

HÖGTEMPERATURKORROSION I PANNOR ELDADE MED RETURTRÄ

RAPPORT 2017:357



Högtemperaturkorrosion i pannor eldade med returträ

PAMELA HENDERSON

ISBN 978-91-7673-357-8 | © ENERGIFORSK februari 2017

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Projektet har genomförts inom ramen för sjätte etappen av materialforskningsprogrammet KME, Konsortiet materialteknik för termiska energiprocesser, som pågår 2014–2018. KME bildades 1997 och i den senaste etappen har åtta industriföretag och 14 energiföretag deltagit. KME leds av Energiforsk.

KME:s syfte är att genom material- och processteknisk utveckling möjliggöra förbättringar av termiska energiprocesser så att förnybara bränslen och avfall effektivt kan användas för el- och värmeproduktion. KME har som mål att uppnå ökad elproduktion, förbättrad bränsleflexibilitet och förbättrad driftflexibilitet.

KME:s verksamhet kännetecknas av långsiktig näringslivsrelevant forskning och utgör en viktig del i den samlade insatsen för att främja utvecklingen av ny energiteknik i syfte att skapa ett långsiktigt hållbart energisamhälle.

Pamela Henderson, Vattenfall, har varit projektledare. Övriga projektdeltagare: Mattias Mattsson, Vattenfall AB R&D, Carl Nordenskjöld Vattenfall AB Värme Norden, Yousef Alipour och Peter Szakalos KTH, Rikard Norling och Annika Talus från Swerea-KIMAB samt Anders Hjörnhede och Fredrik Niklasson från SP.

Vattenfall, E.ON Värme, Amec Foster Wheeler, Fortum Värme, Sandvik Heating Technology och Sandvik Materials Technology har deltagit i projektet genom egna insatser. Energimyndigheten har finansierat de akademiska utförarna KTH, Swerea-KIMAB och SP. Projektet har även haft en referensgrupp bestående av projektdeltagarna och representanter från Babcock & Wilcox Völund, Andritz och Chalmers.

Rapporten är en kortrapport av den fullständiga engelska KME-rapporten som kommer att skrivas under 2017.

Bertil Wahlund

Energiforsk

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Andelen returträ som används som bränsle i kraftvärmeverk ökar hela tiden, eftersom det är CO₂-neutralt och billigare än jungfruligt trädbränsle såsom skogsflis. Returträ orsakar dock större korrosionsproblem, särskilt i eldstadens syrefattiga områden (orsakade av låg-NO_x-förbränning). Projektet syftade till att hitta kostnadseffektiva sätt att minska korrosionen, för att minska underhållskostnaderna eller öka bränsleflexibiliteten och för att öka elverkningsgraden i nya pannor. Detta uppnåddes genom:

- (1) Att hitta ytbeläggningsmaterial som är mer kostnadseffektiva än konventionella Ni-bas legeringar (till exempel billigare eller mer korrosionsbeständiga).
- (2) Att få en bättre förståelse för sambandet mellan bränslekvalitet (bränslekemi) och korrosion.
- (3) Att utvärdera resultat från korttidsförsök med rötat avloppsslam för att kunna fatta beslut om att gå vidare (eller ej) med långtidsprovning med slam som additiv i en andra etapp av projektet.

Korrosionsprovning med sonder har utförts huvudsakligen av Vattenfall och E.ON i egna fluidiserad-bädd-pannor som använder returträ. Många olika legeringar provades, bland annat aluminumbildande legeringar och austenitiska rostfria stål från svenska tillverkare. Alloy 625, en nickelbas legering som ofta tillämpas som ytbeläggning i eldstäder, användes som referens.

Korrosionstester genomfördes också med olika kvaliteter av RT-flis (hög Pb och Cl respektive lägre Pb och Cl) som är kommersiellt tillgängliga. Två-veckors tester genomfördes i eldstaden och 3-timmars tester vid överhettare i Vattenfalls panna och 8-timmars försök genomfördes i laboratorieskala med samma bränslen i SP:s fluidiserad-bädd-reaktor. Proverna (sonderna) utvärderades efteråt av Swerea-KIMAB.

KTH och Swerea-KIMAB analyserade sondprover från korttidsprovning med tillsats av rötat avloppsslam (som härrörde från ett tidigare projekt, KME 508).

Resultaten visade att

- (1) Låglegerade stål visade höga korrosionshastigheter, medan austenitiska rostfria stål, FeCrAl-legeringar och Ni-bas-legeringar visade bra resultat (låg korrosion). Några legeringar uppvisade lika bra korrosionsegenskaper som Alloy 625.
- (2) Små skillnader i klorhalt i bränslet (i spannet 0,1-0,2 vikts-%) orsakar stora skillnader i korrosionshastighet (högre Cl-halt ger högre korrosionshastighet). Korrosionshastigheten kan minskas med bra kontroll av bränslekemin.
- (3) Samförbränning med rötat avloppsslam minskar den initiala korrosionen vilket betyder att ytterligare försök, där korrosionen på längre sikt studeras, kommer att genomföras i etapp 2.

Dessutom har Sandvik Heating Technology utvecklat en svetsprocedur för påsvetsning av eldstadstuber med FeCrAl-legeringen APMT. En tub med flera ytbeläggningar, inklusive APMT har installerats i en fluidiserad-bädd panna för långtidsutvärdering i etapp 2 av projektet.

Summary

Increasing use is being made of used (recycled) wood as a fuel in heat and power boilers, because it is cheaper than virgin wood. However, waste wood causes more corrosion problems, especially in the furnace where there is a lack of oxygen (low NO_x combustion). This project sought to find cost effective ways of reducing the corrosion, thus saving maintenance costs, increasing fuel flexibility or increasing the electrical efficiency. This was achieved by:

- (1) Finding wall coating materials that are more cost-effective than conventional Ni-base alloys (i.e. cheaper or more corrosion resistant).
- (2) Obtaining a better understanding between fuel quality (fuel chemistry) and corrosion
- (3) From results of short-term testing with digested sewage sludge decide to proceed (or not) with long-term testing of sludge as an additive, i.e. decision to run part 2.

Corrosion testing with probes has been performed mainly by Vattenfall and E.ON in their own fluidized bed boilers which used recycled wood. Many different alloys were tested, including alumina-forming alloys and stainless steels from Swedish manufacturers. Alloy 625, a nickel-base alloy which is often applied as a coating on furnace walls, was used as a reference.

Corrosion tests were also performed with different qualities of used wood (high Cl, high Pb and lower Cl, lower Pb) which were commercially available. Tests lasting 2 weeks were performed at the furnace walls and tests lasting 3 hours were performed at the superheaters in Vattenfall's power plant. Tests lasting 8 hours were performed in SP's laboratory reactor with the same fuel batches. The probe specimens were evaluated afterwards by Swerea-KIMAB.

KTH and Swerea KIMAB analysed specimens from short-term testing with additions of digested sewage sludge (obtained during the previous project KME 508).

The results showed that:

- (1) Low alloyed steels exhibited high corrosion rates, while austenitic stainless steels, FeCrAl alloys and Ni-base alloys gave good results (low corrosion). Some alloys were identified that showed similar corrosion rates to Alloy 625.
- (2) Small differences in fuel chlorine content (in the range 0.1 to 0.2 weight %) resulted in large differences in the corrosion rate. (A higher Cl- level gives higher corrosion rates).
- (3) Co-combustion of used wood with digested sewage sludge reduces the initial corrosion which means that longer exposures will be performed in stage 2.

In addition, Sandvik developed a welding procedure for cladding furnace wall tubes with the FeCrAl- alloy APMT. A tube with several coatings, including APMT has been installed in a fluidized bed boiler for long-term evaluation in stage 2.

Innehåll

1	Inledning och bakgrund	7
2	Genomförande	9
3	Resultat	11
3.1	Materialval	11
3.2	Bränslekvalitet – klorhalt	11
3.3	Rötat avloppsslam	13
4	Diskussion	14
5	Referenser, källor	15

1 Inledning och bakgrund

Förbränning av biomassa och avfall utgör ett allt större bidrag till Sveriges energiproduktion och minskar beroendet av icke förnybara energikällor och därmed CO₂-utsläpp. För att minska driftskostnaderna (vilket är särskilt viktigt när elpriserna är låga) används ofta bränslen av låg kvalitet, som returträ (RT-flis), istället för skogsflis (jungfrulig biomassa). RT-flis består av biprodukter från konsumtion, såsom rivnings- och byggavfall och innehåller ofta spår av färg eller plast och andra polymerer. Detta ger upphov till en ökning av mängden klor, zink och bly i bränslet som tros öka korrosionsrisken för pannkomponenter, jämfört med rent biobränsle.

Problem har uppstått med eldstadskorrosion med så låg RT-flis inblandning som 20 %, i kombination med låg-NO_x-förbränning och avancerade ångdata, cirka 140bar/540 ° C. I Vattenfalls panna i Idbäcken, Nyköping (100MWth BFB bubblande fluidiserad bädd, 100 % RT-flis), uppmättes korrosionshastigheter på upp till 1,5 mm per år på väggar av 16Mo3 (låglegerat stål). Denna korrosionshastighet ger en livslängd på 3 år. En ny eldstadsvägg för en panna av denna storlek kostar runt 25 miljoner kronor.

Väggarna har sedan dess påsvetsas med nickelbaslegering (Alloy 625) för att minska korrosionen, men även denna legering korroderar (med en lägre takt) så problemet är inte löst. Dessutom är Ni-baslegeringar dyra. Det finns en stor brist på arbete inom ämnet eldstadskorrosion i bioeldade pannor och p.g.a. detta började man forskning inom området för några år sedan inom KME.

Syftet med projektet är att minska högtemperaturkorrosion, på ett kostnads-effektivt sätt, i kraftvärmepannor som eldar främst returträ. Detta sker med val av legering till tub-ytbeläggningar, kontroll över bränslesammansättning och tillämpning av billiga (eller kostnadsfria) additiv till returträ. Merparten av arbetet har inriktats mot eldstadsväggar.

Tidigare arbete visade att ytbeläggningar av austenitiska rostfria stål kan vara ett konkurrenskraftigt alternativ till Ni-baslegeringar och preliminära resultat med aluminiumoxid-bildande legeringar (i jämförelse med kromoxidbildande) visade att dessa FeCrAl-legeringar, såsom Kanthal APMT, hade mycket låga korrosionshastigheter vid eldstadsväggstemperaturer (400°C), som matchar de för Ni-baslegeringar, [1]. Dessa alternativ har utvärderats ytterligare i projektet så att pannägare och -tillverkare kan ha förtroende för att använda dem i stället för traditionella Ni-baslegeringar.

Initiala resultat från KME 512, [2], visade att Pb-halten i bränslet påverkar korrosionshastigheten för låglegerade stål. (Mer bly ger mer korrosion). Klor- och blynivåerna i RT-flis varierar beroende på ursprung / leverantör av bränslet. Även om leverantörerna inte kan nämnas (eftersom det är konkurrenskänslig information) så har korrosion orsakad av RT-flis med olika karakteristiska kemiska sammansättningar undersökts.

Även preliminära resultat från sameldning med rötat avloppsslam har visat att slammet minskar eldstadskorrosion och det ligger till grunden för beslutet att försätta med långtidsprovning av slam inom etapp 2.

Projektet startade september 2014 och avslutades i december 2016. Vattenfall AB har agerat som projektledare, satsat 2,83 MSEK i egen tid och interna kostnader och gjort

merparten av anläggningstesterna. Dessutom har Pamela Henderson (Vattenfall) agerat som huvudhandledare till doktoranden Yousef Alipour på KTH. Övriga deltagare och finansiering har angivits under Förord.

2 Genomförande

Vattenfall AB utförde korrosionsprovning med sonder vid Vattenfalls 100MWth BFB-panna i Nyköping. Denna panna använder 100 % RT-flis och höga korrosionshastigheter har tidigare uppmätts i den nedre av eldstaden, där korrosionsprovning nu utfördes.

För att jämföra olika legeringars korrosionshastigheter genomfördes flera sondtester som varade ca 6 veckor (1000 timmar).

För att jämföra två olika RT-leveranser/kvalitéer genomfördes sondtester som varade i två veckor (330 timmar) i eldstaden och provmaterialen var 16Mo3 (låglegerat stål som används i obelagda pannväggar) samt Alloy 625 (Ni-bas legering som används som påsvetsmaterial på 16Mo3). Vattenfall har utvecklat en speciell sond för detta ändamål, som innehåller fyra provbitar och kan insättas vertikalt i slitsar gjorda i fenorna mellan två tuber i eldstadsväggen (se Figur 1).

Vattenfall genomförde även tester med avlagringssonder som varade i tre timmar med två olika RT-leveranser/kvalitéer. (Testerna genomfördes i samband med provningen i eldstaden). Sonderna var placerade nära överhettare och innehöll ringar med tre olika temperaturer, 350°C, 450°C och 550°C. Ringarna vid 350 och 450°C var gjorda av SS2216 (låglegerat stål) och vid 550°C av SS2352 (rostfritt stål) som speglade ståltypen i överhettarna vid olika temperaturer.



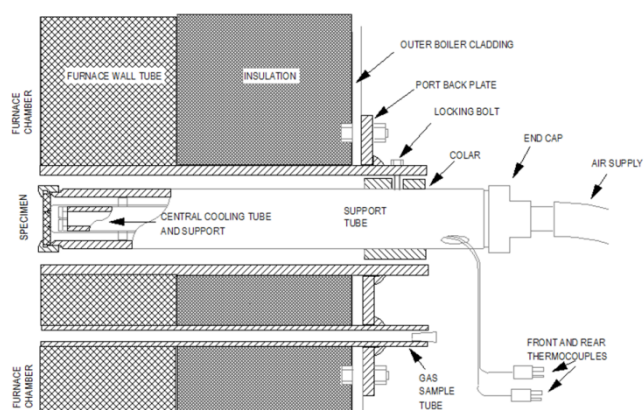
Figur. 1 Övre vänster. Del av en eldstadsvägg före installation i en panna. Väggen består av tuber svetsade tillsammans med en fena i mellan.

Övre höger Slitsen i fenen mellan tuberna där sonden kommer att sitta, sedd från utsidan av pannan. Obs, pannan är i drift.

Nedre. Vattenfalls sond efter exponering i pannan.

E.ON utförde korrosionsprovning med sonder i E.ON:s egna panna, Blackburn Meadows, Storbritannien, en 97MW BFB-panna som också använder 100 % RT-flis. E.ON också har utvecklat en egen eldstadssond, se figur 2. Provning i eldstaden pågick i 70 timmar och provning nära överhettare pågick i 890 timmar. Även Amec Foster Wheeler gjorde korrosionsprovning med en egen eldstadssond.

Tester i laboratorieskala utfördes av SP i deras fluidbädd-reaktor med samma bränsle som Vattenfall använde.



Figur. 2 Skiss över E.ONs eldstadssond som sitter i pannvägg. Sonden har 31 mm diameter.

KIMAB och KTH analyserade avlagrings- och korrosionsprover från Vattenfall och SP. Analyserna gjorde med svepelektronmikroskopi med energidispersiv spektrometri (SEM - EDS). FIB (Focused Ion Beam) användes för att ta fram tvärsnitt av korrosionsfronten under oxidskiktet. Röntgendiffraktion (XRD) användes för att identifiera kristallina faser.

3 Resultat

3.1 MATERIALVAL

Amec Foster Wheeler provade de låglegerade stålen 16Mo3 och 13CrMo4-5 vid 300°C och 360°C (sondtemperaturer) i eldstaden i Händelö P15 som eldar 100 % RDF. Provningsen pågick under fyra månader och korrosionen var omfattande. Även sonden som gjordes av rostfritt stål (253MA) korroderade påtagligt.

I E.On:s BFB-panna i Blackburn Meadows provades:

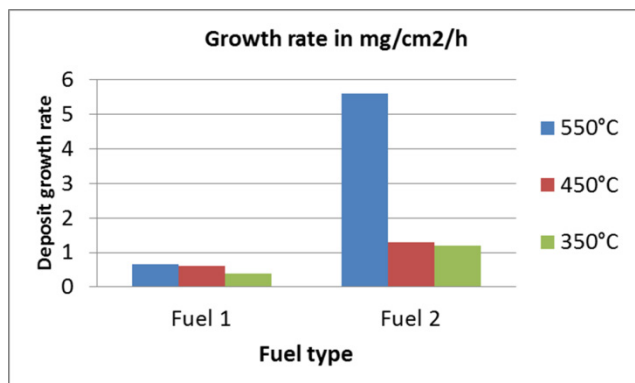
- de ferritiska stålen 16Mo3, T22 (2,25 % Cr) och X20CrMoV121 (12 % Cr) i temperaturområdet 430°C -530°C vid överhettarna. Korrosionshastigheten var hög hos 16Mo3 och T22 och dessa stål är olämpliga som överhettarmaterial när RT eldas. X20 visade lägre korrosionshastigheter än 16Mo3 och T22 men högre än 60µm per 1000h.
- de rostfria stålen Esshete 1250 och TP 310 samt nickelbaslegeringar HR11N och Super 625. De fungerade bra som legeringar till överhettare vid 530°C, dvs korrosionen var under 25µm per 1000h.
- Fe20Cr5Al, 50Cr50Ni och IN 625 som fungerade ännu bättre som ytbeläggningar till överhettare.
- 16Mo3 vid 360°C. Materialet visade rimliga korrosionshastigheter efter 70 timmars exponering i eldstaden, och ytbeläggningar gjorda av Fe20Cr5Al, 50Cr50Ni och nickelbaslegeringar C276 och IN625 visade extremt låga korrosionshastigheter.

Resultat från Vattenfalls 1000-timmars korrosionsprovning i eldstaden vid 400°C visade att Alloy 625 och Sandviks experimentlegering fungerade bäst och visade korrosionshastigheter under 20µm per 1000 timmar. Kanthal APMT och Sanicro 28 fungerade också bra.

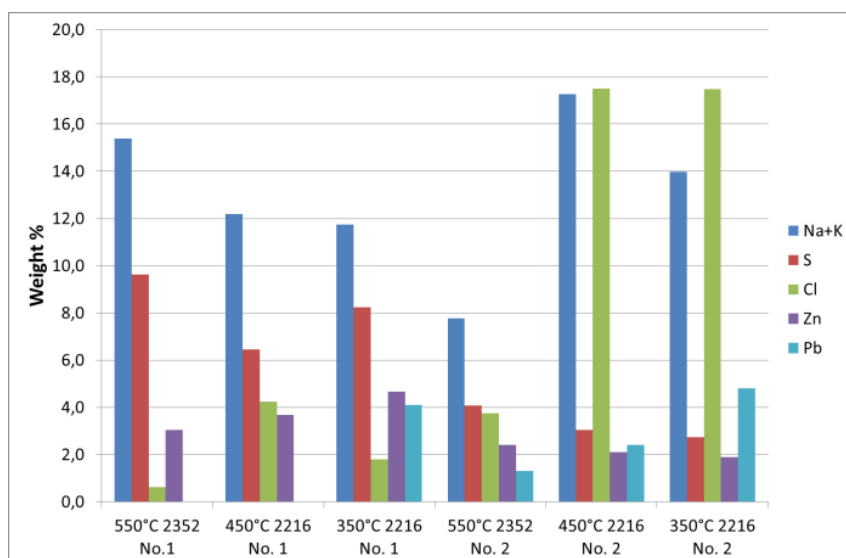
3.2 BRÄNSLEKVALITET – KLORHALT

Returträ med olika klor- och blyhalter visade stora skillnader. Figur 3 visar avlagringens tillväxthastighet nära överhettarna vid 3 olika metalltemperaturer efter tre timmars exponering. Bränslet med högre Pb- och Cl-halter gav snabbare beläggningstillväxt speciellt vid 550°C som motsvarar en ångtemperatur på 520°C. Figur 4 visar kemisk sammansättningen vid de tre temperaturer. Bränslet med hög klor- och blyhalter gav högre klorhalter i avlagringar vid alla temperaturer men särskild vid 350°C och 450°C och högre blyhalter vid 550°C och 450°C. Svavelhalten i avlagringar var lägre, trots samma svavelhalt i båda bränslen. Figur 5 visar att bränslet med hög klor- och blyhalt orsakade mer korrosion i eldstaden – 3 gånger mer korrosion på Alloy 625 och 6 gånger mer korrosion på det låglegerade stålet 16Mo3.

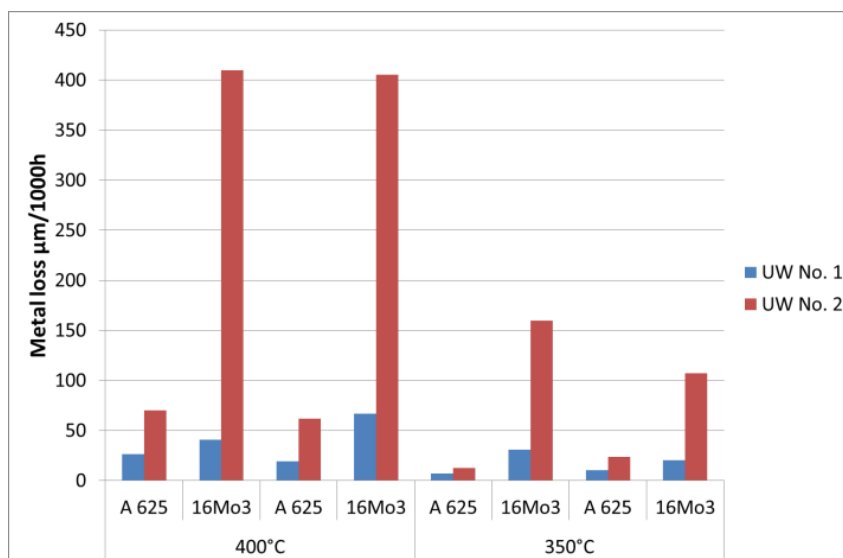
Mikroskopering av exponerade prover visar att bly- och klorföreningar hittades i samband med korrosionsfronten.



Figur. 3 Fuel 1 (Bränsle 1 – låg Cl- låg Pb-halt). Fuel 2 (Bränsle 2 hög Cl-, hög Pb-halt). Avlagringens tillväxthastighet i överhettarpositioner vid 3 olika metalltemperaturer efter tre timmars exponering.



Figur 4 Fuel No.1 (Bränsle 1 – låg Cl- låg Pb-halt). Fuel No.2 (Bränsle 2 hög Cl-, hög Pb-halt). Nyckelämnen i avlagringarna i överhettarpositioner vid 3 olika metalltemperaturer efter tre timmars exponering. Bränsle 2 ger högre klorhalter vid alla temperaturer men särskild vid 350°C och 450°C. Bränsle 2 ger högre blyhalter vid 550°C och 450°C.



Figur 5 UW No.1 (Bränsle 1 – låg Cl- låg Pb-halt). UW No.2 (Bränsle 2 hög Cl-, hög Pb-halt). Korrosionshastigheter efter 2 veckors exponering i eldstaden. Temperatur på en sond var 350°C och på den andra 400°C. Bränsle 2 orsakade 3 gånger mer korrosion på Alloy 625 och 6 gånger mer korrosion på den låglegerat stålet 16Mo3 än Bränsle 1.

Bränslet med hög klor- och blyhalt orsakade mer korrosion i eldstaden och högre klorhalter på överhettarsonder indikerar att det utgör en högre korrosionsrisk. Resultaten från laborietester och exponering i anläggningen var överensstämmande med varandra.

3.3 RÖTAT AVLOPPSSLAM

Korttidstest (15 timmar) med rötat avloppsslam visade att den initiala korrosionen minskade i alla undersökta prover. Avancerad mikroskopi visade att slammet förhindrade angrepp orsakade av K, Na, Cl och Pb.

4 Diskussion

Projektet visade flera sätt att minska högtemperaturkorrosion i kraftvärmepannor som eldar returträ. En minskning av korrosionen leder till minskade underhållskostnader och ökad tillgänglighet, vilket gynnar användningen av värme och el från sådana kraftvärmeverk. En minskning av korrosionen underlättar också en ökning i ångtemperatur vilket ökar elverkningsgraden.

Bra materialval till överhettare och till ytbeläggningar på eldstadsvägen kan minska korrosionshastigheten. Några avancerade stål identifierades som har liknande korrosionsegenskaper som nickelbaslegeringar, men är 30 % till 50 % billigare.

Returträ kan köpas från olika leverantörer. Det är inte ovanligt att klorhalten ligger inom spannet 0,05-0,25 vikt-% och blyhalten mellan 30 och 150 ppm [3]. Resultaten att låga klor- och blyhalter bidrar till att minska korrosionen kan användas av pannägare för att minska driftkostnader.

Rötat avloppsslam minskade korrosionen i alla undersökta eldstadsprover. Det var tidigare känt att slammet minskar korrosionen vid överhettare, [4-6] men inte i eldstaden. Eftersom slammet har en negativ kostnad (pannägare får betalt för att ta emot det) bidrar slammet till att minska driftkostnader samtidigt som det minskar underhållskostnader genom sänkt korrosion. Eftersom exponering med slam pågick under bara 15 timmar är det viktigt att verifiera resultaten med en längre tids exponering.

5 Referenser, källor

1. FURNACE WALL CORROSION IN BIOMASS-FIRED BOILERS AT HIGHER STEAM TEMPERATURES AND PRESSURES
Pamela Henderson, Yousef Alipour, Mattias Mattsson, Annika Stålenheim, Christer Forsberg, Carl Nordenskjöld *et al.* KME 508 . Final report (2014)
2. FUEL ADDITIVES TO REDUCE CORROSION AT ELEVATED STEAM DATA IN BIOMASS BOILERS Annika Stålenheim, Maria Jonsson, Michal Glazer, Elin Edvardsson, Anders Hjörnhede, Fredrik Niklasson, Patrik Yrjas *et al.* KME 512 Final report (2014).
3. BRÄNSLEHANDBOKEN 2012.
B. Strömberg och S. Herstad Svärd.
Värmeforskrappport 1234. (2012)
4. SEWAGE SLUDGE AS ADDITIVE TO REDUCE THE INITIAL FIRESIDE CORROSION CAUSED BY COMBUSTION OF SHREDDER RESIDUES IN A WASTE-FIRED BFB BOILER
T. Jonsson , J. Pettersson, K. Davidsson, L-G. Johansson and J-E. Svensson.
Proceedings of 9th Liege Conference : Materials for Advanced Power Engineering 2010 edited by J. Lecomte-Beckers, Q. Contrepois, T. Beck and B. Kuhn.
5. CO-FIRING OF SEWAGE SLUDGE WITH BARK IN A BENCH-SCALE BUBBLING FLUIDIZED BED –A STUDY OF DEPOSITS AND EMISSIONS
Patrik Yrjas, Martti Aho, Maria Zevenhoven, Raili Taipale, Jaani Silvennoinen, and Mikko Hupa.
Proceedings of the 20th International Conference on Fluidized Bed Combustion. 2010.
Edited by Guangxi Yue, Hai Zhang, Changsui Zhao and Zhongyang Luo. Springer (2010).
6. ADDITIVE FOR REDUCING OPERATIONAL PROBLEMS IN WASTE FIRED GRATE BOILERS Marianne Gyllenhammar, Solvie Herstad Svärd, Kent Davidsson, Sven Hermansson, Jesper Liske, Erik Larsson, Torbjörn Jonsson, Dongmei Zhao. Waste Refinery WR 47, (2013).

HÖGTEMPERATURKORROSION I PANNOR ELDDE MED RETURTRÄ

Andelen returträ som används som bränsle i kraftvärmeverk ökar eftersom det är koldioxidneutralt och billigare än annat trädbränsle. Men returträ orsakar större problem med korrosion särskilt i eldstadens syrefattiga områden.

Forskningen har här syftat till att hitta kostnadseffektiva sätt att minska korrosionen, för att minska underhållskostnaderna eller för att öka bränsleflexibiliteten och elverkningsgraden i nya pannor. Syftet är att hitta nya ytbeläggningmaterial som exempelvis är billigare eller mer korrosionsbeständiga än konventionella Ni-bas legeringar.

Korrosionsprovning har utförts i fluidiserad-bädd-pannor som använder returträ. Olika legeringar provades, bland annat aluminiumbildande legeringar och austenitiska rostfria stål från svenska tillverkare. Tester har också gjorts med olika kvaliteter av RT-flis.

Resultaten visar höga korrosionshastigheter för låglegerade stål, medan austenitiska rostfria stål, FeCrAl-legeringar och Ni-bas-legeringar medförde en låg korrosion. Intressant var också att små skillnader i klorhalt i bränslet orsakade stora skillnader i korrosionshastighet, men att hastigheten kan minskas om man har en bra kontroll av bränslekemin.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se