



Miljø- og
Fødevareministeriet
Miljøstyrelsen

Reduktioner af luftforurening fra biomassefyrede energianlæg

Miljøprojekt nr. 1889

Oktober 2016

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:
Catcon A/S

ISBN: 978-87-93529-26-7

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

FORORD	4
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	5
SUMMARY AND CONCLUSIONS	8
1 PROJEKTINDHOLD	11
1.1 FORUNDERSØGELSE	11
1.2 DESIGN	11
1.3 OPSÆTNING OG AFPRØVNING	11
1.4 TEST	12
1.5 ANALYSE AF TEST OG ERFARINGER	12
1.6 PERSPEKTIVERING	12
2 TEKNOLOGIBESKRIVELSE	13
3 PROJEKTGENNEMFØRELSE	15
3.1 FORUNDERSØGELSEN	15
3.2 DESIGN	16
3.2.1 <i>Reagentvalg</i>	16
3.2.2 <i>Doseringssystemet</i>	17
3.2.3 <i>Inddysningslans</i>	19
3.2.4 <i>Urealagringsystemet</i>	20
3.3 OPSÆTNING OG AFPRØVNING	20
3.4 TEST	20
3.4.1 <i>Vejledende test</i>	20
3.4.2 <i>Akkrediteret test</i>	22
3.5 ANALYSEFASEN	23
3.5.1 <i>NO_x-reduktion med SNCR i fliskedlen</i>	23
3.5.2 <i>Rentabilitet</i>	24
3.6 PERSPEKTIVERING	24
LITTERATURLISTE	26

Bilag A: Forundersøgelse
Bilag B: Vejledende tests
Bilag C: Akkrediteret test
Bilag D: Rentabilitet

Forord

Denne rapport er en beskrivelse af projektet ”Reduktion af luftforureningen fra biomassefyrede energianlæg.”

Formålet med projektet er funktions- og konstruktionsmæssigt at udvikle et driftssikkert og effektivt standardanlæg til reduktion af kvælstofoxider (NO_x) vha. SNCR-teknologien baseret på standard komponenter.

Rapporten indeholder først en beskrivelse af denne teknologi, siden en beskrivelse af hovedkomponenterne i et sådan system og endelig en gennemgang af de udførte test.

Projektet er udført under Miljøstyrelsens ”Tilskudsordning til miljøeffektiv teknologi” med støtte fra puljen og egenfinansiering.
MST journal nr. MST 141-00104.

Pilotanlægget er opført på:

Galten Varmeværk,
Skolebakken 29,
8464 Galten

Projektets organisation består af:

Catcon A/S
- Allan Jakobsen (Projektleder)
- Jesper Traumer (Konstruktion & dokumentation)

Industrivarmer A/S
- Gert Jensen (El og automatik)

Galten Varmeværk
Finn G. Sørensen, Varmemester

Sammenfatning og konklusioner

Baggrund og formål

Grænseværdien for NO_x-udledning ved biomassefyrede kedelanlæg er på maks. 300 mg/Nm³ tør røggas ved 10 % O₂ gældende for anlæg på 5-50 MW.

Vi erfarer, at flere anlæg i dag har problemer med at overholde denne grænseværdi. Dertil kommer at EU's regler for emissioner fra store fyringsanlæg (IE-direktivet) – herunder de biomassefyrede – forventes at blive strammet med virkning fra 2016, og der er behov for teknologi, der kan bidrage til en effektiv implementering af disse regler.

Det samlede biomasseforbrug i Danmark udgør omkring 106 PJ hvoraf ca. 14 PJ er flis og ca. 17 PJ i halm [2]. Hvis det er muligt at reducere NO_x-udledningen med ca. 50 % (med udgangspunkt i 300 mg/Nm³) vil det samlet give en væsentlig miljøforbedring.

Afbrænding af biobrændsler samt udviklingen af bio-olier og forgasningsanlæg er i kraftig vækst, hvilket betyder, at der i fremtiden vil være et højt reduktionspotentiale.

Disse incitamenter gør det hensigtsmæssigt at udvikle NO_x-reducerende anlæg til biomassefyrede kedelanlæg.

Formålet med projektet er at udvikle et NO_x-reduceringsanlæg baseret på teknologien SNCR (Selective Non Catalytic Reduction); en kendt teknologi på konventionelle anlæg. Det primære er at udvikle et billigt standardanlæg med anvendelse af standardiserede komponenter. Hvis dette er muligt, vil det give et økonomisk incitament for anlægsejerne til at reducere NO_x-udledningen.

Undersøgelsen

Undersøgelsen går ud på at undersøge om det er muligt at anvende et standard SNCR-anlæg på en biomassefyret kedel for at reducere NO_x udledningen. Yderligere undersøges det om det er muligt at reducere anlægsomkostningerne så meget at det er rentabelt at investere i et SNCR-anlæg i relation til NO_x udledningsafgifterne.

Projektet er udført af Catcon A/S, i samarbejde med Industrivarmer A/S, med opbygning af et pilotanlæg opført på en 6 MW flisfyret kedel på Galten Varmeværk. Et komplet SNCR-anlæg blev opstillet på varmeværket med henblik på at udføre målinger af NO_x emissionerne.

Hovedkonklusioner

I løbet af projektet er der opnået en række resultater med følgende hovedkonklusioner:

- Det er muligt at opbygge et prisbilligt SNCR anlæg baseret på standardkomponenter.
- Røggassen fra et biomassefyret kedelanlæg kan renses for NOx med op til 80 %.
- Af bla. håndteringsmæssige årsager er urea valgt som den mest optimale reagent
- Det er samfundsøkonomisk en god ide at reducere NOx emissionen fra biomassefyrede kedelanlæg, da udgiften til at sænke NOx emissionen ligger under udgiften til at behandle de menneskelige skadevirkninger NOx har.
- Der mangler incitament (en gulerod) til anlægs ejerne hvis de skal investere i anlæg til reduktion af emissionerne.

Projektresultater

Emissionsgrænseværdier og målinger efter ureainddysning

Emissionsmålingerne, jvf. Tabel 1, viser at det selv ved meget fugtig flis er muligt at reducere NOx emissionen til værdier der ligger ca. 30 % under de gældende grænseværdier for biomassefyrede kedelanlæg.

Tabel 1 Emissions grænseværdier samt målinger efter rensning

	NOx
	mg/Nm ³ , ref. 10 % O ₂ , tør røggas
Grænseværdi for kedelanlæg der anvender biomasse som brændsel	300*
Forundersøgelsen 21. september 2009	50-60
Akkrediteret måling udført den 10. marts 2010	193**

*Emissionsgrænseværdier for biomassefyrede kedelanlæg på 5-50 MW **Gennemsnit for periodemiddelværdier fra måling 2, 3 og 4.

Rå emissioner

Tabel 2 viser rå emissioner.

Tabel 2 Emissions målinger

	NOx	Fugtindhold i flis
	mg/Nm ³ , ref. 10 % O ₂ , tør røggas	%
Forundersøgelsen 21. september 2009	230-270*	ca. 32
Akkrediteret måling udført den 10. marts 2010	232,5**	ca. 45

*ved 75-90 % last

**Gennemsnit for periodemiddelværdier fra måling 1 og 5.

Som det fremgår, er der store udsving på NOx emissionen i de to måleperioder. Forskellen mellem data fra forundersøgelsen og den akkrediterede måling på hhv. rensede og rå emissioner skyldes fugtindholdet i den indfyrede flis.

Rentabilitet.

Udgiften til at fjerne NOx er meget følsom overfor mængden af inddyset urea og driftstimerne per år grundet investeringsudgifterne.

Beregningerne viser, at der for den akkrediterede måling med høj fugtighed i den indfyrede flis, og dermed en relativ beskedne NOx reduktion på 52 mg/Nm³ vil være en udgift til NOx reduktion på 244 kr./ kg med en driftstid på 80 %.

Den tilsvarende udgift ved en reduktion på 195 mg/Nm³ i forundersøgelsen er på 58 kr./ kg

Beregninger er tilnærmet værdier og forbundet med en hvis usikkerhed.

Da DGC rapporten [3] konkluderer at skadevirkninger som følge af NOx emissioner beløber sig til 150-180 kr./kg emitteret er der dog ingen tvivl om at det samfunds økonomisk er interessant at reducere de udledte NOx emissioner.

Under projektperioden var NOx afgiften 5,1 kr./ kg NOx.

Afgiften er i mellemtiden hævet til 25 kr./ kg NOx.

Summary and conclusions

Background and purpose

The emission limit value for NO_x discharges from biomass-fired boiler plants is max. 300 mg/Nm³ dry flue gas at 10 % O₂ applicable for plants of 5-50 MW.

We are seeing that a number of plants today are having problems complying with this boundary value. In addition, the EU's rules for emissions from larger combustion plants (the IE-Directive) – including those that are biomass-fired – are expected to be tightened with effect from 2016, and there is a need for technology that is able to contribute to the effective implementation of such rules.

Total biomass consumption in Denmark comprises around 106 PJ, of which approx. 14 PJ is chips and approx. 17 PJ is straw [2]. If it is possible to reduce NO_x discharges by approx. 50 % (with a point of departure in 300 mg/Nm³) it would on the overall make for a significant environmental improvement

Combustion of biofuels as well as development of bio-oils and gasification plants are experiencing strong growth, which means that there will be a large potential for reductions in the future.

These incentives make it appropriate to develop NO_x-reducing plants for biomass-fired boiler plants.

The purpose of the project is to develop a NO_x-reducing plant based upon SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction) technology, a known technology for conventional plants. The primary aspect is the development of an inexpensive standard system with the use of standardised components. If this is possible, it would provide a financial incentive to the plant owners to reduce their NO_x discharges.

The study

The study is based upon examining whether it is possible to use a standard SNCR system on a biomass-fired boiler in order to reduce NO_x discharges.

Furthermore, it is examined whether it is possible to reduce the system costs so much that it becomes profitable to invest in an SNCR system in relation to the NO_x discharge fees.

The project was conducted by Catcon A/S, in co-operation with Industrivarmer A/S, with the construction of a pilot system built on a 6 MW chip-fired boiler at Galten Varmeværk.

A complete SNCR system was built at the heating plant for purposes of carrying out measurements of the NO_x emissions.

Main conclusions

During the course of the project, a number of results were obtained, with the following main conclusions:

- It is possible to build an inexpensive SNCR system based upon standard components.
- The flue gas from a biomass-fired boiler plant can be cleaned of up to 80% of its NO_x.
- Due to, among other things, handling-related reasons, urea has been selected as the most optimum reagent
- In terms of the overall economics, it is a good idea to reduce NO_x emissions from biomass-fired boiler plants, since the cost of lowering NO_x emissions is less than the cost of addressing the detrimental effects on humans that NO_x has.
- An incentive is missing (a carrot) for the plant owners in order to have them invest in systems for reducing emissions.

Project results

Emission boundary values and measurements after urea injection

The emission measurements, cf. Table 1, show that even with very damp chips it is possible to reduce NO_x emissions to value that are approx. 30 % below the applicable boundary values for biomass-fired boiler plants.

Table 1 Emission boundary values and measurements after cleaning

	NO _x
	mg/Nm ³ , ref. 10 % O ₂ , dry flue gas
The boundary value for boiler plants that use biomass as fuel	300*
Prestudy 21 September 2009	50-60
Accredited measurement performed on 10 March 2010	193**

* Emission limit values for biomass fired boiler plants on 5-50 MW** Average for period average values from measurements 2, 3 and 4.

Raw emissions

Table 2 shows raw emissions.

Table 2 Emission measurements

	NO _x	Moisture content of chips
	mg/Nm ³ , ref. 10 % O ₂ , dry flue gas	%
Prestudy 21 September 2009	230-270*	approx. 32
Accredited measurement performed on 10 March 2010	232,5**	approx. 45

*at 75-90 % load

**Average for average values from measurements 1 and 5.

As this shows, there are large fluctuations in the NO_x emissions during the two measurement periods.

The difference between data from the prestudy and the accredited measurements for cleaned and raw emissions respectively is due to the moisture content of the fired chips.

Profitability

The cost of removing NO_x is very sensitive to the amount of urea injected and the operating hours per year due to the investment expenses.

The calculations show that for the accredited measurement with a high moisture content for the fired chips, and thereby a relatively modest NO_x reduction of 52 mg/Nm³, there would be a cost for the NO_x reduction of DKK 244 per kg with an operating time of 80 %.

The corresponding cost for a reduction of 195 mg/Nm³ in the prestudy is DKK 58 per kg.

The calculations are approximate values and connected with a certain degree of uncertainty.

Since the DGC report [3] concludes that detrimental effects in consequence of NO_x emissions amount to DKK 150-180 per kg emitted, there is however no doubt that the overall economics are interesting for reducing the discharged NO_x emissions.

During the project period, the NO_x fee was DKK 5.1 per kg NO_x.

The fee has in the intervening time been raised to DKK 25 per kg NO_x.

1 Projektindhold

Følgende delmål er sat op for projektet:

- reducere NO_x-emissionen med 50 %, med udgangspunkt i grænseværdien på 300 til 150 mg/Nm³ tør røggas ved 10 % O₂
- undersøge om urea er den mest hensigtsmæssige reagent
- minimere anlægsprisen bedst mulig
- undersøge om driftsøkonomi og anlægsinvesteringer gør det muligt at drive et SNCR-anlæg rentabelt efter nuværende gældende regler og afgifter

Disse delmål kan klarlægges ved at inddele projektet i følgende faser:

- 1 Forundersøgelse
- 2 Design
- 3 Opsætning og afprøvning
- 4 Test
- 5 Analyse af test og erfaringer,
- 6 Perspektivering

1.1 Forundersøgelse

Inden designfasen undersøges det om det overhovedet kan lade sig gøre at reducere NO_x i en biomasse fyret kedel. Her benytter vi vores eget mobile testanlæg.

1.2 Design

I designfasen skal overvejes, hvilken reagent der vil være den bedste at bruge til NO_x reduktion for dette anlæg, samt kortlægge hvilken styring og instrumentering, der er hensigtsmæssig i relation til drift kontra økonomi. Dette overlapper selvfølgelig med konstruktion i en vis udstrækning, mht. smarte løsninger. Konstruktionsmæssigt er der også en udfordring i de høje temperaturer. Hvordan sprøjter man reagenten ind i fyringsrummet, hvor temperaturen til tider når over 1500 °C?

Desuden ved vi, at NO_x-reduktionen finder sted i et snævert temperaturområde, nemlig mellem 850-1100 °C. Hvordan får vi lavet et system, hvor dette holdes for øje?

1.3 Opsætning og afprøvning

Det er nødvendigt at afprøve anlægget inden det idriftsættes og inden det er muligt for CATCON at lave pålidelige tests. I denne fase er det måske nødvendigt at træde et skridt tilbage i designfasen for at finde den optimale tekniske løsning.

1.4 Test

Under CATCON's test skal følgende punkter vurderes:

- reducerer vi NO_x
- har det betydning for NO_x-reduktionen, hvilken retning reagenten sprøjtes ind - modstrøms eller medstrøms

1.5 Analyse af test og erfaringer

Vi afstemmer om, de forventede teoretiske emissions værdier opnås, samt udføre en rentabilitets beregning baseret på de opnåede resultater.

1.6 Perspektivering

Kan CATCON's erfaringer med SNCR på dette anlæg overføres til andre anlæg generelt?

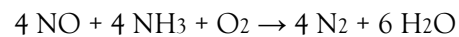
Er det teknisk muligt at reducerer NO_x til 150 mg/Nm³ generelt på lignende biomassefyrede anlæg, hvis man skærpede NO_x-kravene i Danmark.

Har vores erfaring fra dette projekt afledt andre tekniske løsninger som er værd at afprøve.

2 Teknologibeskrivelse

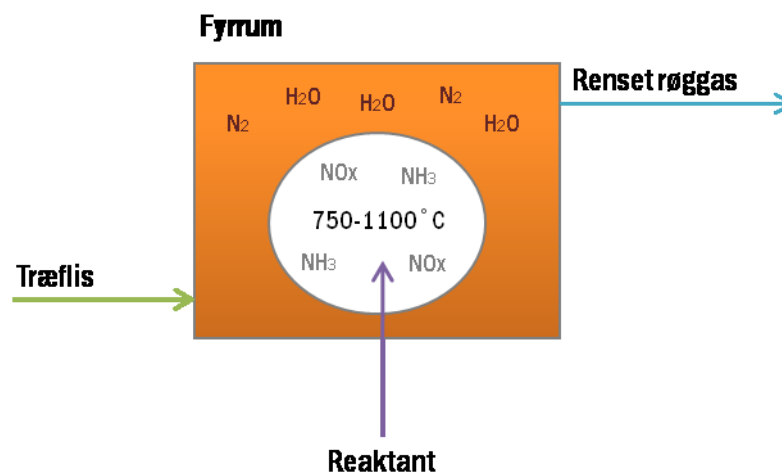
SNCR står for Selective Non Catalytic Reaction, hvilket betyder selektiv reduktion uden brug af katalysator. En selektiv reduktion betyder, at det kun er udvalgte komponenter i røggassen som reduceres.

For at gøre det muligt at reducere NO_x, skal der være ammoniak til stede i røggassen, hvilket kan opnås ved at tilsætte ammoniak eller urea. Grunden til, at det er muligt at bruge urea er, at urea spaltes ved opvarmning til bl.a. ammoniak, NH₃. En meget simplificeret reaktionsproces for NO_x og NH₃ er opstillet herunder.



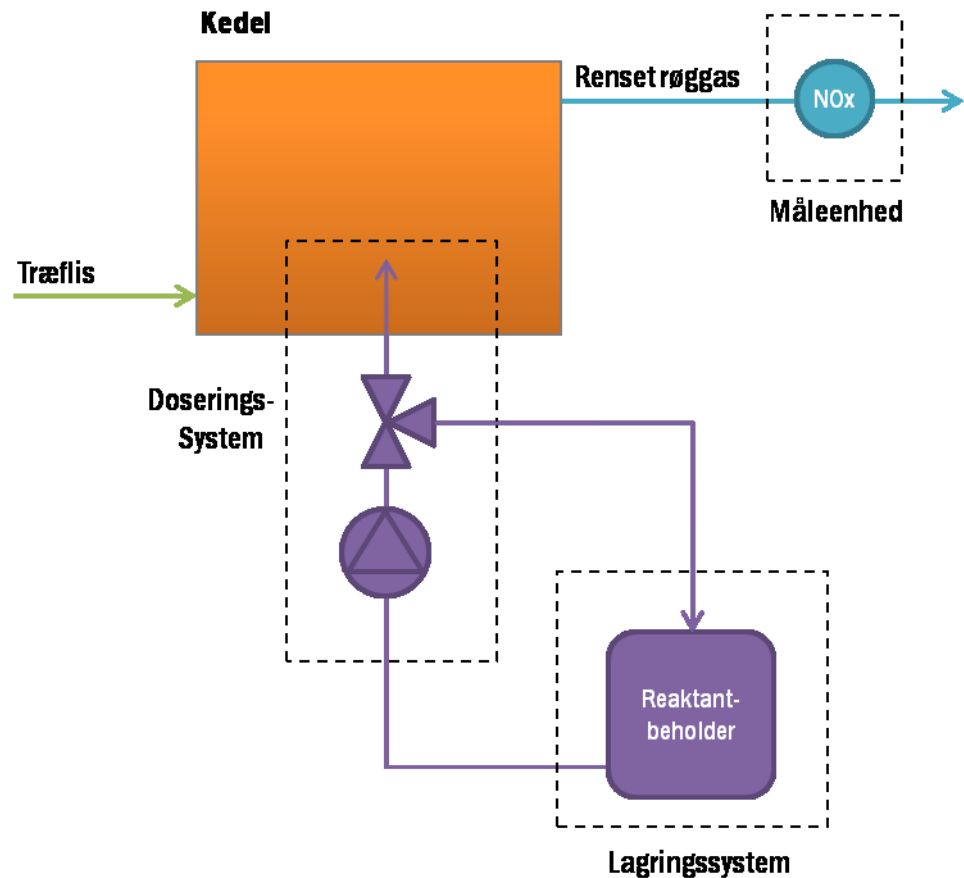
Reaktionen sker kun i en snæver temperaturzone. Forskellig litteratur siger, at zonen ligger mellem 750-1100 °C [1], hvilket også er vores egen erfaring fra eksisterende anlæg. Er temperaturen for lav, sker der ingen NO_x-reduktion, men ligger temperaturen over intervallet, bliver der i stedet dannet NO_x.

Figur 2.1: Principskitse af SNCR-princippet



Et funktionelt SNCR-anlæg skal bruge et reagentlagringssystem, et doseringssystem og en måleenhed. Figuren herunder skitserer groft, hvorledes et sådant system kan bygges op.

Figur 2.2: Principskitse af et SNCR-anlæg



Doseringsystemet består i hovedtræk af en mængdereguleret doseringspumpe og en trevejsventil. Når doseringssystemet står på standby, kører pumpen – klar til dosering, men reagenten returneres til lagringssystemet. I nogle situationer omfatter lagringssystemet en buffertank og pumpe. Det gør sig bl.a. gældende, når lagringsstationen er placeret langt fra doseringssystemet.

Mængden af reagent, der skal benyttes, er afhængig af last og reduceret NO_x, hvilket er de to parametre, doseringspumpen bliver styret efter, og hvilket er årsagen til, at det er nødvendigt at have en måleenhed – NO_x-måler.

3 Projektgennemførelse

I hele beskrivelsen mener vi, når vi henleder til "anlægget", "fliskedlen" mm. anlægget på Galten Varmeværk, hvor pilotprojektet opføres. Projektet er udført på en 6 MW Euro Therm A/S biomassekedel type VE-T / FE 8000, installeret i 2002.

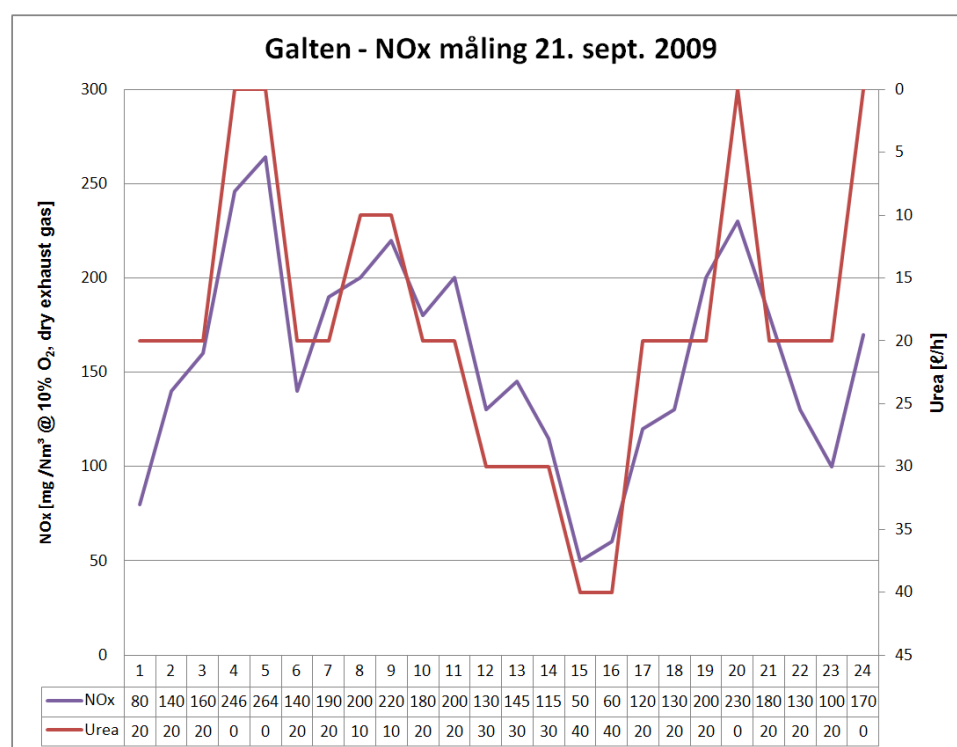
3.1 Forundersøgelsen

Med CATCON's mobile testanlæg har vi haft mulighed for at undersøge, om det er muligt at reducerer NOx fra den flisfyrede kedel. Vores testanlæg benytter ureaopløsning 32,5 % som reagent.

I bilag A ligger måleresultaterne på vores forundersøgelse, udført 21. september 2009.

De udførte målinger er afbildet i nedenstående figur.

Figur 3.1: Grafisk afbildning af måleresultaterne



Ud fra målingen kan vi konkludere, at det er muligt at reducere NOx med SNCR på en flisfyret kedel ved de givne forudsætninger.

Reduktionen ligger på ca. 80 % i forhold til 0 liter urea og 40 liter.

Aflæsninger på anlæggets eksisterende temperaturtransmitter og egne målinger med håndholdt lasertemperaturmåler viste, at temperaturen svinger meget i det område hvor der kan inddyses urea.

Under forundersøgelsen kunne vi også konkludere, at det ikke påvirkede resultatet (NO_x-reduktionen) om dyserne pegede medstrøms eller modstrøms.

Der blev under forundersøgelsen desuden observeret en tydelig sammenhæng mellem last og NO_x. Høj last medfører høj NO_x.

Tabel 3.1: Målinger af rå NO_x.

	Last:	NO _x [mg/Nm ³ @ 10 % O ₂]
Første del af undersøgelsen	100 %	317
Anden del af undersøgelsen	ca. 75 %	264
Tredje del af undersøgelsen	ca. 90 %	272

3.2 Design

Designgrundlaget, så som størrelse, mængder osv. er ikke de interessante parametre i dette projekt, hvilket er årsagen til, at dette ikke gennemgås.

Derimod skal vi overveje, hvilken reagent, der vil være den bedste at bruge til NO_x-reduktion, hvilket vi vil basere på Catcon A/S's egne erfaringer på området, da vi har opført anlæg, hvor både ammoniak og ureaopløsning benyttes som reagent.

Det andet vi også skal fokusere på er valg af fysisk udformning. At finde anvendelige og velkendte komponenter og løsninger, der gør anlægget billigere. Så udfordringen her er at tænke kreativt, men samtidig gennemtænke, beregne og sammenholde med aktuel viden om den nye løsning har sin berettigelse.

3.2.1 Reagentvalg

Der er i grove træk 4 mulige reagenter at vælge i mellem:

- Ureaopløsning (32,5 % eller 40 %)
- Ammoniakvand (25 %)
- Ren ammoniak (gasart, under tryk)
- Ureapulver

Ureaopløsning giver nogle tekniske udfordringer på grund af dens fysiske egenskaber. Ureaopløsningen udkrystalliserer ved 8 °C, hvilket i praksis betyder, at tanke og rørføringer med ureaopløsning skal være opvarmet ca. halvdelen af året, hvis de ikke står i opvarmet rum. Man skal også være opmærksom ved høje temperaturer, for fordampet vandet væk, lukker rørføringer mm. til i ureakrystaller. Ved anvendelse af ureaopløsning er det nødvendigt med længere opholdstid, da urea skal omdannes til ammoniak.

Urea er korrosiv, så almindeligt stål eller PVC kan ikke benyttes. Stålet skal være syrefast rustfrit stål (AISI 316/EN1.4401).

Desuden kan der være risiko for korrosion i kedlen hvis urea kommer i kontakt med kedelvæggen inden den er fordampet.

For at undgå ureakrystaller eller urenheder i at tilstoppe slanger anbefales det at anvende teflon slanger, der pga. meget lav friktion vil modvirke dette.

Udover disse udfordringer er ureaopløsningen nem at håndtere. Ureaopløsning kan leveres med tankbil eller i mindre portioner i IBC-beholder (1 m³ plastbeholder på palle). Urea er ufarligt at omgås og er ikke forbundet med særlige sikkerhedshensyn eller regler som ammoniak er.

Ammoniakvand er ætsende, giftigt at indånde og er giftigt for fauna i vandmiljøer. Derfor er ammoniakvand forbundet med mange regler og godkendelser. Ved brug af ammoniakvand skal man, ligesom for ureaopløsning, være opmærksom på, hvilke materialer, man bruger i anlægget. Syrefast rustfrit stål er det optimale.

Ren ammoniak har samme egenskaber som ammoniakvand. Dog er der flere regler og sikkerhedsforanstaltninger forbundet med ren ammoniak, da det tilligemed er eksplosivt.

Ren ammoniak reagerer hurtigere med røggassen, da der ikke er væske der først skal fordampe inden reaktionen med NO_x begynder.

En sammenligning mellem urea og ammoniak som reagenter er foretaget af Yong Hun Park [1]. Konklusionen her er, at begge er lige egnede, dog nedsættes temperaturområdet, hvori NO_x-reduktionen foregår med ca. 50°C, for urea. Ved brug af urea lader det til, at der sker en øgning af N₂O på 2-3 gange i forhold til brug af ammoniakvand, for hvilken mængden forbliver konstant. Dog lader det til, at der opnås en større NO_x-reduktion ved brug af urea (ca. 5-10 % højere).

Catcon A/S har erfaringer med brug af både ureaopløsning, ammoniakvand og ren ammoniak som reagent, og vores forhold til at foretrække den ene frem for den anden beror på sikkerheden og godkendelser ved håndtering af reagenten. Vores erfaringer viser nemlig at urea er "ligeså god" som ammoniak. Dog kan de tekniske forhold gøre det nødvendigt at anvende ammoniak, f.eks. hvis opholdstiden er kort. Mht. berøringsmaterialer er udfordringen den samme. Der skal dog tages særlige hensyn til omgivelsernes temperatur ved opbevaringen af ureaopløsning.

Vores valg af reagent falder derfor, med baggrund i ovenstående betragtninger, på ureaopløsningen.

3.2.2 Doseringssystemet

Med basis i reagentvalget, 32,5 % ureaopløsning, skal SNCR-anlægget udformes. Når vi i denne del af rapporten omtaler "urea," mener vi ureaopløsning.

Den mest udfordrende del ved SNCR-anlægget - og dyreste er doseringssystemet. Her er udfordringen at finde de mest optimale komponenter ud fra pris, kvalitet og egnethed i forhold til urea.

Konstruktionsmæssigt ligger der en udfordring i at udforme indsprøjtningseenheden - lansen. Der opstår meget høje temperaturer i kedlen i relation til stål.

Doseringssystemet består af en doseringspumpe, et trykluftssystem, et ureasystem og en reguleringsventil. Systemet i sin sammenhæng skal kunne styres og reguleres, hvilket selvfølgelig kræver instrumentering. Her har vi skelnet imellem, hvad, der er "rart at have" og hvad, der er nødvendigt, så instrumenteringen er skåret ned til et absolut minimum.

3.2.2.1 Doseringspumpen

Doseringspumpen er koblet til ureasystemet og sørger for at urea bliver doseret ind i fyrrummet i den rette mængde. Pumpen er digital mængdereguleret for at gøre det muligt at regulere op og ned på urea mængden.

3.2.2.2 Trykluftsystemet

Til dette system bruger vi nylonslanger og plastikfittings. Dette er gængse, standardiserede og prisbillige komponenter og er anvendeligt i vores doseringsenhed.

Mængden af luft skal kunne indstilles, hvilket gøres manuelt med en flowindikator med nåleventil.

For at kunne detektere blokeringer eller svigtende luftmængde, er det nødvendigt at montere en tryktransmitter. Det er yderst essentielt, at dyserne bliver forsynet med luft for at kunne fungerer. Kommer der ikke luft til lanser vil ureaen krystalliserer og lukke dyserne til. Der er endvidere placeret et manometer på trykluftslinjen i doseringsenheden for visuelt overvågning.

3.2.2.3 Ureasystemet

Ureasystemet skal udføres i teflonslanger og specielle plastikfittings. Der er mange typer plastik, der er egnede, men der er ligeledes mange specialfittings, så det er meget forskelligt, hvilket plastmateriale, der er brugt hvor. Generelt kan vi sige, at PVDF og PP, som fås for de fleste fittings, er egnede.

For at kunne detektere fejl i ureasystemet, er det nødvendigt at montere en tryktransmitter. Opstår der fejl, skal ureadosering stoppe, men det er ligeledes vigtigt, at vi får rensed systemet med luft (vha. reguleringsventilen) for, at ureaen ikke skal krystallisere og tilstoppe systemet. Det er yderst nødvendigt, at fejl bliver taget i tide. I doseringsenheden er der også placeret et manometer på urealinjen for visuelt overvågning.

3.2.2.4 Reguleringsventilen

For at kunne styre tilstandene "bypass, urea," "dosering, urea," "rensning, luft" og "luft" uafhængigt og i sammenhæng, har vi opbygget en speciel reguleringsventil, bestående af magnetventiler. Reguleringsventilen er enkelt udformet, men uhyre essentiel.

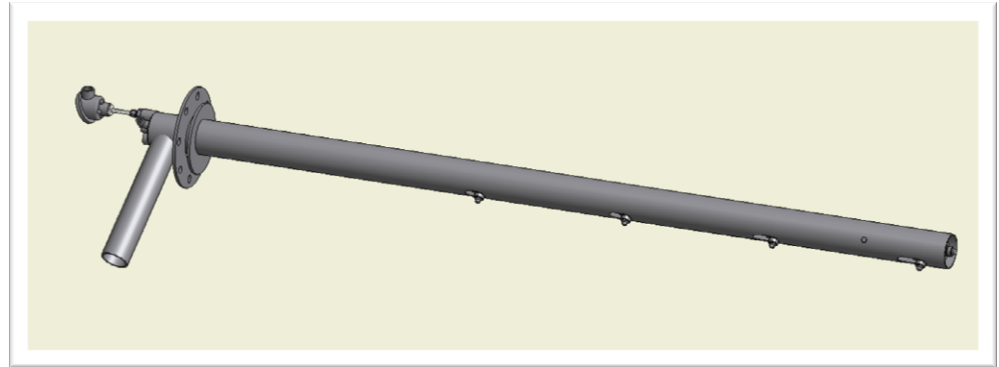
De medieberørte dele skal selvfølgelig være resistente over for urea.

3.2.3 Inddysningslanse

3.2.3.1 Lanseudformning

Vores udgangspunkt er, at det er vigtigt, at ureaen bliver jævnt fordelt på tværs af fyrrummet. Derfor har vi valgt at benytte en lanse, som skydes ind i siden på kedlen. Lansen monteres med 5 stk. dyser, så ureaen fordeles jævnt på tværs af fyrrummet.

Figur 3.2: Injection lance.



3.2.3.2 Materialevalg for høje temperaturer

Vi har undersøgt om det er muligt at fremstille lansen af højtemperaturstål. Typerne og deres egenskaber er forskellige, men generelt kan siges, at de kan holde til temperaturer mellem 900-1200 °C, de tåler ikke store temperaturudsving, de har lang leveringstid og er temmelig bekostelige.

Da fyrrummet i teorien kan opnå temperaturer helt op til omkring 2000 °C, bliver det nødvendigt at køle lansen selv for højtemperaturstål.

Vurderingen skal derfor gå på, om der opnås en længere levetid på en lanse af højtemperaturstål. Siden højtemperaturmaterialet ikke kan tåle store temperaturudsving, hvilket der vil være for biomassefyrede kedler generelt, pga. varierende drift og ujævn temperaturfordeling over risten, vurderer vi, at en højtemperaturlanse ikke vil have længere levetid end en lanse af syrefast rustfrit stål med køleluft. Test viser at det er muligt, vha. køleluft, at holde en konstant temperatur på lansen på ca. 500 °C.

Derfor bliver konklusionen at udføre lansen i konventionelt syrefast rustfrit stål (AISI 316/EN1.4401).

3.2.3.3 Dyser

Dråbestørrelsen har stor betydning for, hvor hurtigt og hvor effektivt ureaen omdannes til ammoniakdampe. Derfor er der valgt en dyse med luftforstøvning, da der med denne løsning kan opnås meget små dråbestørrelser ved forholdsvis lavt væsketryk.

Pga. luftforstøvningen skal der bruge instrumentluft til denne forstøvning. Desuden har vi den opfattelse, at det er vigtigt med fuld ureadækningen på tværs af fyrrummet.

Dyserne er udført i syrefast rustfrit stål for at undgå korrosion.

Det er ikke muligt at gå på kompromis med kvaliteten af dyserne for at få en billigere variant.

3.2.3.4 Køling

Som nævnt i afsnit 3.2.3.2 er det nødvendigt at køle lansen. En yderligere, men desværre en nødvendig fordyrelse af SNCR-anlægget. Lansen udføres med en kølekappe, som kobles til en blæser. Blæseren er reguleret af temperaturtransmitter indbygget i kølekappen. Stålets temperatur holdes herved under 500°C.

3.2.4 Urealagringsystemet

Til pilotprojektet skal der bruges et mindre urealagringsystem, bestående af standardiserede produkter, en IBC-beholder (1 m³ plasttank på palle) og en CDS-kobling. CDS-koblingen benyttes, da man kan koble den af tanken uden at skrue koblingsmuffen af tanken og uden at spilde urea.

3.3 Opsætning og afprøvning

Under opsætning og afprøvning har vi konstateret, at der i forhold til lansen skulle foretages nogle justeringer. Der var ikke i et stor nok omfang taget højde for temperaturudvidelserne.

Desuden har vi en udfordring i at vurdere, hvornår ureaindsprøjtning skal finde sted, da de kontinuierlige temperaturmålinger fluktuerer for meget til at have en stabil dosering, når temperaturen ligger i grænseområdet. Der skal kun doseres, når temperaturen ligger mellem 850-1100°C. Ligger temperaturen i kedlen på en af grænserne, får vi en meget ujævn dosering. Derfor bliver vi nødt til at lave et vægtet gennemsnit for temperaturen baseret på værdien fra før og værdien nu.

3.4 Test

Vi har delt målingerne op i vejledende test og akkrediterede tests, udført af 3. part. En vejledende test betyder, at vi har benyttet vores egne metoder med kalibreret måleudstyr.

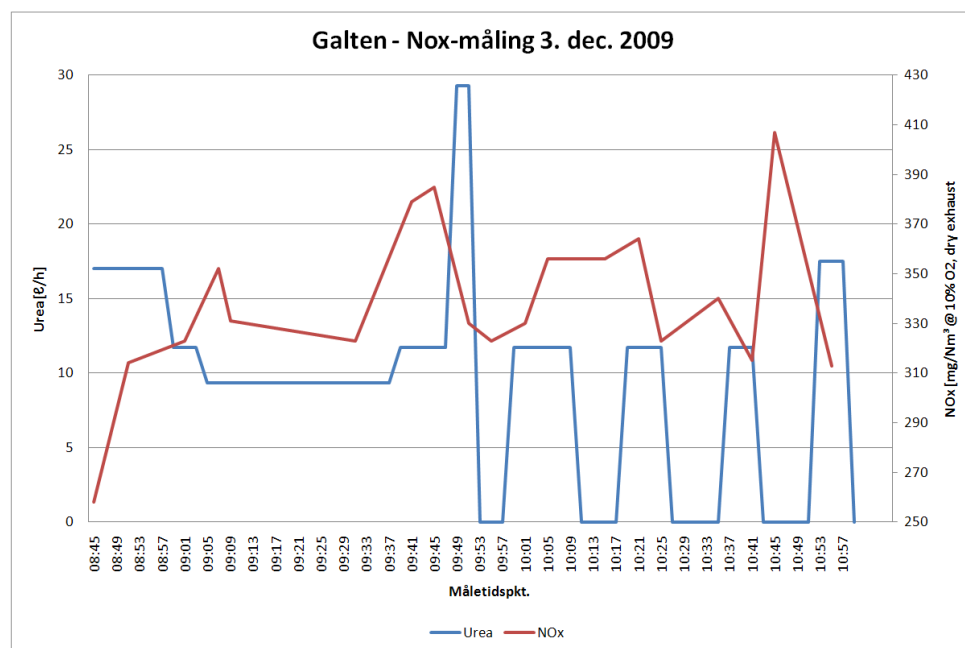
3.4.1 Vejledende test

Af bilag B ses Catcon's vejledende test.

Målingerne er foretaget 3. december 2009.

Det indfyrede træflis havde et vandindhold på ca. 40 %, dvs. en forholdsvis våd flis. Resultatet af målingerne er vist i nedenstående figur.

Figur 3.3: NO_x-målinger efter reduktion sammenholdt med tilsat ureamængde.

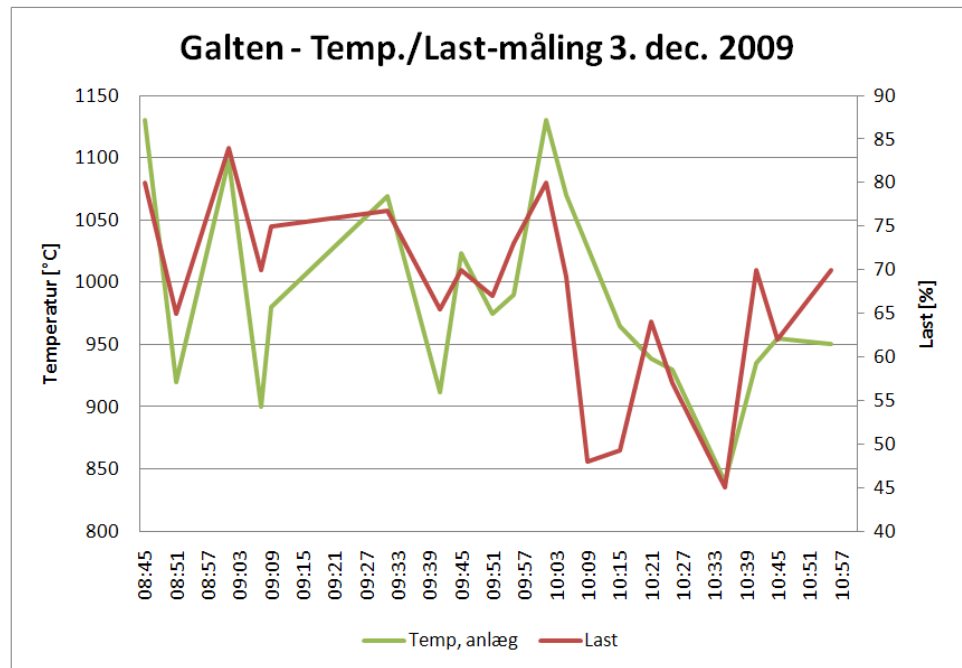


På figuren ses, at sammenhængen mellem reduceret NOx og indsprøjet mængde urea er meget usikker.

Testen viste at det ikke var muligt at reducere NOx-emissionen pga. for lav temperatur i inddysningszonen. Dette, mener vi, skyldes det høje fugtindhold i træflisen, da dette er den eneste forskel fra vores forundersøgelse. Dog viser analyser af måleresultaterne en tendens til forhøjet NOx-reduktion ved temperaturer over 850 °C.

Til styring af inddysningen anvendes anlæggets lastsignal, men da det er temperaturen der er afgørende for NOx reduktionen, undersøges det om der er sammenhæng mellem last og temperatur. Se figur 3.4. Det ses her at temperaturen følger lastsignalet temmelig godt.

Figur 3.4: Temperatur sammenholdt med anlæggets lastsignal.



3.4.2 Akkrediteret test

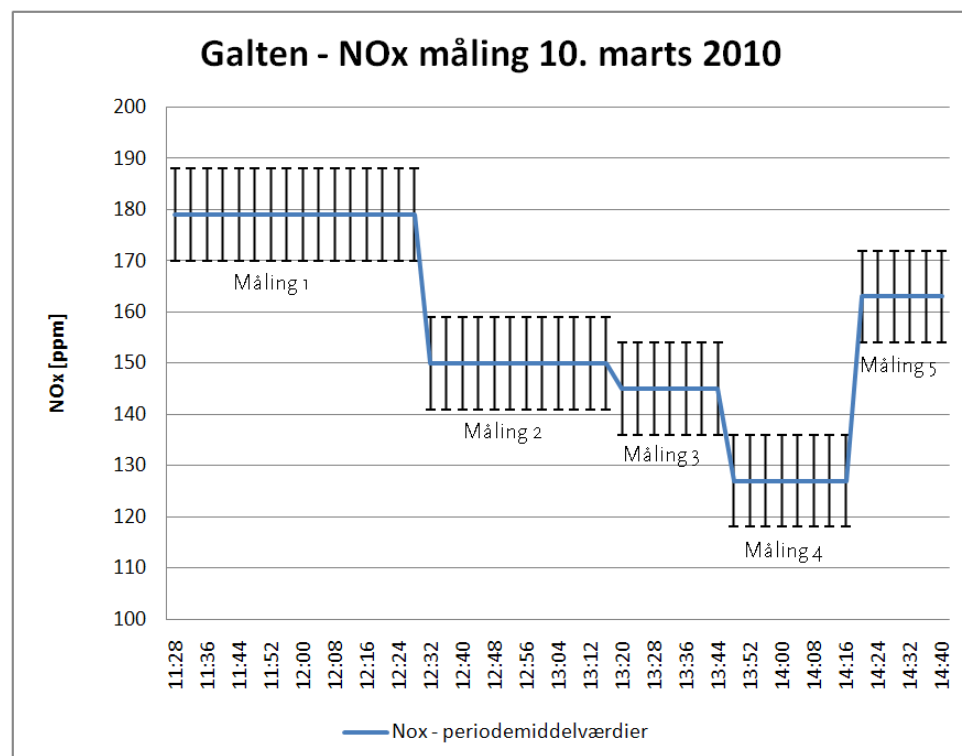
Testresultaterne for den akkrediterede test er opstillet i bilag C.

Målingerne er foretaget 10. marts 2010.

Det indfyrede træflis havde et vandindhold på 45-46 %, dvs. en forholdsvis våd flis.

Periodemiddelværdierne for de 5 målinger er vist grafisk i figur 3.5, med angivelse af usikkerheden.

Figur 3.5: Grafisk afbildning af måleresultaterne



Vi reducerer NO_x fra 179 ppm til 150 ppm (måling 1 i forhold til måling 2), en reduktion på 16 % og fra 163 ppm til 127 ppm (måling 5 i forhold til måling 4), en reduktion på 22 %.

Tabel 3.2 viser periodemiddelværdierne for kedellast og fyrbokstemperatur logget fra værket SRO-anlæg.

Tabel 3.2: Kedellast og fyrbokstemperatur.

Måling nr.:	1	2	3	4	5
Kedellast [MW]	6,70	7,10	6,49	6,95	7,22
Fyrbokstemperatur [°C]	915	935	910	934	955

Heraf ses det at der selv med høj kedellast er forholdsvis lav temperatur i fyrboksen.

3.5 Analysefasen

3.5.1 NO_x-reduktion med SNCR i fliskedlen

3.5.1.1 Forundersøgelsen og den vejledende måling

Udviklingen og fremstillingen af udstyret til forsøgene viser at det er muligt at opbygge et prisbilligt standard ureabaseret SNCR anlæg til biomasse fyrede kedelanlæg.

Vores forundersøgelse viser, at det er muligt at reducere NO_x, selv ved en "urenset" NO_x-emissioner under 300 mg/Nm³ tør røggas ved 10 % O₂. Ved denne måling havde vi gunstige forhold (sommerperiode med tør flis, vandindhold i flis 32 %).

Under den vejledende test havde vi ugunstige forhold. Ved denne test var det ikke muligt at konstatere en entydig reduktion af NO_x vha. SNCR. Den indfyrede flis var meget våd, hvilket bevirkede, at temperaturen generelt i fyrrummet var lavere – for lav til at reducere NO_x. Den umiddelbare løsning er at flytte indsprøjtningsspunktet tættere på forbrændingszonen.

3.5.1.2 Akkrediterede tests

Selv om der under den akkrediterede test var tale om forholdsvis våd flis, viste de kontinuerte målinger at det er mulig at reducere NO_x med 16-22 %.

Forsøgene har vist at der ligger en stor udfordring i at lokalisere det område i kedlen/fyrboksen hvor der til en given tid er det rette temperaturvindue for NO_x reduktion, samt hvordan man "flytter" inddysningen til disse områder.

Forsøgene viste også at, når der er tale om anlæg med meget fluktuerende output, er det nødvendig med kontinuerte målinger. Da der med punktmålinger er mulighed for store "fejl"-resultater.

3.5.2 Rentabilitet

I bilag D er der opstillet et simpelt regnestykke på anlægsinvesteringen og driftsomkostningerne. Ud fra disse tal vurderer vi, hvor høj NO_x-afgiften skal være for, at det er rentabelt at investere i et SNCR-anlæg.

Der regnes på to driftssituationer med hensyn til inddysset ureamængde, hhv. en med data fra den akkrediterede måling udført den 10. marts 2010 og en med data fra forundersøgelsen udført den 21. september 2009.

Beregningen er foretaget med en anslået driftstid på 80 % = 7008 timer/år. Forudsætningen for beregningen er en anlægs udgift på kr. 500.000 og en afskrivningsperiode på 10 år.

I den akkrediterede test blev NO_x emission reduceres fra 251 til 199 svarende til en reduktion på 52 mg/Nm³, 10 % O₂, tør røggas med en inddysning på 45 l/h. NO_x udgift 244 kr./ kg NO_x.

I forundersøgelsen blev NO_x emissionen reduceret fra gennemsnitlig 250 til 55 svarende til en reduktion på 195 mg/Nm³, 10 % O₂, tør røggas med en inddysning på 40 l/h. NO_x udgift 58 kr./ kg NO_x.

Sammenholdes disse tal med nuværende afledningsudgift på 5,1 kr./kg NO_x, er et SNCR-anlæg ikke rentabelt.

3.6 Perspektivering

Resultaterne fra forsøgene viser at emissionerne fra biomassefyrede kedelanlæg er meget svingende som følge af brændslets fugtindhold.

Ved tør brændsel opnås høje temperaturer og dermed høje NO_x værdier og ved brændsel med højt fugtindhold er temperaturen og dermed også NO_x værdierne lave.

Forsøgene viser at det er mulig at reducere NO_x udledningen med op til ca. 80 % ved optimale forhold og med 16-22 % ved ugunstige forhold med meget våd flis.

For at det vil være attraktivt for anlægsejerne at indføre NO_x reduktionsanlæg vil det være nødvendig at de samlede udgifter til dette er mindre end udledningsafgiften.

I det øjeblik ny teknologi er afprøvet og eftervist vil det være muligt for myndighederne at regulere på grænseværdierne for NO_x fra biomassefyrede kedelanlæg. Samtidig kunne der indføres en form for belønning til anlægs ejerne, hvis de sænker udledningen af emissioner, således at anlægs ejeren holdes skadesløs. Alternativt kan NO_x afgiften hæves, efter "forureneren betaler" princippet.

Da afbrænding af biobrændsler, samt udviklingen af bio-olier og forgasningsanlæg er i kraftig vækst, betyder det at der i fremtiden vil være et højt reduktionspotentiale.

Erfaringerne fra dette forsøg har givet anledning til overvejelser omkring andre tekniske løsninger.

En kombination af et SNCR og SCR system.

Hvis der i et SNCR system ikke er den rette temperatur eller der overdoseres reagent vil dette udledes som ammoniakslip til omgivelserne.
Ved at lave et kombineret SNCR og SCR system vil dette slip kunne anvendes i SCR systemets katalysatorer og yderligere nedbringe NO_x emissionen.

En anden overvejelse kunne være at anvende ureapulver.
I Yong Hun Park's rapport [1] henvises der til metoder, hvor dette benyttes. Vi har ingen erfaringer med ureapulver, men det kunne være interessant at teste, om det er muligt at reducerer NO_x ved at opblande ureapulver med træflisen før indfyring. Alternativt kunne det testes om tilsætning af væskeformig urea i forbindelse med flisindfødningen har en effekt.

Litteraturliste

- [1] Yong Hun Park, "An Investigation of Urea Decomposition and Selective Non-catalytic Removal of Nitric Oxide with Urea," May 2003, Texas A&M University
- [2] Energistyrelsen "Energistatistik 2009", September 2010.
- [3] DGC Rapport, "Environmental optimisation of natural gas fired engines", October 2010, ISBN 978-87-7795-336-1

1 Forundersøgelse

Catcon A/S har den 21. september 2009 udført forundersøgelseres målinger på flis kedlen opstillet på Galten Varmeværk.

Formålet med forundersøgelsen er at påvise at det overhovedet er muligt at reducere NO_x på den flisfyrede kedel vha. SNCR.

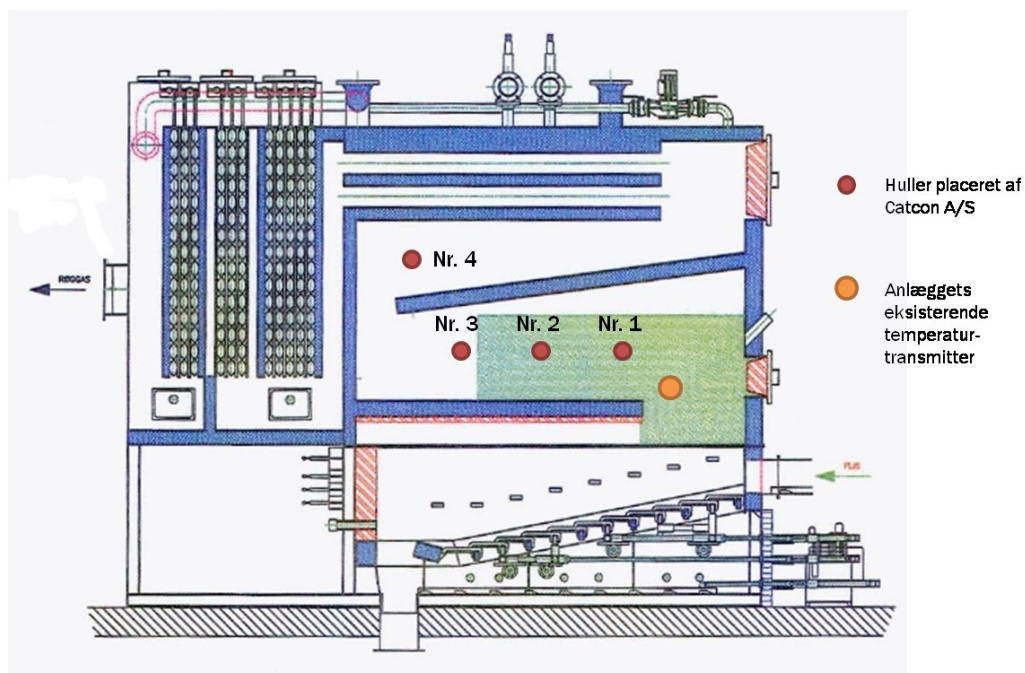
1.1 Testmetode

Som nævnt tidligere i hovedrapporten er det vigtigt at ramme en temperatur i intervallet 850-1100 °C.

Euro Therm A/S har hjulpet os med at få lavet nogle huller i kedlen på strategiske steder, så vi under forundersøgelsen og på det endelige pilotanlæg på sigt har mulighed for at veksle mellem forskellige inddysningssteder. (se Figur A. 1). Området markeret med grøn vurderes af Euro Therm A/S til at være det optimale område.

Temperaturen ved de fire målepunkter blev vurderet vha. data fra anlæggets eksisterende temperaturtransmitter, samt målinger foretaget med håndholdt lasertemperaturmåler ind gennem de fire huller.

Figur A. 1: Billede af hulplaceringerne i kedlen



Målingerne her er udført vha. vores mobile testanlæg.

Måleapparatet vi bruger til NO_x-måling er en kalibreret håndholdt røggasmåler. Certifikat vedlagt (se Figur A.2).
 Vi har brugt ureaopløsning 32,5 % som reagent.
 Det indfyrede træflis har et vandindhold på 32 %, dvs. en forholdsvis tør træflis.

Figur A. 2: Billede af kalibreringscertifikat til håndholdt måler

GASTECH ENERGI

Kalibreringscertifikat

Kunde: Catcom Power solutions A/S
 Gadekærsvej 12
 9280 Storevorde

Rekvirent: Morten Krebs

Montør navn: **Montør nr:** **Certifikat nr.** 24599611

Sporbarhed:

Kalibreringsgas:	Air Liquide certifikater:	19567	5. måned	2008
		19566	5. måned	2008
		9232190001	4. måned	2009
		18579	1. måned	2008

Temperatur: Ametek temperatur kalibrator
 Jofra ITC 320A

Træk måling: Dwyer

Sodmåling: Acrylglas cylinder 1,63L

Miljøparametre: Rumtemperatur 21+-2 gr. C, Luft fugtighed 50%+-10RH
Emne: Til stabil visning

Der er foretaget kalibrering af: Røggasanalysator
Instrument modtaget: 26.06.09
Kalibreret: 16.07.09

Instrument identifikation

Fabrikat: ecom **Type:** JN **Serie nr:** 10464 **År:** 2006 **Artikel. nr** 27124854

Instrument Data:

02 mV	CO mV	No mv	No2 mV	Drift timer	CO tæller
21538	2	-5	0	175	

Kalibreringsresultat:

Reference værdi	Indgående værdi	Slut måling	Afvigelse	Måleusikkerhed
2,01 % O ₂	2,0 % O ₂	2,0 % O ₂	,01 % O ₂	±2%rel.
402ppm CO	402 ppm CO	402 ppm CO	0 ppm CO	±2%rel.
91,5ppm NO	89 ppm NO	91 ppm NO	0,5 ppm NO	±2%rel.
89,8ppm NO ₂	82 ppm NO ₂	89 ppm NO ₂	0,8 ppm NO ₂	±2%rel.
200 gr. C	201 gr. C.	201 gr. C.	1 gr. C.	0,25 gr. C.
30 pa	29 Pa	29 pa	1 pa	2 pa

Målecelle udskiftet:

02	CO	No	No2	SO2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Bemærkning:
 Fejlfinding af instrument, kalibrering, kontrol af kommunikation mellem PC og Softwareprogram. Seriel kabel i kuffert er ikke egnet til kommunikation. Skal være speciel RS232 kabel

Kalibrering foretaget af:
 Underskrift:
 Claus V. Kristensen

1.2 Målinger

Forundersøgelsen er inddelt i 3 dele.

Første del foregik fra kl. 10.10 til kl. 10.15.

Anlægget kørte med 100 % last (Effekten svinger mellem 5,6 og 8,5 MW).

Temperaturen blev på anlæggets temperaturtransmitter aflæst til 1160-1150 °C, men meget svingende.

Med den håndholdte lasermåler blev der målt følgende:

Hul nr. 1: 1300 °C og tydelig flamme.

Hul nr. 2: 1300 °C og tydelig flamme.

Hul nr. 3: 1280 °C og tydelig flamme.

Hul nr. 4: 1180 °C og tydelig flamme.

Temperaturen er tydeligvis langt over de 1100 °C, som er det maksimale for NO_x reduktion vha. SNCR.

Måling af rå NO_x: 317 mg/Nm³ @ 10 % O₂, tør røggas.

Anden del foregik fra kl. 11.00 til kl. 11.10.

Anlægget køres ned i last, for at opnå lavere temperatur.

Anlægget kørte med 75 % last (Effekten falder fra ca. 6 til 4 MW).

Temperaturen blev på anlæggets temperaturtransmitter aflæst til 1110-1050 °C, faldende til omkring 840 °C, men stadig meget svingende.

Med den håndholdte lasermåler blev der målt følgende:

Hul nr. 1: 1050 °C og tydelig flamme.

Hul nr. 2: 880 °C og flamme.

Hul nr. 3: 1030 °C og flamme.

Hul nr. 4: ingen måling.

Måling af rå NO_x: 264 mg/Nm³ @ 10 % O₂, tør røggas.

Temperaturen nærmer sig området på 850-1100 °C, hvor der kan reduceres.

Tredje del foregik fra kl. 11.20 til kl. 13.40.

Det blev vurderet at den rette temperatur ville være i området omkring hul nr. 2 (se Figur A. 1).

Under forsøget blev der monteret en lanse med dyser, som forstøver urea vha. trykluft.

Under forsøget pegede dyserne med strømmingen.

Anlægget kørte med ca. 90 % last (Effekten svinger mellem 4,8 og 7,2 MW).

Temperaturen blev på anlæggets temperaturtransmitter aflæst til 1050-960 °C, men meget svingende.

Der blev ikke foretaget målinger med den håndholdte lasermåler.

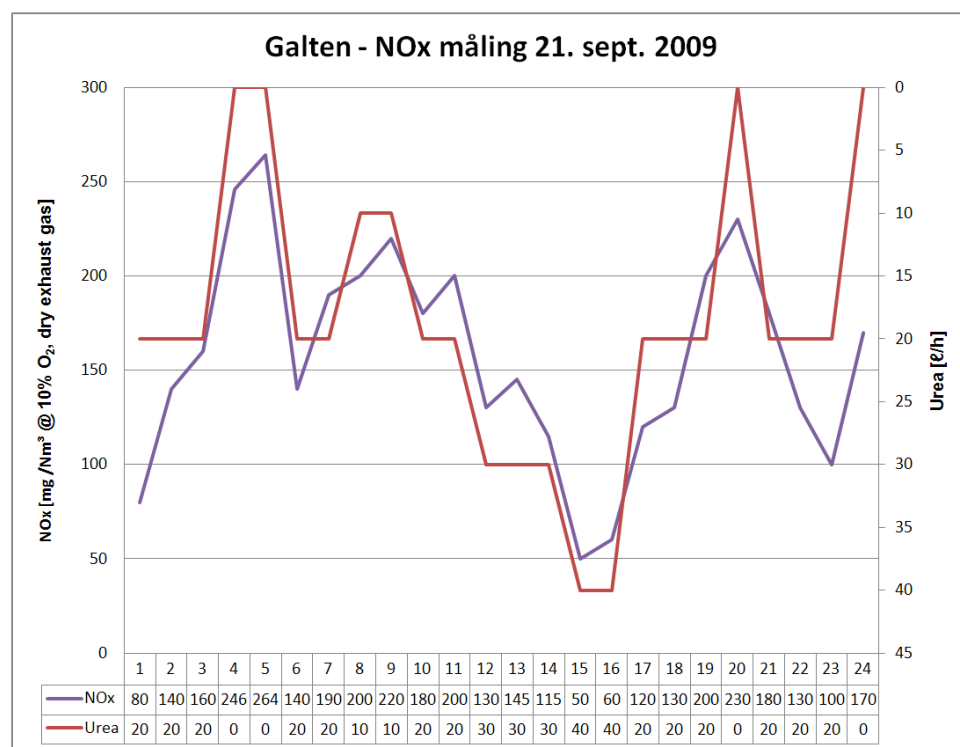
Måling af rå NO_x: 272 mg/Nm³ @ 10 % O₂, tør røggas.

De udførte målinger er afbildet i Figur A.3.

NO_x-måleværdierne er øjebliksbilleder, da det med det håndholdte apparat kun er muligt at foretage måleprøver med et vist interval. Ved en kontinuerlig måling vil måleværdierne fluktuere meget, men der vil være en lineær tendens.

Ved punktmålinger, som vi har taget under vores forundersøgelse, er det ikke muligt at vide, hvor vi ligger i forhold til tendensen, så en vis usikkerhed er forbundet med entydigheden, se bl.a. den grafiske afbildning (Figur A.3) måling 11. Dog er der ingen tvivl om ureatilsætningens effektivitet.

Figur A.3: Grafisk afbildning af måleresultaterne



De første 20 målinger er foretager med inddysning medstrøms, måling 21 lodret nedad, måling 22 modstrøms og måling 23 og 24 medstrøms.

Af grafen ses det, at indsprøjtning af urea i kedlen reducerer NOx med op til ca. 80 % i forhold til 0 liter urea og 40 liter. Reduktionsgraden kan med stor sandsynlighed have været større, da vi kun har en kort periode uden ureainsprøjtning som reference.

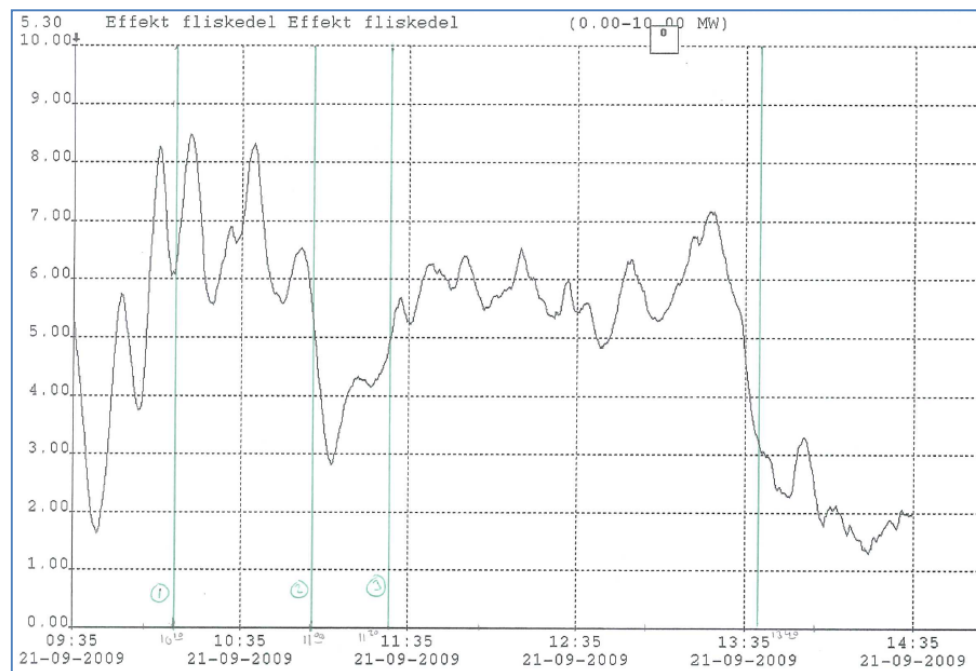
Der blev under forsøget desuden observeret en tydelig sammenhæng mellem last og NOx. Høj last medfører høj NOx.

Ved ca. 100 % last (første del) ligger NOx udledningen på omkring $300 \text{ mg/Nm}^3 @ 10\% \text{ O}_2$, tør røggas.

Ved 75-90 % last (anden og tredje del) ligger den mellem $230\text{-}270 \text{ mg/Nm}^3 @ 10\% \text{ O}_2$, tør røggas.

Fliskedlens effekt er afbildet i figur A.4, hvor effekten er den afleverede varmeeffekt til anlæggets akkumuleringsstank.

Figur A.4: Grafisk afbildning af fliskedel effekten



Det ses af kurven at effekten ved del 1 lå på 6-8,5 MW hvilket svarer til 100 %. Ved del 2 ses at lasten køres ned og ved del 3 ligger effekten nogenlunde stabilt omkring 5,8-6,2 MW.

Formålet med forundersøgelsen var at påvise, at vi kan reducere NO_x på den flisfyrede kedel ved at tilsætte en reagent, og konklusionen må være at dette er muligt.

1 Vejledende test

Vi har delt målingerne op i vejledende test og akkrediterede tests. En vejledende test betyder, at vi har benyttet vores egne metoder med kalibreret måleudstyr. De akkrediterede tests er foretaget af eksterne eksperter og gengivet i bilag C.

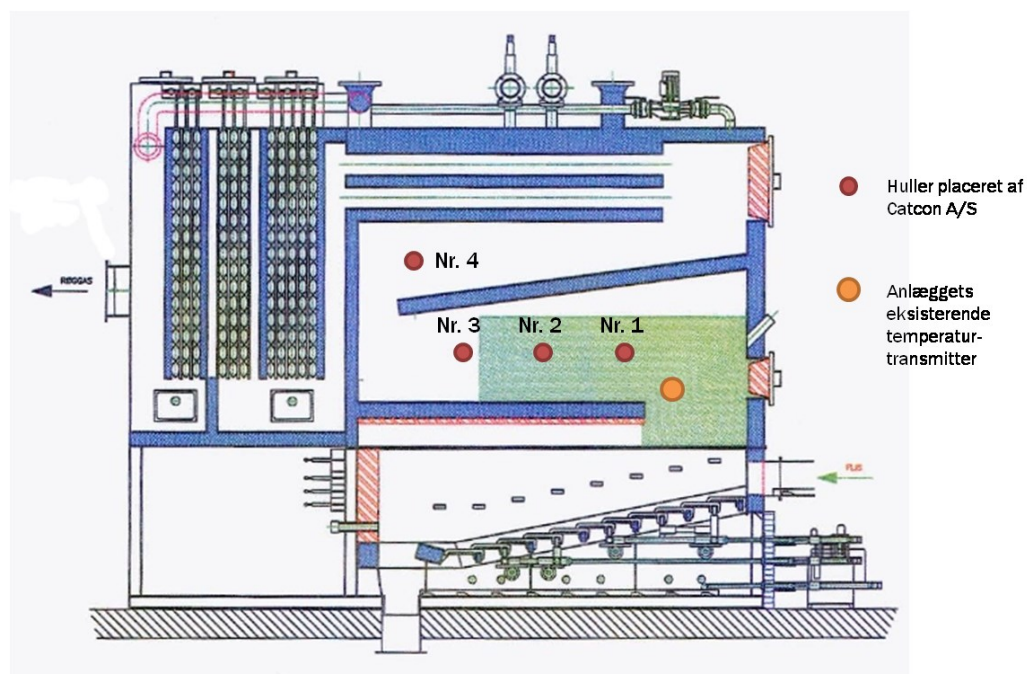
1.1 Testmetode

Som tidligere nævnt er det vigtig at inddysningen sker i et område med temperatur i intervallet 850-1100 °C.

Temperaturen ved de 4 målepunkter blev vurderet vha. data fra anlæggets eksisterende temperaturtransmitter, samt målinger foretaget med håndholdt lasertemperaturmåler ind gennem de fire huller.

Temperaturen i alle fire huller lå tæt på, eller under den ønskede temperatur. Under forsøget har vi derfor benyttet hul nr. 1 (se Figur B.1), dvs. så tæt på forbrændingen som muligt.

Figur B.1: Billede af hulplaceringerne i kedlen



NO_x-måleværdierne er øjeblikksbilleder, da det med det håndholdte apparat kun er muligt at foretage måleprøver med et vist interval. Ved en kontinuerlig måling vil måleværdierne fluktuere meget, men der vil være en lineær tendens.

Ved punktmålinger er det ikke muligt at vide, hvor vi ligger i forhold til tendensen, så en vis usikkerhed er forbundet med entydigheden.

Måleapparatet vi bruger til NO_x-måling er en kalibreret håndholdt røggasmåler. Certifikat vedlagt (se Figur A.2, bilag A).

1.2 Vejledende test

Efter at SNCR-anlægget er prøvekørt, har vi den 3. december 2009 lavet en vejledende test på anlægget.

Vi har brugt ureaopløsning 32,5 % som reagent.

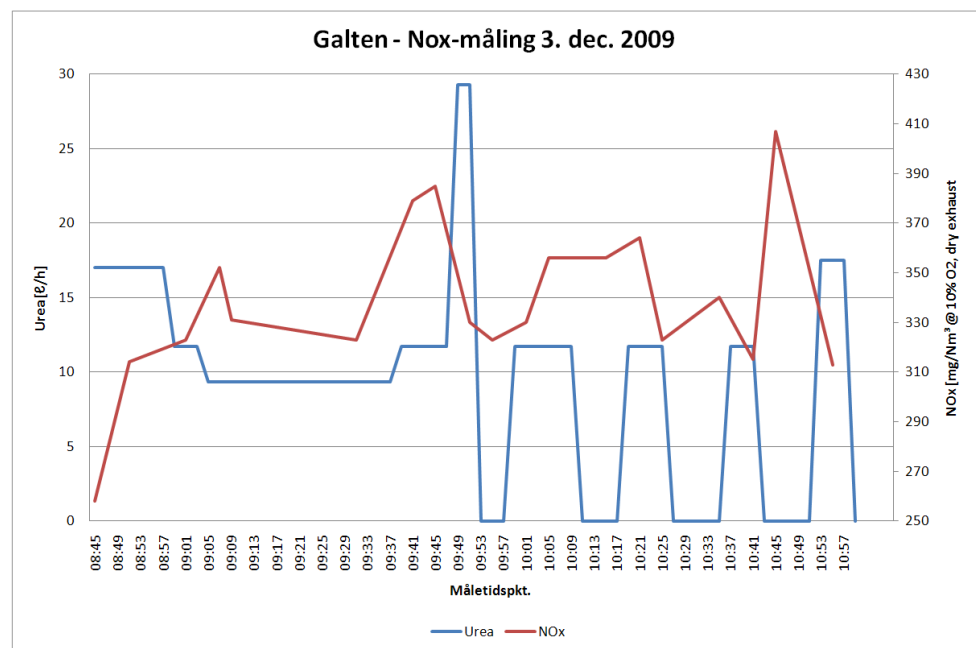
Det indfyrede træflis har et vandindhold på ca. 40 %, dvs. en forholdsvis våd træflis.

Målingerne er foretaget mellem kl. 8.45 og kl. 11.00.

Lansen blev monteret med inddysning medstrøms.

Resultatet af målingerne er vist i Figur B.2.

Figur B.2: NO_x-målinger efter reduktion sammenholdt med tilsat ureamængde.



Inddysning stoppes kortvarigt mellem kl. 10.10 og 10.15 og igen mellem 10.25 og 10.35 da lastsignalet kom under 50 %.

På Figur B.2 ses, at sammenhængen mellem reduceret NO_x og indsprøjet mængde urea er meget usikker.

Aflæsninger fra anlæggets temperaturtransmitter viste at temperaturen ligger indenfor det ønskede temperaturområde på 850-1100 °C.

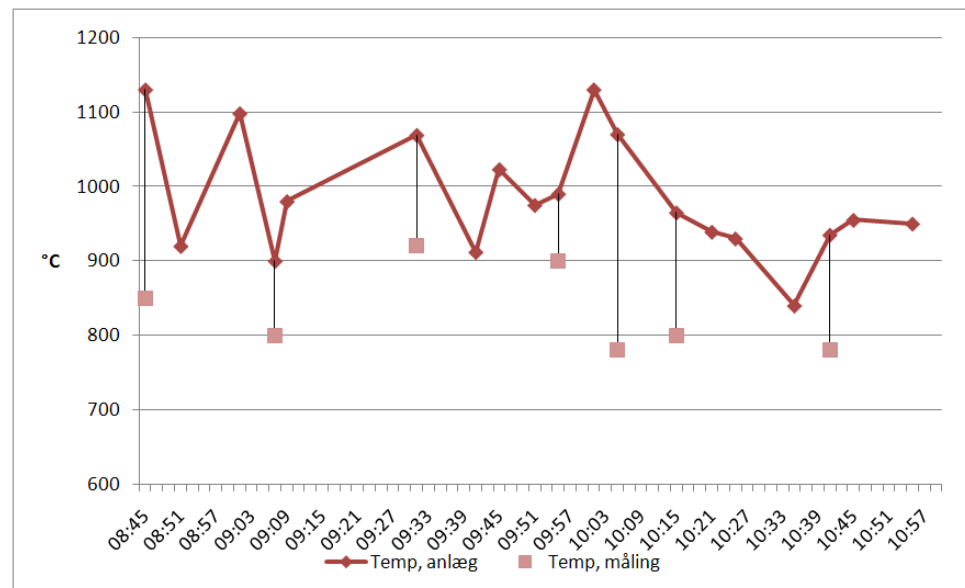
Men da denne måler er placeret tættere på fyrboksen end inddysningspunktet, foretog vi kontrolmålinger med en håndholdt lasermåler gennem inddysningshullet.

I Figur B.3 er "Temp, anlæg" målt med anlæggets eksisterende temperaturtransmitter. "Temp, måling" er målt med vores håndholdte apparat. Der er ikke en entydig sammenhæng mellem de to temperaturer - forskellen mellem dem forbliver ikke konstant, hvilket vi må henlede til vores betragtning omkring øjebliksbilledet.

Tendensen i målingerne viste temperaturer ved inddysningshullet der var ca. 150-200 °C lavere.

Dvs. at der i inddysningszonen ofte har været temperaturer under 850 °C, og derfor ingen effekt af inddysningen.

Figur B.3: Temperatur målt med anlæggets eksisterende temperaturtransmitter i forhold til vores håndholdte måling.



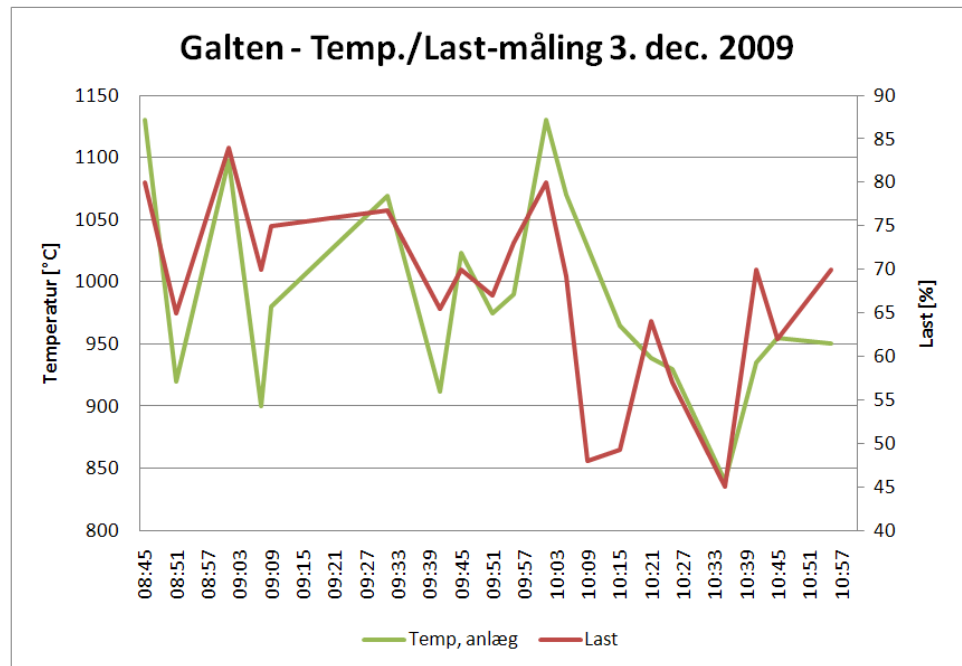
Den lave temperatur, mener vi, skyldes det høje fugtindhold i den indfyrede flis, som reelt set er den eneste forskel mellem vores forundersøgelse, hvor vi nemt reducerede NO_x, og denne test.

Til styring af inddysningen anvendes anlæggets lastsignal, men da det er temperaturen der er afgørende for NO_x reduktionen, undersøges det om der er sammenhæng mellem last og temperatur. Se figur B.4.

Det ses her at temperaturen følger lastsignalet temmelig godt.

Styringen indstilles til at stoppe inddysning ved last under 50 %, da temperaturen i inddysningszonen her vil være under 850 °C.

Figur B.4: Temperatur sammenholdt med anlæggets lastsignal.

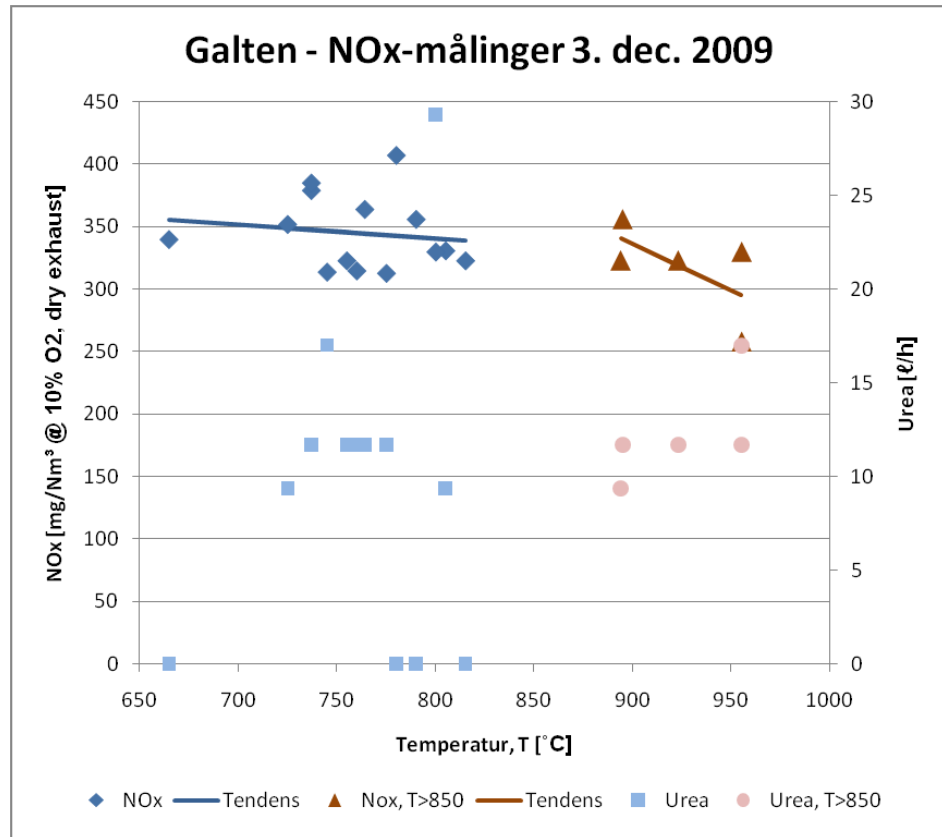


Efter mange fortolkninger af vores måledata er vi nået frem til, at vi ikke kan reducere NO_x denne dag, fordi temperaturen i inddyningszonen er for lav.

Da vores teori går på, at temperaturen er en afgørende parameter for vores NO_x-reduktion i denne test, har vi forsøgt at analysere, hvad tendenserne er ved temperaturer under 850 °C og ligeledes over.

Derfor benytter vi kun vores håndholdte måleværdier til at finde en gennemsnitlig forskelstemperatur mellem anlæggets og vores målte, for at resonere os frem til, hvad temperaturen er ved hul nr. 1. Målingerne afbildet i Figur B.5 er med reference til denne konstruerede temperatur.

Figur B.5: NO_x-reduktion som funktion af temperaturen med plot af ureatilsætning.



Af Figur B.5 fremgår det, at der er en tendens til forhøjet NO_x-reduktion ved temperaturer over 850 °C i forhold til under 850 °C. Det ses også, at det ikke skyldes en større ureatilsætning for temperaturer over 850 °C.

1.2.1 Konklusion på vejledende test

Vores konklusion på den vejledende test er, at vi ikke har høj nok temperatur i indsprøjtningssonen til, at vi kan få en entydig reduktion af NO_x. Målingerne og analyserne heraf er forbundet af en stor del usikkerhed, hvilket er beskrevet under afsnit 1.1.

Usikkerheden påvirker dog ikke vores konklusion, men alligevel er det nødvendigt at få lavet en akkrediteret test, med kontinuerte målinger over længere tid.

1 Akkrediteret test

1.1 Akkrediteret miljømåling

Vi opstiller her periodemiddelværdierne fra den akkrediterede test foretaget 10. marts 2010 af DGC A/S.

Ref. DGC prøvningsrapport 734.95-EU01.

Ud fra data fra anlæggets temperaturtransmitter vurderes det at der vil være de bedste temperaturforhold ved inddysning i hul nr. 1.

Der er brugt ureaopløsning 32,5 % som reagent. Testen er udført med inddysning på 45 l/h.

Det indfyrede træflis har et vandindhold på 45-46 %, dvs. en forholdsvis våd træflis.

Måling 1, referencemåling, uden ureaindsprøjtning.

Målingen er foretaget over 1 time.

Tabel 1a Periodemiddelværdi, måling 1, uden ureaindsprøjtning

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	4,9 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	99 ± 24 ³⁾
CO	[ppm]	117 ± 29
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	251 ± 13 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	179 ± 9
Kedellast ⁴⁾	[MW]	6,70 ^{*)}
Fyrbokstemperatur ⁴⁾	[°C]	915 ^{*)}
Røggastemperatur	[°C]	46 ^{*)}

1) Omregnet til 10 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Logget fra værket's SRO-anlæg

*) Ikke omfattet af akkrediteringen

Måling 2, med ureainsprøjtning, retning 45° mod flamme.
Målingen er foretaget over ca. 40 minutter.

Tabel 1b Periodemiddelværdi, måling 2, med ureainsprøjtning

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	4,0 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	327 ± 24 ³⁾
CO	[ppm]	405 ± 30
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	199 ± 12 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	150 ± 9
Kedellast ⁴⁾	[MW]	7,10 ^{*)}
Fyrbokstemperatur ⁴⁾	[°C]	935 ^{*)}
Røggastemperatur	[°C]	46 ^{*)}

- 1) Omregnet til 10 %-vol. O₂
 2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂
 3) Inkl. usikkerhed på iltmåling
 4) Logget fra værkets SRO-anlæg
 *) Ikke omfattet af akkrediteringen

Måling 3, med ureainsprøjtning, retning vinkelret mod flamme.
Målingen er foretaget over ca. 30 minutter.

Tabel 1c Periodemiddelværdi, måling 3, med ureainsprøjtning

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	5,3 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	114 ± 25 ³⁾
CO	[ppm]	130 ± 29
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	208 ± 13 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	145 ± 9
Kedellast ⁴⁾	[MW]	6,49 ^{*)}
Fyrbokstemperatur ⁴⁾	[°C]	910 ^{*)}
Røggastemperatur	[°C]	46 ^{*)}

- 1) Omregnet til 10 %-vol. O₂
 2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂
 3) Inkl. usikkerhed på iltmåling
 4) Logget fra værkets SRO-anlæg
 *) Ikke omfattet af akkrediteringen

Måling 4, med ureaindsprøjtning, retning 45° mod flamme.
Målingen er foretaget over ca. 25 minutter.

Tabel 1d Periodemiddelværdi, måling 4, med ureaindsprøjtning

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	4,4 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	245 ± 24 ³⁾
CO	[ppm]	295 ± 29
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	172 ± 11 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	127 ± 8
Kedellast ⁴⁾	[MW]	6,95 ^{*)}
Fyrbokstemperatur ⁴⁾	[°C]	934 ^{*)}
Røggastemperatur	[°C]	46 ^{*)}

1) Omregnet til 10 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Logget fra værkets SRO-anlæg

*) Ikke omfattet af akkrediteringen

Måling 5, referencemåling, uden ureaindsprøjtning.
Målingen er foretaget over ca. 30 minutter.

Tabel 1e Periodemiddelværdi, måling 5, uden ureaindsprøjtning

		Middelværdier
O ₂	[%-vol]	3,9 ± 0,3
CO ¹⁾	[mg/m ³ n] ¹⁾	362 ± 25 ³⁾
CO	[ppm]	452 ± 30
NO _x ^{1) 2)}	[mg/m ³ n] ¹⁾	214 ± 12 ³⁾
NO _x ²⁾	[ppm]	163 ± 9
Kedellast ⁴⁾	[MW]	7,22 ^{*)}
Fyrbokstemperatur ⁴⁾	[°C]	955 ^{*)}
Røggastemperatur	[°C]	46 ^{*)}

1) Omregnet til 10 %-vol. O₂

2) NO + NO₂, NO vægtmæssigt regnet som NO₂

3) Inkl. usikkerhed på iltmåling

4) Logget fra værkets SRO-anlæg

*) Ikke omfattet af akkrediteringen

1.2 Beregning af røggasmængde (ikke omfattet af akkrediteringen)

På baggrund af den akkrediterede emissionsmåling anført ovenfor og oplysninger om indfyret flismængde på ca. 80 tons pr. døgn er røggasmængden fra anlægget beregnet.

Den totale røggasmængde er beregnet til ca. 9500 Nm³, tør/h.

1 Rentabilitet

Af nedenstående beregninger fremgår vores beregninger af rentabiliteten. Der er lavet to beregninger, én med data fra den akkrediterede måling og én med data fra forundersøgelsen.

Beregningerne er foretaget med en anslået driftstid på 80 %.

Levetiden for anlægget er ca. 10 år, hvorfor dette også er valgt som tilbagebetalingstid (afskrivningsperioden).

1.1 Rentabilitet med data fra akkrediteret måling.

Udledningsafgift, NOx	5,1 kr./kg NOx		
Ureaopløsning 32,5%			
Driftstid	80%		
Timer i et år	8760 h		
Reduceret mængde Nox*	52 mg/Nm ³	(251-199=52)	måling 1-2
Masseflow, røggas	kg/h		
Massefylde røggas	kg/Nm ³		
Volumenflow, røggas*	9.500 m ³ /h		
Masseflow, NOx	0,5 kg/h		
NOx-mængde på et år	3.462 kg/år		
Urea forbrug*	45 ltr/time		
Ureapris	2,5 kr/ltr		
Ureaudgift	788.400 kr./år		
NOx-udgift pt.	17.656 kr./år		
*Data fra målinger foretaget 10. marts 2011			

For at have en tilbagebetalingstid på anlægget på 10 år skal NOx-afgiften være den samlede udgift pr. år delt med mængden af NOx anlægget ellers ville have udledt.

Anlægsudgifter	500.000 kr.
Tilbagebetalingsperiode	10 år
Anlægsudgift pr. år	50.000 kr.
Serviceudgifter pr. år	5.000 kr.
Driftsudgifter pr. år	788.400 kr.
Pris pr. år	843.400 kr.
NOx-afgift i fremtiden?	244 kr./kg NOx

1.2 Rentabilitet med data fra forundersøgelsen.

Udledningsafgift, NOx	5,1	kr./kg NOx	
Ureaopløsning 32,5%			
Driftstid	80%		
Timer i et år	8760	h	
Reduceret mængde Nox*	195	mg/Nm ³	(250-55=195)
Masseflow, røggas		kg/h	
Massefylde røggas		kg/Nm ³	
Volumenflow, røggas**	9.500	m ³ /h	
Masseflow, NOx	1,9	kg/h	
NOx-mængde på et år	12.982	kg/år	
Urea forbrug*	40	ltr/time	
Ureapris	2,5	kr/ltr	
Ureaudgift	700.800	kr./år	
NOx-udgift pt.	66.210	kr./år	
*Data fra forundersøgelsen 21. september 2009			
**Data fra målinger foretaget 10. marts 2011			

For at have en tilbagebetalingstid på anlægget på 10 år skal NOx-afgiften være den samlede udgift pr. år delt med mængden af NOx anlægget ellers ville have udledt.

Anlægsudgifter	500.000	kr.
Tilbagebetalingsperiode	10	år
Anlægsudgift pr. år	50.000	kr.
Serviceudgifter pr. år	5.000	kr.
Driftsudgifter pr. år	700.800	kr.
Pris pr. år	755.800	kr.
NOx-afgift i fremtiden?	58	kr./kg NOx

Reduktioner af luftforurening fra biomassefyrede energianlæg

Grænseværdien for NO_x-udledning ved biomassefyrede kedelanlæg er 300 mg/Nm³ tør røggas ved 10 % O₂ gældende for anlæg på 5-50 MW.

Flere anlæg har i dag problemer med at overholde denne grænseværdi. Det samlede biomasseforbrug i Danmark udgør omkring 106 PJ hvoraf ca. 14 PJ er flis og ca. 17 PJ i halm. Hvis det er muligt at reducere NO_x-udledningen med ca. 50 % (med udgangspunkt i 300 mg/Nm³) vil det samlet give en væsentlig miljøforbedring.

Afbrænding af biobrændsler samt udviklingen af bio-olier og forgasningsanlæg er i kraftig vækst, hvilket betyder, at der i fremtiden vil være et højt reduktionspotentiale. Disse incitamenter gør det hensigtsmæssigt at udvikle NO_x-reducerende anlæg til biomassefyrede kedelanlæg.

Formålet med projektet er at udvikle et NO_x-reduceringsanlæg baseret på teknologien SNCR (Selective Non Catalytic Reduction); en kendt teknologi på konventionelle anlæg. Det primære er at udvikle et billigt standardanlæg med anvendelse af standardiserede komponenter. Hvis dette er muligt, vil det give et økonomisk incitament for anlægsejerne til at reducere NO_x-udledningen.

Det undersøges, om det er muligt at anvende et standard SNCR-anlæg på en biomassefyret kedel for at reducere NO_x udledningen.

Yderligere undersøges det, om det er muligt at reducere anlægsomkostningerne så meget at det er rentabelt at investere i et SNCR-anlæg i relation til NO_x-afgiften. Projektet er udført af Catcon A/S, i samarbejde med Industrivarmer A/S, med opbygning af et pilotanlæg opført på en 6 MW flisfyret kedel på Galten.



Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K

www.mst.dk