

# Sänkning av kväveoxidemissioner samt förlängd livslängd genom rökgasåterföring i en pelletsbrännare 750 kW

Susanne Paulrud, RISE

Robert Ingvarsson, Janfire

RISE Rapport 2017:61

# Sänkning av kväveoxidemissioner samt förlängd livslängd genom rökgasåterföring i en pelletsbrännare 750 kW

Susanne Paulrud, RISE

Robert Ingvarsson, Janfire

# Abstract

## **Lowering of emissions of nitrogen oxides and increased service life in a pellet burner 750 kW**

The project has been involved in developing a flue gas recirculation system aimed at reducing emissions of NO<sub>x</sub> and dust, as well as extending the life of the material in a pellet burner. Installation of a flue gas recirculation system and combustion tests have been performed in a laundry in Bengtsfors, which has a pellet-fired boiler with two janfire burners of 750 kW each. The results of the tests showed that the flue gas recirculation had an impact on NO<sub>x</sub> emissions. These decreased by about 17-18% in wood pellets combustion and by 10% in combustion of nitrogen rich agro fuel pellets in comparison to non-flue gas recirculation. With flue gas recirculation, the combustion furnace temperatures decreased by 85-105 °C for wood pellets and about 70 °C for agro fuel pellets.

Key words: Rökgasåterföring, pellets, NO<sub>x</sub>, korrosion

RISE Research Institutes of Sweden

RISE Rapport 2017:61

ISBN 978-91-88695-28-4

Borås 2017

# Innehåll

<b>Abstract.....</b>	<b>3</b>
<b>Innehåll.....</b>	<b>4</b>
<b>Förord.....</b>	<b>5</b>
<b>Sammanfattning .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Inledning .....</b>	<b>7</b>
1.1 Projektets mål .....	7
<b>2 Material och metoder .....</b>	<b>8</b>
2.1 Beskrivning av anläggningen .....	8
2.2 Utveckling och installation av rökgasåterföring.....	9
2.3 Förbränningsförsök .....	10
2.3.1 Provtagning av emissioner och stoft.....	11
2.3.2 Provtagning bränsle, aska.....	11
2.3.3 Korrosionsangrepp på material .....	12
<b>3 Resultat.....</b>	<b>13</b>
3.1 Installation och rökgasåterföringens reglering.....	13
3.2 Bränslets kemiska sammansättning vid förbränningsförsöken .....	14
3.3 Mätning av emissioner och stoft.....	15
3.4 Temperaturen i brännaren .....	15
3.5 Askans kemiska sammansättning vid förbränningsförsöken.....	16
3.6 Korrosionsangrepp på material .....	17
<b>4 Slutsatser .....</b>	<b>19</b>
<b>5 Referenser .....</b>	<b>19</b>

# Förord

Projektet "Sänkning av kväveoxidemissioner samt förlängd livslängd genom rökgasåterföring i en pelletsbrännare 750 kW" har finansierats av Energimyndighetens program Omvandling och har genomförts i samarbete mellan RISE Research Institutes of Sweden och Janfire AB. Vi vill tacka deltagare och finansiär som har bidragit till att projektet har gått att genomföra.

RISE Borås, December 2017.

# Sammanfattning

För en mindre anläggning är det avgörande att reduktion av emissioner kan ske med kostnadseffektiva primära åtgärder. En relativt billig metod är återföring av rökgaser som vanligen sker i gasfas i gränsen mellan avgasning och gasförbränning. Den kan även ske med primärluften genom bränslebädden, vilket är ett lämpligare sätt i en liten brännare. Denna teknik sänker temperaturen i bädden vilket kan minska bildningen av NO<sub>x</sub> och stoft. Sänkt bäddtemperatur kan även föra med sig minskad korrosion.

I projektet har ingått att utveckla ett rökgasåterföringssystem med syfte att minska emissioner av NO<sub>x</sub> och stoft, samt att förlänga livslängden på materialet i en pelletsbrännare. Delmål i projektet har varit att ta fram, montera, funktionstesta och utvärdera rökgasåterföring, inklusive dess reglering, på en pelletbrännare på 750 kW. Ett andra delmål har varit att undersöka effekten av rökgasåterföring på emissioner av NO<sub>x</sub> och stoft vid förbränning av träpellets och kväverika agropellets samt utvärdera hur fem material inmonterat i brännaren klarar temperaturer och miljö.

Installation av ett rökgasåterföringssystem och förbränningstesterna har genomförts i ett tvätter i Bengtsfors som har en pelletseldad ångpanna med två janfirebrännare på vardera 750 kW. Tre förbränningsförsök med emissionsmätningar har utförts varav två tillfällen med anläggningens egna träpellets, samt ett tredje tillfälle då ett kväverikt bränsle använts i form av agropellets från Skåne frö. Vid varje försök gjordes en mätning med respektive utan rökgasåterföring och där samma inställningar användes. Varje mätserie genomfördes under tre timmar.

För att undersöka hur rökgasåterföring kan påverka olika material monterades fem testmaterial på en utsatt position i respektive brännare (med och utan rökgasåterföring). Anläggningen fick sedan gå i ca 1500 timmar, varefter materialbitarna togs ut och utvärderades metallografisk i ljusoptiskt mikroskop för att studera korrosionsangrepp och korrosionshastigheter.

Resultatet från försöken visade att rökgasåterföringen hade effekt på NO<sub>x</sub> emissionerna. Dessa minskade med ca 17-18 % vid förbränning av träpellets och med ca 10 % vid förbränning av kväverika agropellets i jämförelse till utan rökgasåterföring. Rökgasåterföring hade ingen effekt på stofthalterna vid förbränning av träpellets men halterna var också väldigt låga, <25 mg/nm<sup>3</sup> vid 10 % O<sub>2</sub>. Stofthalterna vid förbränning av agropellets minskade dock med ca 20-28 % i jämförelse till utan rökgasåterföring. Med rökgasåterföring minskade temperaturerna i förbränningsugnen med 85-105 °C för träpellets och ca 70 °C för agropellets.

Med rökgasåterföring ökade korrosionsangreppen på tre av fem testade material efter 1500 h exponering. Eftersom en lägre temperatur inte bör resultera i en högre korrosionshastighet var slutsatsen att försök med samma material som exponeras i 1500 h bör upprepas. Detta för att utesluta att en ev beläggning kan ha bildats över materialen vid förbränningen av agropellets som kan ha påverkat korrosionen samt för att bekräfta effekten av en förändrad glödbädd och kortare låga vid rökgasåterföring.

# 1 Inledning

Dagens förbränningsteknik i mellanstora biobränsleanläggningar behöver möta kommande krav på emissioner och stoft, både med träpellets som bränsle och med en mer blandad bränslemix med högre kväve- och askinnehåll. För en mindre anläggning är det avgörande att reduktion av emissioner kan ske med kostnadseffektiva primära åtgärder. De primära åtgärder som kan användas för att reducera  $\text{NO}_x$  och stoft är stegad förbränning, rökgasåterföring, byte till bränsle med lägre halter av aska och kväve samt optimerad processtyrning. Tidigare studier visar att bland koncept för att minimera bildning av fint stoft och kvävoxider har stegad förbränning störst potential men metoden oftast är dyr då den kräver ombyggnation.

En billigare metod är återföring av rökgaser som vanligen sker i gasfas i gränsen mellan avgasning och gasförbränning. Den kan även ske med primärluften genom bränslebädden, vilket är ett lämpligare sätt i en liten brännare. Denna teknik sänker temperaturen i bädden vilket kan minska bildningen av  $\text{NO}_x$  och stoft. Sänkt bäddtemperatur kan även föra med sig minskad korrosion och/eller att andra material kan väljas för brännaren. Material som är både enklare och billigare samt borde klara sig bättre än material som 253 MA, som är ett förhållandevis dyrt austenitiskt syrafastrostfritt stål. Det finns till exempel andra billigare austenitiska eller ferritiska rostfria stål att tillgå.

I ett tidigare projekt utfört vid Högskolan i Halmstad (Ingvarsson, 2014 m.fl.) har en mixer med förinblandning av rökgaser i primärluften till en Janfire pelletbrännare tagits fram. Målet med projektet var att ta fram en smart lösning för att både minska  $\text{NO}_x$ -emissionerna och att förlänga rosterdelarnas livslängd genom att sänka temperaturen i primärzonen och där lösningen skulle kunna appliceras på Janfires medelstora och stora brännare. I projektet testades även utrustningen laborativt och resultatet visade att  $\text{NO}_x$ -emissionerna sjönk; dock gjordes aldrig en mer fullständig utvärdering där stoftemissionerna och materialtemperaturer uppmättes. Föreliggande projekt är en fortsättning på detta arbete.

## 1.1 Projektets mål

I projektet har ett rökgasåterföringssystem utvecklats med syfte att minska emissioner av  $\text{NO}_x$  och stoft, samt att förlänga livslängden på materialet i en pelletsbrännare.

Delmål i projektet har varit att:

- Att ta fram, montera, funktionstesta och utvärdera rökgasåterföring, inklusive dess reglering, på en pelletbrännare på 750 kW.
- Att undersöka effekten av rökgasåterföring på emissioner av  $\text{NO}_x$  och stoft vid förbränning av träpellets och kväverika agropellets.
- Att genom långtidsprov av inmonterat material i brännaren med och utan rökgasåterföring utvärdera hur fem material klarar temperaturer och miljö.

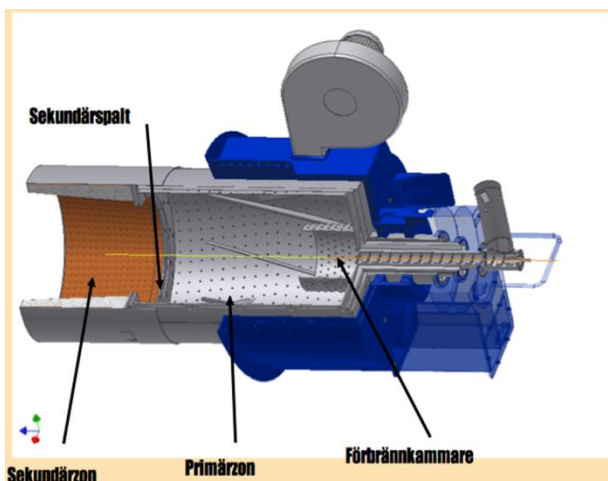
- Att så långt möjligt generalisera resultaten och presentera dessa till nytta för andra pelletseldare.

## 2 Material och metoder

### 2.1 Beskrivning av anläggningen

Förbränningstesterna med ett rökgasåterföringssystem har genomförts i ett tvätteri i Bengtsfors som har en pelletseldad ångpanna med två janfirebrännare på vardera 750 kW. Tekniken är en Janfire Jet som finns i effekter från 60 kW upp till 1 000 kW. Janfire Jet för ångproduktion används främst i industrier där behovet av ånga är stort, t.ex. i tvätterier.

Jetbrännare har en patenterad teknik som bygger på en roterande förbränningstrumma med en keramiskt infodrad efterbrännkammare (figur 1). Jämfört med traditionell rosterförbränning är den aktiva bränslemängden väldigt liten vilket medför att vid plötsliga minskningar i effektuttaget finns mycket lite eftervärme kvar att hantera. Likaså hanteras snabba effektökningar genom att nytt bränsle omedelbart antänds och brinner då det genom rotationen vänds ner i glödbädden. Den roterande brännkammaren är till stor del självrengörande. Askan frigörs ur bädden vid rotationen och följer till största del med förbränningsgaserna in i pannans eldstad där den automatiska askutmatningen tar hand om den.



Figur 1. Janfire Jetbrännare med en patenterad teknik som bygger på en roterande förbränningstrumma.



## 2.2 Utveckling och installation av rökgasåterföring

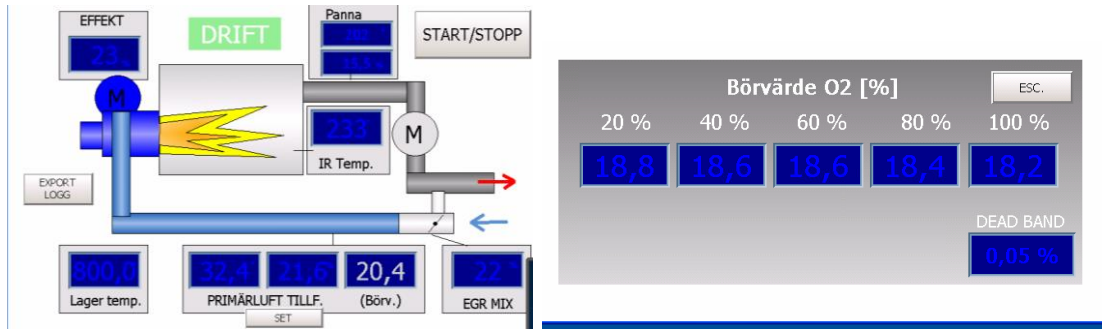
Inom projektet har Janfire dimensionerat, byggt och installerat en utrustning för rökgasåterföring på en av pelletsbrännarna i Bengtsfors (figur 2a). Utrustningen för rökgasåterföring är framtagen vid ett projekt som drevs vid högskolan i Halmstad men inte utvärderades i pilotskala. I högskoleprojektet togs en mixer fram med förinblandning av rökgaser i primärluften till en Janfire pelletbrännare. Den mixern har innan installation byggts i ett syrafast material (figur 2b- c).



Figur 2a-c. Janfirebrännare med och utan rökgasåterföring samt mixern i närbild.

Mixern, en sk spiro T-koppling, monterades på rökkanalen innan skorsten och anslöts med dubbelspjäll. På spjället finns ett ställdon på 90° men detta begränsades mekaniskt till max 60°. De mixade rökgaserna sugas fram till brännarens primärfläkt först genom Spiro-röret och sista biten med slang som anslöts med snabbfäste. Fläkten byttes ut för att klara större volymer.

Rökgasåterföringen styrs genom mätning av syrehalt i tillförd primärluft. Syrehalten mäts med en lambdasond. Reglering av mixen rökgaser/luft sköts med en PLC. Mängden inblandad rökgas definieras som O<sub>2</sub> i % lägre än ren luft. Fem börvärden för olika effekter finns att tillgå (figur 3). Brännaren varierar i normalfallet i effekt. Vid förbränningstesterna låstes effekten till 700 kW. Av figur 3 framgår ett antal parametrar som kan loggas såsom temperaturen på återförda gasen, O<sub>2</sub> på gasen, spjällets öppning i %, etc.

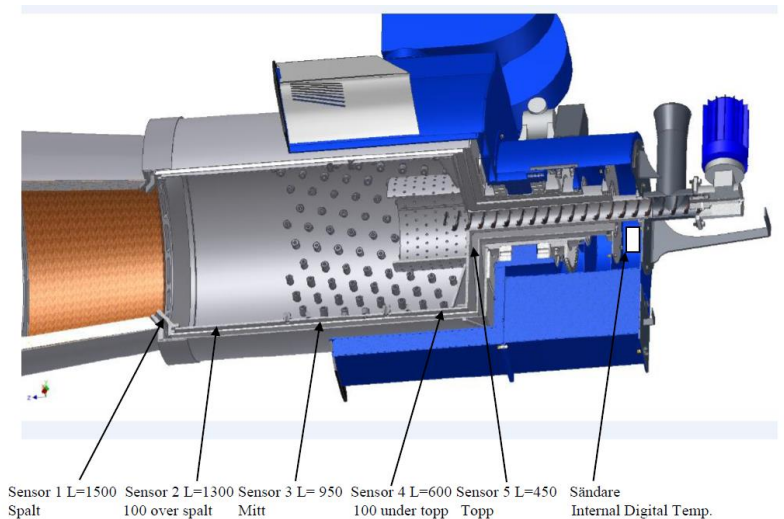


Figur 3. Exempel på parametrar som kan loggas.

Temperaturen mäts på bränslebäddens yta med en IR-mätare genom ett tithål (figur 4), samt på brännarens inre yta med termoelement monterade inne i brännaren (figur 5). Eftersom trummorna roterar tas signalen från termoelementen upp av en radiosändare. För att möjliggöra utvärdering inom projektet har även ett program tagits fram för att kunna spara de uppmätta temperaturerna.



Figur 4. IR-mätare genom ett tithål.



Figur 5. Termoelement monterade inne i brännaren.

## 2.3 Förbränningsförsök

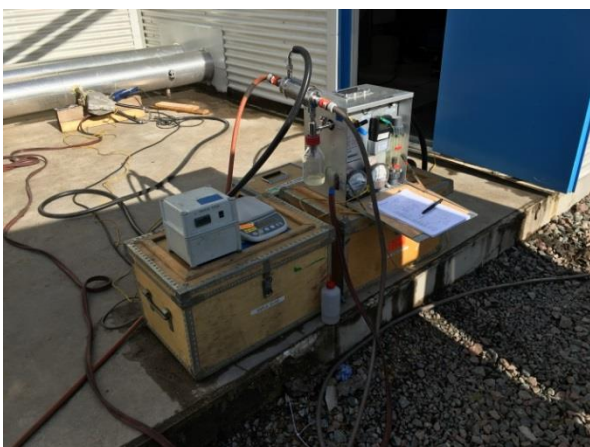
Tre förbränningsförsök med emissionsmätningar har utförts varav två tillfällen med anläggningens egna träpellets, samt ett tredje tillfälle då ett kväverikt bränsle använts i form av agropellets från Skåne frö. Vid varje försök gjordes en mätning med respektive utan rökgasåterföring och där samma inställningar användes. Varje mätserie genomfördes under tre timmar. Vid förbränningstesten med agropellets matades denna från en liten extern bränslesilo (figur 6). Effekten låstes till 700 kW vid alla försöken.



Figur 6. Inmatning av agropellets.

### 2.3.1 Provtagning av emissioner och stoft

Rökgaserna analyserades kontinuerligt under provperioden med avseende på  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , och  $\text{O}_2$ . Stoftemissionerna har bestämts genom uppsamlingsprov på filter med isokinetisk provtagning. Provtagning av totalstoft genomfördes tre gånger per mättillfälle, efter cyklon. Tiden för varje stoftprov var mellan 45 minuter till en timme.



Figur 7. Provtagning av stoft.



Figur 8. Provtagning  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ , och  $\text{O}_2$ .

### 2.3.2 Provtagning bränsle, aska

Bränsleprover och askprover togs ut under varje mätperiod. Proverna analyserades enligt standardmetoder på RISE ackrediterade bränslelaboratorium (tabell 1).

Tabell 1. Standardmetoder för bränsle och aska.

Analys	Metod
Total fukt:	CEN/TS 14774-2
Aska:	CEN/TS 14775
Svavel:	CEN/TS 15289 (svavelanalysator)
Klor:	CEN/TS 15289 A (jonkromatografi)
Kol, väte, kväve:	CEN/TS 15104
Syre:	Beräknat som differens
Värmevärde:	CEN/TS 14918 (likvärdig med ISO 1928)
Huvudelement: - Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, Ba, Na, - K, P	mod. ASTM D 3682 (ICP-OES)

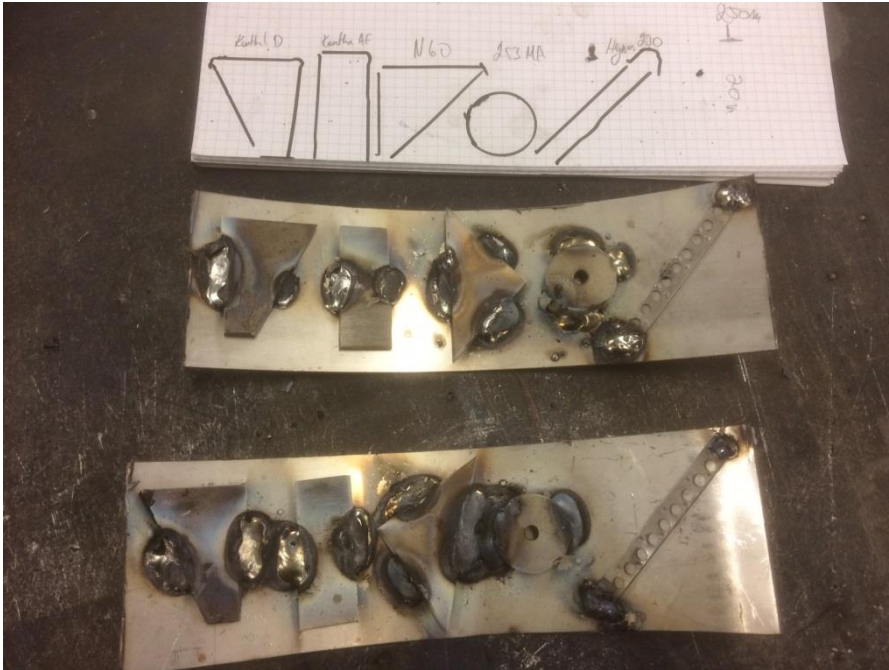
### 2.3.3 Korrosionsangrepp på material

För att undersöka hur rökgasåterföring kan påverka olika material monterades fem testmaterial på en utsatt position (sensor 2 i figur 5) i respektive brännare (med och utan rökgasåterföring). De fem materialen visas i tabell 2 och figur 9.

Tabell 2. Testmaterial för korrosionsangrepp vid förbränning.

Material	
253 MA	Fe21Cr11Ni1,7Si0,17N0,05Ce
Haynes 230	Ni22Cr14W2Mo0,5Mn0,4Si0,3Nb_FeCo
Kanthal AF	Fe22Cr5,3Al0,7Si0,4Mn
Kanthal D	Fe22Cr5Al0,5Si0,25Mn
Nitronic 60	Fe17Cr88,5Ni8Mn4Si0,13N

Anläggningen fick sedan gå i ca 1500 timmar, varefter materialbitarna togs ut och utvärderades metallografisk i ljusoptiskt mikroskop för att studera korrosionsangrepp och korrosionshastigheter.



Figur 9. Fem testmaterial för analys av korrosionsangrepp och korrosionshastigheter.

## 3 Resultat

### 3.1 Installation och rökgasåterföringens reglering

Inmontering av reglerventil och rör var en relativt enkel operation. Hänsyn fick tas till skorstenens självdrag när hålet i rökkanalen togs upp. Visst övertryck fanns i kanalen vid körning i de högre effekterna, > 70 % varvid visst läckage förekom. Detta kan lätt åtgärdas vid en permanent installation genom svetsning av stosen. Mixen av rökgas och luft gjordes nära rökgasuttaget för att minimera risken för kondensering i rör och slang mellan uttaget och brännare. Ingen besvärande kondens bildades dock under försöket.

Det bedömdes att det fanns risk för läckage av CO in i pannrummet, speciellt efter primärfläkten, varvid en CO varnare installerades som dels varnade personal med blinkfyr och dels stängde återföringen så enbart luft användes. Ingen varning eller avstängning inträffade under försöksperioden.

Regleringen av mixen rökgas/luft styrs av en PLC med vanlig PI reglering. Ett dödband av signalen fick läggas till i efterhand för att uppnå stabilitet. För mätning av syrehalten användes en lambdasond med förstärkare typ E-Controll. Känsligheten i spannet 14-21 % O<sub>2</sub> var inte korrekt utan behövde jämföras mot en vanlig rökgasanalysator. Felvisningen visade sig vara ca 2 % men stabil under hela försöket. Börvärdet korrigerades motsvarande.

För att klara den större mängden rökgaser/luft fick en större fläkt med större kapacitet monteras. Detta räckte dock inte för att kompensera den minskade totalmängden syre i primärzonen utan maxeffekten fick sänkas från 750 till 700 kW. Motsvarande fläktbyte och effektsänkning gjordes även på den andra brännaren för att få en rättvis jämförelse.

Bestämning av syrehalten (börvärden) gjordes under tre dagar efter installationen. Inblandningen av rökgas/luft startade en timma efter uppstart av brännaren. Vid ett börvärde på 16 % självslocknade brännaren. Efter test med flera blandningar bestämdes börvärdet till 18,4 %.

## 3.2 Bränslets kemiska sammansättning vid förbränningsförsöken

Tabell 3 visar bränslets kemiska sammansättning för respektive försök. Som framgår av tabellen så finns en viss variation i den kemiska sammansättningen för träpellets, framförallt vad gäller klorhalten. Agropelletts består av spannmålsavrens och har en avsevärt högre askhalt och kvävehalt jämfört med träpellets. Den höga svavelhalten beror på att ett svaveladditiv blandas in i råvaran vid tillverkningen. Det bör noteras att agrobränsle inte är lämpat för den typ av brännare som användes i projektet utan valet av bränsle gjordes p.g.a. dess höga kvävehalt.

Tabell 3. Kemisk sammansättning på bränslet som användes vid försöken.

Bränsle	Träpellets Försök 1	Träpellets Försök 2	Agropelletts
Total fukt, vikt-%	7,4	7,4	10,6
Effektiva värmevärdet MJ/kg ts	18,9	19,02	17,4
Aska, vikt-% ts	0,3	0,3	6,9
Klor vikt-% ts	0,028	<0,01	0,08
Svavel vikt-% ts	<0,011	<0,02	0,16
Kol vikt-% ts	51,3	50,4	45,7
Väte vikt-% ts	6,1	6,0	6,1
Kväve vikt-% ts	<0,11	0,05	1,9
Huvudelement			
Aluminium vikt-% ts	0,0012	0,002	0,038
Kisel vikt-% ts	0,054	0,009	0,70
Järn vikt-% ts	0,0026	0,003	0,057
Titan vikt-% ts	<0,0011	<0,001	<0,004
Mangan vikt-% ts	0,011	0,010	0,008
Magnesium vikt-% ts	0,014	0,011	0,21
Kalcium vikt-% ts	0,086	0,070	1,2
Barium vikt-% ts	0,0014	0,001	<0,004
Natrium vikt-% ts	0,0150	0,004	0,017
Kalium vikt-% ts	0,0420	0,030	0,68
Fosfor vikt-% ts	0,0067	0,004	0,31

### 3.3 Mätning av emissioner och stoft

Tabell 4 visar medelvärden (ca tre timmars mätning) för uppmätta gaskoncentrationer i rökgas. Vid mätningarna var syrehalten i tillförd primärluft 18,2 % vid försök 2 och 18,4 % vid försök 1. Som framgår av tabellen minskar NO<sub>x</sub> emissionen med ca 17-18 % vid förbränning av träpellets med rökgasåterföring. Minskningen är mindre vid förbränning av agropellets, en minskning på ca 10 %. Stoffproverna visade ingen skillnad med och utan rökgasåterföring vid förbränning av träpellets men samtidigt var värdena väldigt låga vilket gör det svårare att se en effekt. Vid förbränning av agropellets minskade stofthalterna ca 20-28 % med rökgasåterföring. Här var också halterna ca 10 gånger högre jämfört med träpellets.

Tabell 4. Medelvärden för uppmätta gaskoncentrationer i rökgas.

		Rökgas Temp.	NO <sub>x</sub> räknat som NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub> - verkligt värde	Stoft Prov 1	Stoft Prov 2	Stoft Prov 3
Försök	Bränsle	°C	mg/nm <sup>3</sup> 10% O <sub>2</sub>	mg/nm <sup>3</sup> 10% O <sub>2</sub>	%	mg/nm <sup>3</sup> 10% O <sub>2</sub>	mg/nm <sup>3</sup> 10% O <sub>2</sub>	mg/nm <sup>3</sup> 10% O <sub>2</sub>
1 Med rök- gasåterför.	Träpellets	213	108	24	4,8	-*	29,8	30,3
1 Utan rök- gasåterför.	Träpellets	219	132	20	4,9	24	24	24
2 Med rök- gasåterför.	Träpellets	217	106	31	4,9	24	21	22
2 Utan rök- gasåterför.	Träpellets	212	127	23	4,9	18	20	22
3 Med rök- gasåterför.	Agropellets	208	580	33	5,8	181	177	186
3 Utan rök- gasåterför.	Agropellets	208	638	16	5,1	226	245	244

\*Problem med kondens i provet.

### 3.4 Temperaturen i brännaren

Tabell 5 visar medelvärdet av temperaturen i brännaren vid förbränningsförsöken. Mätpunkterna är sensor 2 och sensor 3 i figur 5 sidan 10. Temperaturen IR-temp mäts ovanför bränslebädden. Som framgår av tabellen så minskar temperaturen i brännarens mitt med ca 85-105 °C för träpellets och ca 70 °C för agropellets när rökgasåterföring sker. Temperaturskillnaden var större vid försök 2 vilket beror på att börvärdet sänktes med 0,2 % O<sub>2</sub> till 18,2 %.

Tabell 5. Medelvärde av temperaturen i brännaren vid förbränningsförsöken.

Försök	Bränsle	Temp. °C brännarens inre yta- mitten	Temp. °C Framme i trumman nära sekundär spalten	IR-temp °C
1 Med rök- gasåterför	Träpellets	666	745	1014
1 Utan rök- gasåterför.	Träpellets	750	800	1052
2 Med rök- gasåterför.	Träpellets	639	678	909
2 Utan rök- gasåterför.	Träpellets	745	805	1079
3 Med rök- gasåterför.	Agropellets	675	714	755
3 Utan rök- gasåterför.	Agropellets	746	782	896

### 3.5 Askans kemiska sammansättning vid förbränningsförsöken

Tabell 6 visar askans kemiska sammansättning för respektive försök. Halten av oförbränt i askan är hög vid alla försöken men med en askhalt på 0,3 % så blir inte påverkan så stor på verkningsgraden. Som tidigare nämnts är inte agrobränsle lämpade för den här typen av panna då förbränningsutrymmet inte är anpassat till den höga askhalten. Askan från försök 1 uppvisade ovanligt höga halter av klor, svavel och kalcium vilket förklaras med variation i pelletsråvaran.

Tabell 6. Kemisk sammansättning på askan från förbränningsförsöken.

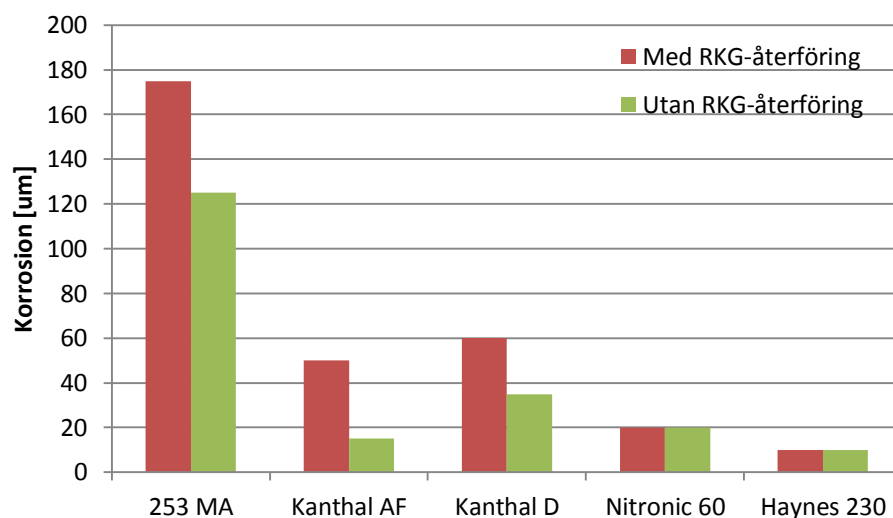
Aska	Aska träpellets Försök 1*	Aska träpellets Försök 1	Aska träpellets Försök 2*	Aska träpellets Försök 2	Aska agro* Försök 3	Aska agro Försök 3
Oförbränt glödförlust, vikt-%	49	51	69	67	80	71
Lakbar klorid, Cl-, vikt-%	0,22	0,18	0,06	0,09	0,05	0,07
Svavel vikt-% ts	0,33	0,22	0,14	0,17	0,13	0,19
Aluminium vikt-% ts	0,42	0,46	0,35	0,33	0,16	0,17
Kisel vikt-% ts	1,6	1,9	1,8	1,5	1,2	2,0
Järn vikt-% ts	0,57	0,73	0,48	0,46	0,25	0,29
Titan vikt-% ts	<0,03	<0,03	<0,02	<0,02	<0,01	<0,02
Mangan vikt-% ts	1,6	1,7	0,97	1,2	0,46	0,45
Magnesium vikt-% ts	1,9	2,1	1,3	1,5	0,74	1,05
Kalcium vikt-% ts	16	15	7,8	9,1	4,4	6,3
Barium vikt-% ts	0,18	0,21	0,13	0,15	0,06	0,06
Natrium vikt-% ts	0,59	0,41	0,37	0,33	0,18	0,19
Kalium vikt-% ts	2,6	2,2	3,1	2,6	2,2	3,1
Fosfor vikt-% ts	0,62	0,72	0,62	0,65	0,52	0,99

\*Med rökgasåterföring

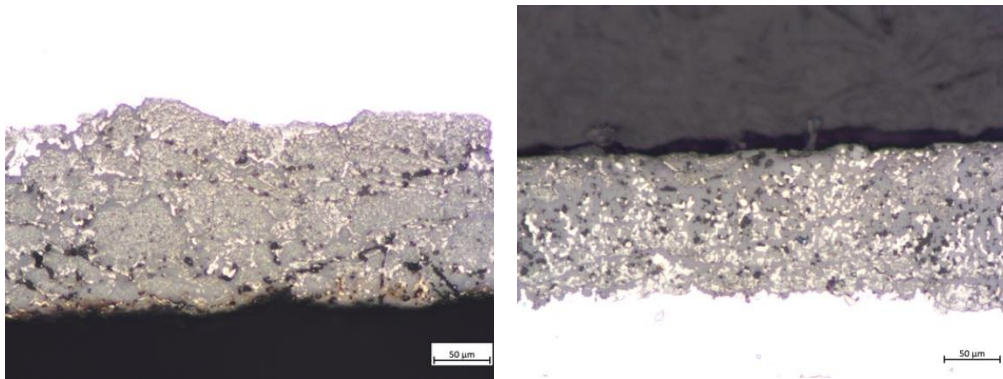


### 3.6 Korrosionsangrepp på material

Figur 10 nedan visar omfattningen av korrosionsangreppen på alla testade material. Proverna exponerades ca 1500 h vid en temperatur från 700 -800 °C där den lägre temperaturen avser med rökgasåterföring. Av diagrammet framgår att rökgasåterföringen har haft motsatt effekt. För stålet 253 MA är korrosionshastigheten ca 30 % lägre utan rökgasåterföring. Det är också stålet som korroderar mest av alla legeringar (figur 11). Kanthal AF uppvisar nästan 60 % mindre korrosion och Kanthal D ca 40 % mindre utan rökgasåterföring. Nitronic 60 och Haynes 230 verkar inte påverkas av rökgasåterföring men exponeringstiderna kan vara för korta för denna typ av material. Det kan finnas flera förklaringar till att korrosionen har ökat vid rökgasåterföring trots att materialet utsatt för lägre temperaturer. En förklaring kan vara att agrobränsle som innehåller mer klor och kalium kördes i pannan med rökgasåterföring under en dag. En ev beläggning kan ha bildats över materialen som kan ha påverkat korrosionen. En annan förklaring är att glödbädden upplevdes blir kraftigare (mörkare) och lågan kortare vid rökgasåterföring vilket ev kan påverka korrosionen. Resultatet är dock förvånande då en lägre temperatur inte bör resultera i en högre korrosionshastighet. Korrosionsförsöken kommer nu att upprepas och nya materialplattor kommer att monteras i brännarna.

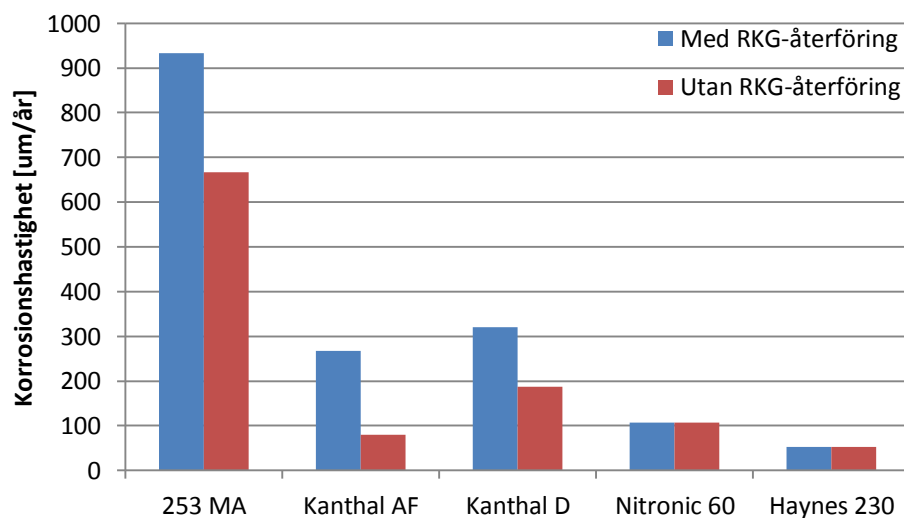


Figur 10. korrosionsangreppen på alla testade material med och utan rökgasåterföring.



Figur 11. Den vänstra bilden visar ett ca 175 µm tjockt korrosionsskikt som bildats med rökgasåterföring och den högra bilden visar ett ca 125 µm som bildats utan rökgasåterföring på materialet 253 MA.

Figur 12 visar korrosionshastigheter extrapolerade till 1 år. Osäkerheten är förstås stor men det ger en fingervisning om materialen är lämpliga eller ej. Stålet 253 MA ger en korrosionshastighet på närmare 1 mm/år med rökgasåterföring. Vad gäller de andra materialen är Nitronic och Haynes för dyra material för att de ska löna sig att ersätta 253 MA. Kanthal används idag för vissa applikationer i brännarutrustningen.



Figur 12. Korrosionshastigheter extrapolerade till 1 år alla testade material med och utan rökgasåterföring.

## 4 Slutsatser

I det här projektet har ingått att undersöka effekten av ett rökgasåterföringssystem på emissioner av NO<sub>x</sub> och stoft, samt korrosionsangrepp på olika material i en pelletsbrännare.

Slutsatser från projektet är:

- Resultatet från projektet visar att överlag har installation och reglering av O<sub>2</sub>-halten för rökgasåterföringssystemet lösts på ett väl fungerande sätt och fungerat som planerat.
- Rökgasåterföringen hade effekt på NO<sub>x</sub> emissionerna. Dessa minskade med ca 17-18 % vid förbränning av träpellets och med ca 10 % vid förbränning av kväverika agropellets i jämförelse till utan rökgasåterföring.
- Rökgasåterföring hade ingen effekt på stofhalterna vid förbränning av träpellets men halterna var också väldigt låga, <25 mg/nm<sup>3</sup> vid 10 % O<sub>2</sub>.
- Rökgasåterföring hade effekt på stofhalterna vid förbränning av agropellets. Halterna minskade med ca 24 % i jämförelse till utan rökgasåterföring.
- Med rökgasåterföring minskade temperaturerna i förbränningsugnen med 85-105 °C för träpellets och ca 70 °C för agropellets.
- Med rökgasåterföring ökade korrosionsangreppen på tre av fem testade material efter 1500 h exponering.
- Eftersom en lägre temperatur inte bör resultera i en högre korrosionshastighet bör försök med samma material som exponeras i 1500 h att upprepas. Detta för att utesluta att en ev beläggning kan ha bildats över materialen vid förbränningen av agropellets som kan ha påverkat korrosionen samt för att bekräfta effekten av en förändrad glödbädd vid rökgasåterföring.

## 5 Referenser

Rökgasåterföringssystem pelletsbrännare, A. Ingvarsson, N.Winblad, H.Angantyr, F. Hammarström, projekt inom Utvecklingsingenjörsprogrammet)

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden  
Box 857, 501 15 BORÅS  
Telefon: 010-516 50 00  
E-post: [info@ri.se](mailto:info@ri.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se) / [www.ri.se](http://www.ri.se)

Energi och Cirkulär  
Ekonomi  
RISE Rapport 2017:61  
ISBN 978-91-88695-28-4