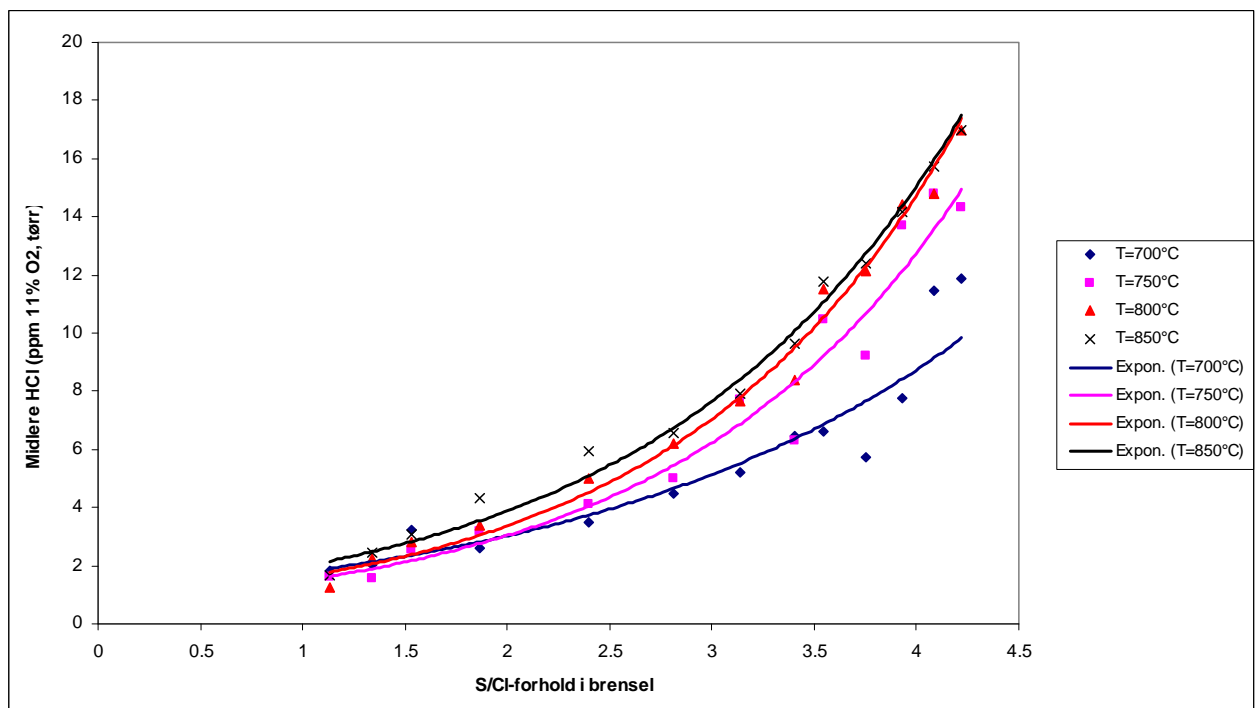
Figur 12 viser den samme korrelasjonen for maksimums-, middel- og minimumsverdier midlet for de fire temperaturnivåene. Den samme trenden vises også her, hvor midlingen omfatter de fire temperaturnivåene også. Trendene vises tydelig bortsett fra for minimumsverdiene, hvor de lave verdiene ved lave temperaturer vil være mer beheftet med måleusikkerhet. Avviket mellom de enkelte punktene og trendkurven er størst ved minimumsverdiene.

⁸ A. Miltner, G. Beckman, A. Friedl, Preventing the chlorine-induced high temperature corrosion in power boilers without loss of electrical efficiency in steam cycles, *Applied Thermal Engineering* 26 (2006) 2005-2011
16X807 TR A6766

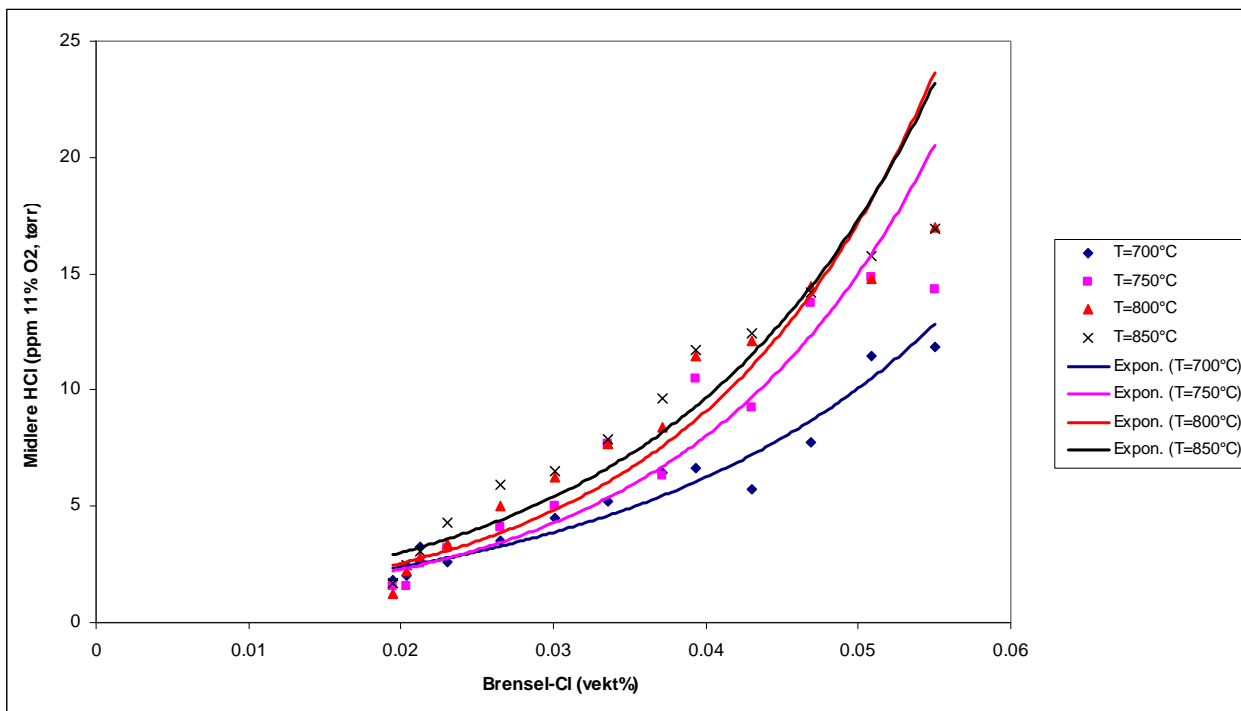


Figur 12 Brensel-Cl konvertering til HCl som funksjon av S/Cl-forhold i brenselet; maksimums-, middel- og minimumsverdier

Figur 13 viser utslipp av HCl for de fire temperaturnivåene som funksjon av S/Cl forhold (mol forhold) i brenselet mens Figur 14 viser utslippet som funksjon av klorinnhold i brenselet. Figurene viser at HCl utslippet øker konsistent med økende klorinnhold i brenselet.

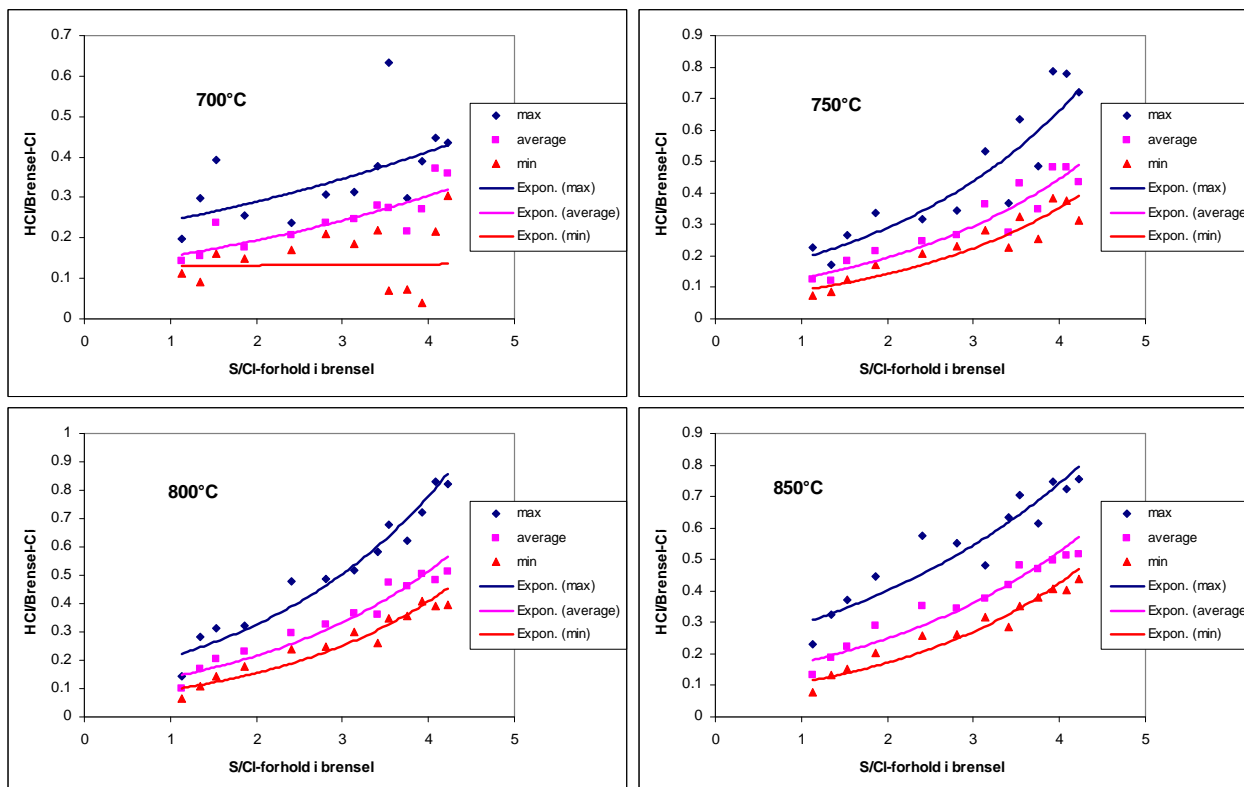


Figur 13 Utslipp av HCl som funksjon av S/Cl forhold i brenselet



Figur 14 Utslipp av HCl som funksjon av klorinnhold brenselet

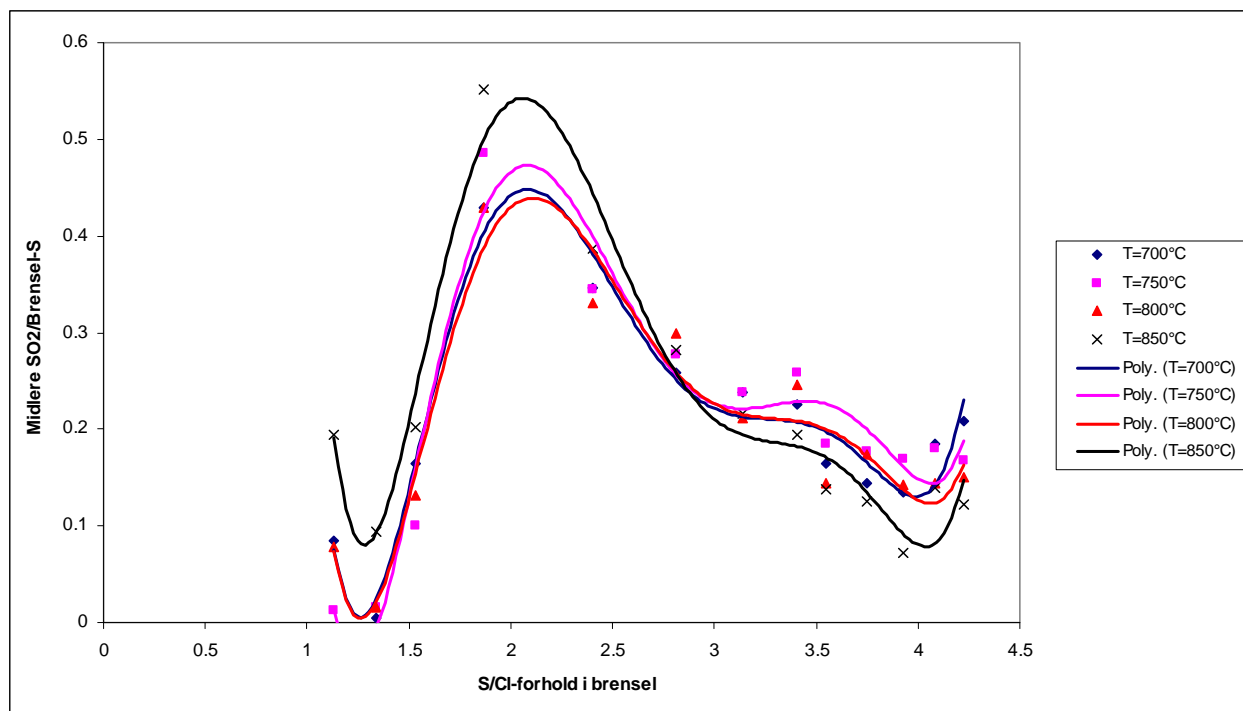
Figur 15 viser avhengigheten mellom HCl/brensel-Cl og S/Cl forhold i brenselet for 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C.



Figur 15 Brensel-Cl konvertering til HCl som funksjon av S/Cl forhold i brenselet for 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C

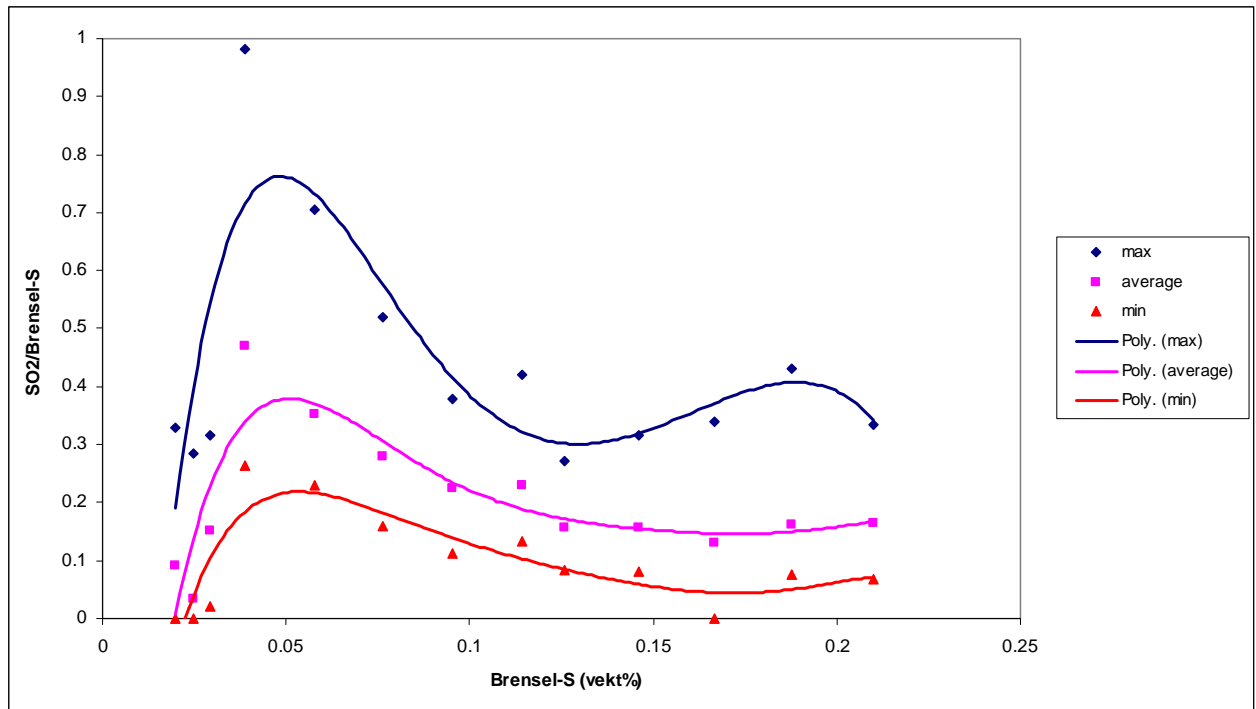
Her vises også at konverteringen av klor til HCl er temperaturavhengig, men denne temperaturavhengigheten avtar med økende temperatur.

Figur 16 viser brensel-S konvertering til SO_2 som funksjon av S/Cl forhold (mol forhold) i brenselet.



Figur 16 Brensel-S konvertering til SO_2

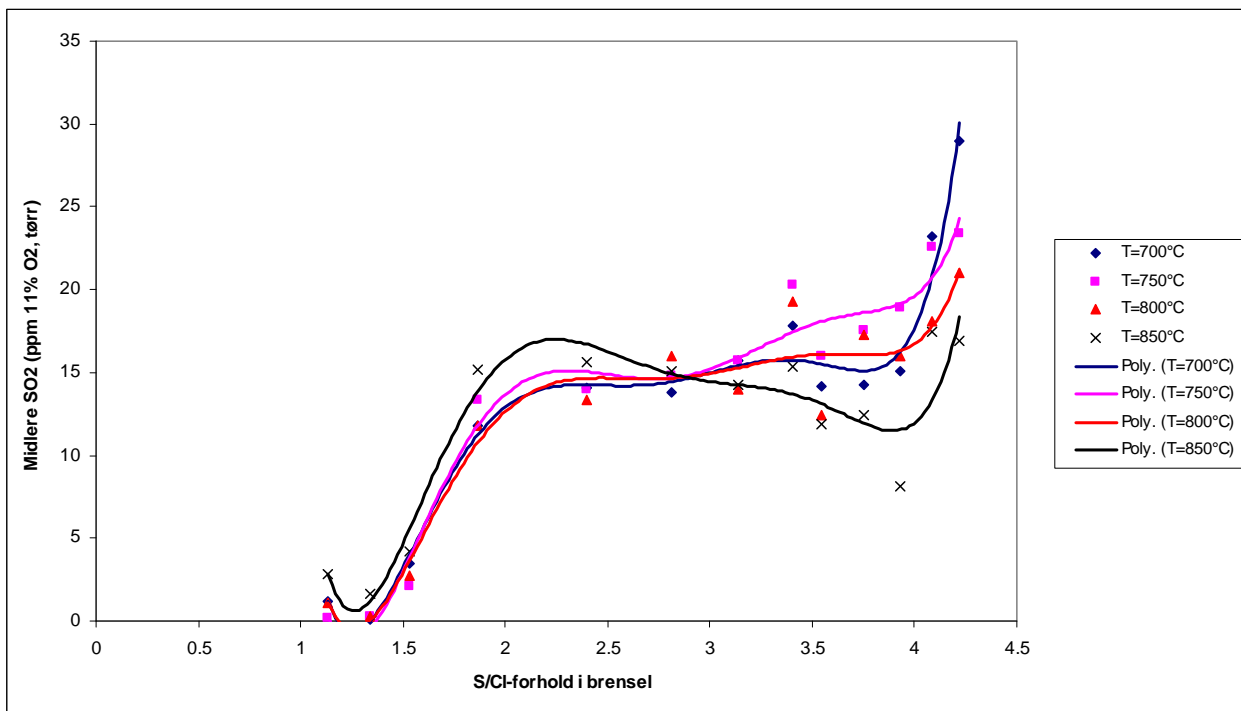
Trenden som vises på figuren er ikke en enkel trend. Konvertering av svovel når et maksimum hvis S/Cl er 1,5-2. Denne konverteringen er avhengig av mange forhold, og videre undersøkelser trengs for å avklare disse. Trenden er det konsekvent for alle temperaturer, og temperaturavhengigheten er liten.



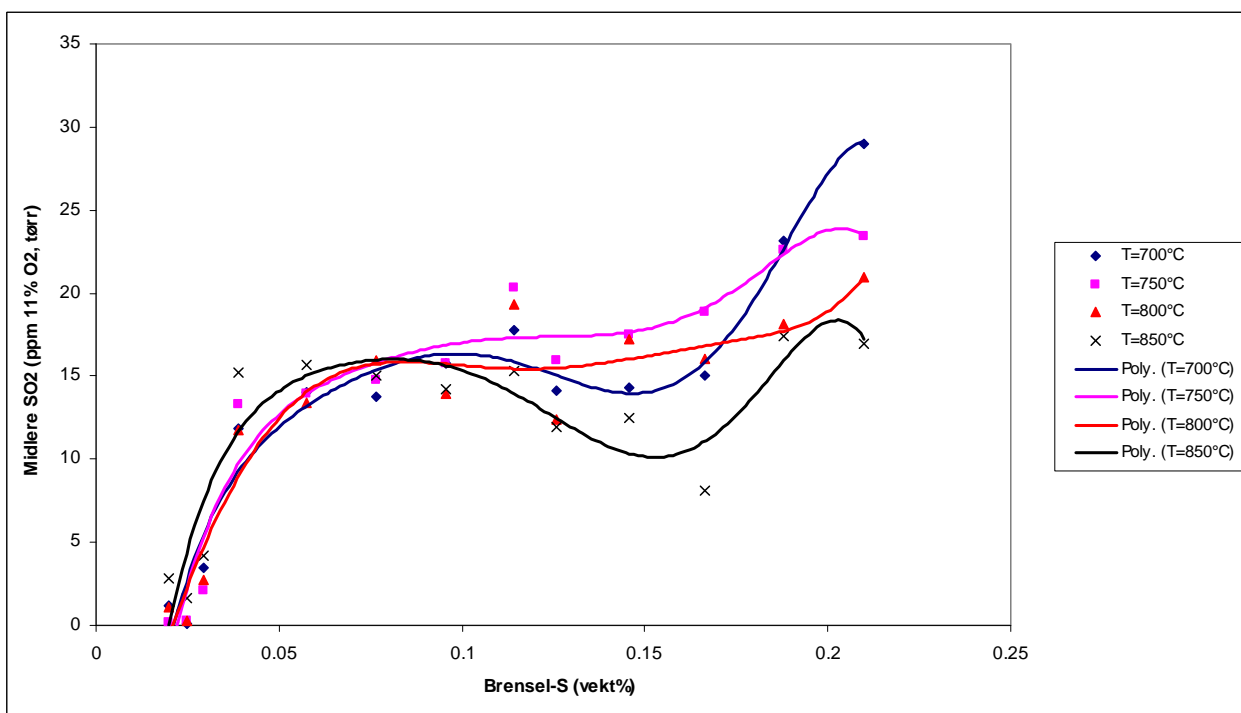
Figur 17 Brensel-S konvertering til SO₂; maksimums-, middel- og minimumsverdier

Figur 17 viser samme trend som Figur 16. Forskjellen mellom minimums- og maksimumsverdier er forholdsvis stor, spesielt rundt maksimumsområdet.

Figur 18 viser utslipp av SO₂ for de fire temperaturnivåene som funksjon av S/Cl forhold (mol forhold) i brenselet mens Figur 19 viser utslippet som funksjon av svovelinnhold i brenselet. Figurene viser at SO₂ utslippet ikke øker konsistent med økende svovelinnhold i brenselet.

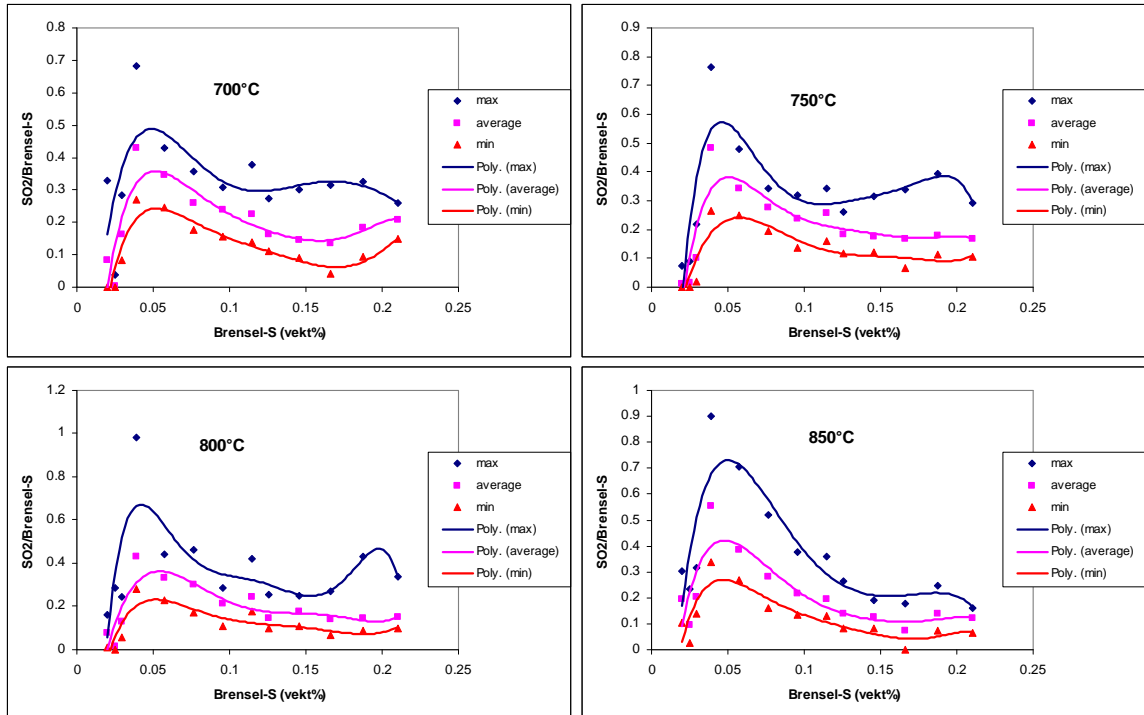


Figur 18 Utslipp av SO₂ som funksjon av S/Cl forhold i brenselet



Figur 19 Utslipp av SO₂ som funksjon svovelinnhold i brenselet

Figur 20 viser avhengigheten mellom SO₂/brensel-S og S/Cl forhold i brenselet for 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C.



Figur 20 Brensel-S konvertering til SO₂ for 700 °C, 750 °C, 800 °C og 850 °C

Figur 20 viser at temperaturen har liten påvirkning, den har mest påvirkning på maksimumsverdiene, da de er mindre ved lavere temperatur.

4 KONKLUSJONER

To brenslere ble blandet sammen i forskjellige forhold i disse initielle forsøkene. NO_x, HCl og SO₂ utslipp er presentert i forhold til brenselets nitrogen, klor og svovel innhold. NO_x utslippet viser tydelig avhengighet av luftoverskuddstall men ubetydelig avhengighet av temperatur i det valgte temperaturområdet. Jo mindre nitrogen brenselet inneholder, desto mer av nitrogenet konverteres til NO_x. Brenselklor til HCl konvertering derimot øker ved økende S/Cl innhold i brenselet. Temperaturavhengigheten er betydelig og særlig ved lave temperaturer. Konvertering av brenselets svovel når et maksimum mellom S/Cl 1,5-2. Svovelkonverteringen viser liten temperaturavhengighet, og kan kun merkes i noen grad ved de laveste temperaturene. Videre eksperimentelle studier hvor også aske- og partikkel analyse er inkludert er nødvendig for å kunne analysere og forklare klor og svovel effektene i detalj.

SINTEF Energiforskning AS
Adresse: 7465 Trondheim
Telefon: 73 59 72 00

SINTEF Energy Research
Address: NO 7465 Trondheim
Phone: + 47 73 59 72 00