

METALL-POLYMER-KOMPOSIT FÖR FÖRBÄTTRADE SLÄPPNINGSEGENSKAPER I KRAFTVÄRMEVERK

RAPPORT 2018:485



Metall-polymer-komposit för förbättrade släppningsegenskaper i kraftvärmeverk

KME 715

MATTI HUHTAKANGAS, RAGNA ELGER, LEYLA WICKSTRÖM, RIKARD NORLING

ISBN 978-91-7673-485-8 | © Energiforsk april 2018

Energiforsk AB | Tel: 08-677 25 30 | E-mail: 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 inkluderar företag över hela värdekedjan från materialtillverkare, tillverkande industriföretag och energiföretag (anläggningsägare). 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 och efterfrågestyrd 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.

Matti Hutakangas, MH Engineering, har varit projektledare. Övriga projektdeltagare: Ragna Elger, Leyla Wickström, Rikard Norling, Swerea KIMAB, Henrik Wangsell och Fredrik Joelsson, Öresundskraft, samt Sören Aakjaer Jensen, Ørsted.

MH Engineering, Ørsted (tidigare DONG Energy) och Öresundskraft har deltagit i projektet genom egna insatser. Energimyndigheten har finansierat de akademiska utförarna Swerea KIMAB. Projektet har även haft en referensgrupp bestående av Pamela Henderson, Vattenfall, och Bo Jönsson, Kanthal.

Rapporten är en kortrapport av den fullständiga engelska KME-rapporten.

Författarna och Energiforsk vill tacka alla deltagare för det väl genomförda projektet.

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

Kraft- och värmeproduktion med avfall eller biobränsle medför ofta kraftiga avlagringar på ytor i kraftvärmeverken. Om ytskikten kunde förändras så att mindre mängd avlagringar fick fäste, skulle pannan bland annat kunna få bättre el- och värmeeffektivitet. CMP-beläggningar är en kandidat i detta arbete.

Kraft- och värmeproduktion med biobränsle, returträ och olika slags avfall medför ofta kraftiga avlagringar på ytor i kraftvärmeverken. Det gör att de värmeöverförande ytorna blir mindre effektiva och mindre el och värme produceras i pannan. Det gör också att problemen med korrosion under beläggningarna ökar och att mer underhåll behövs jämfört med om inga avlagringar bildades. Ett ytskikt med goda korrosions- och erosionsegenskaper som samtidigt försvårade att avlagringar fick fäste, skulle kunna minska mängden avlagringar. Det skulle ge ökad el- och värmeeffektivitet, högre tillgänglighet för pannan, ökad bränsleflexibilitet, minskad miljöpåverkan och lägre underhållskostnader.

Målet med arbetet var att göra en studie av egenskaperna hos en ny metall-polymer-komposit (CMP) baserad på ett termiskt sprutat skikt av en nickelbaslegering och ovanpå det ett polymerskikt (toppskikt). Tanken med kompositskiktet var att avlagringen inte skulle fastna lika lätt som på en metallyta.

I projektet har olika toppskikt exponerats i kraftvärmeverk som eldats med biobränsle. De olika typerna av toppskikt var polymerbaserade, grafitbaserade eller bornitridbaserade. Längden på exponeringarna har varierat mellan en säsong och två säsonger. Dessutom har prover exponerats i slitningstester. Undersökningar av de exponerade proverna har gjorts visuellt samt med elektronmikroskopi kombinerat med energidispersiv röntgenanalys (SEM/EDS).

Av de undersökta toppskikten, fungerar det material som innehåller PTFE (teflon) bäst avseende slitage och toppskiktets täckningsgrad efter exponering. Dessa prover exponerades i economiser och elektrostatiske filter (temperaturer upp till cirka 250°C). Det fanns ingen signifikant skillnad i avlagringsmängd mellan de exponerade proverna och omkringliggande material. En anledning kan vara att det generellt bildades små mängder avlagring i de valda positionerna i pannorna.

Resultaten visar att ett kompositskikt av CMP-typ kan klara påfrestningarna vid exponering, och att toppskiktet till ganska stor del kan finnas kvar, men att effekten avseende mängd avlagrings bör utredas vidare.

Summary

Heat and power production using waste or biofuel results in large amount of deposit on heat-transferring surfaces in the plant. If the surface layer of these structures could be modified so that the deposit formation was retarded, the plant could increase the heat – and power efficiency and also have cost savings on maintenance. A CMP coating is one alternative to evaluate in this direction.

Heat and power production using fuel such as biofuel, refuse wood, municipal waste, increases the amount of deposit on surfaces in the hot parts of the plant. This reduces the efficiency of the heat-transferring surfaces of the plant. It also increases the problems with corrosion related to deposits and increases the maintenance and number of soot blowing operations per year. A new kind of surface layer with excellent corrosion and erosion characteristics as well as good thermal properties and ability to prevent the deposit formation on surfaces, would decrease the amount of deposit in the plants. This would increase the available operation time in the plant, reduce maintenance cost and reduce environmental footprint due to the higher efficiency.

The aim of the work was to examine some composite-metal-polymer (CMP) candidates based on a thermal sputtered nickel base layer with a top coating of a polymeric material. The idea was that the polymeric top coating would prevent and reduce the attachment of deposits on the surfaces compared to on a common metal surface.

Several different top coatings were examined within the project. The different kinds of top coatings were polymeric, graphite based or based on boron nitride. The samples were exposed in two biomass fuelled plants in the economiser and electrostatic filter areas. The samples were exposed one or two seasons. The samples were also examined in wear tests. Some laboratory tests were also made. The samples were examined visually and with scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray diffraction (SEM/EDS).

It was observed that the material using PTFE (Teflon) showed the best behaviour regarding coverage after exposure in plant exposures as well as in wear tests. This material was exposed in the electrostatic filter and in the economiser. There was no significant difference in deposit amount between the samples and surrounding material. One reason might be that the amount of deposit in the examined positions was low in general.

The results show that a CMP layer can show a good coverage and withstand the erosion and corrosion in the examined positions in a plant, but that the effect on the amount of deposit must be further examined.

Innehållsförteckning

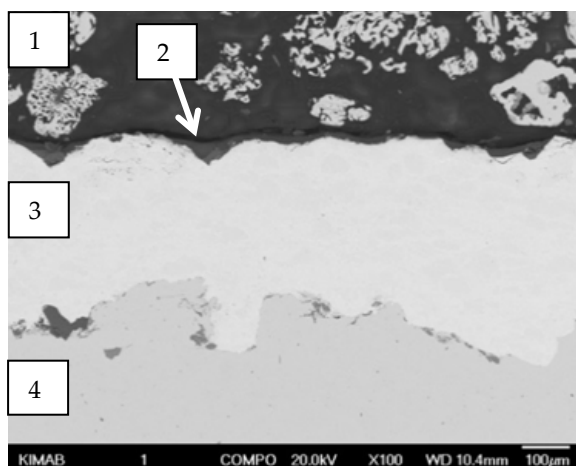
1	Inledning och bakgrund	7
2	Genomförande	9
3	Resultat	12
3.1	Nötningstester	12
3.2	Tester i rörugn	13
3.3	Exponering i panna	14
3.3.1	Västhamsverket (Öresundskraft)	14
3.3.2	Avedøreverket (Ørsted)	15
4	Diskussion	17
5	Referenser, källor	18

1 Inledning och bakgrund

Kraft- och värmeproduktion med avfall eller biobränsle medför ofta kraftiga avlagringar på ytor i kraftvärmeverken. Om ytskikten kunde förändras så att mindre mängd avlagringar fick fäste, skulle pannan bland annat kunna få bättre el- och värmeeffektivitet. CMP-beläggningar är en kandidat i detta arbete.

Kraft- och värmeproduktion med biobränsle, returträ och olika slags avfall medför ofta kraftiga avlagringar på ytor i kraftvärmeverken. Det gör att de värmeöverförande ytorna blir mindre effektiva och mindre el och värme produceras i pannan. De bildade beläggningarna innehåller också ämnen som Cl, K, Na, Pb och Zn [1]. Föreningar av dessa ämnen och i vissa fall ämnet självt kan bilda smältor vid relativt sett låg temperatur i pannan. De gör också att problemen med korrosion under beläggningarna ökar och att mer underhåll behövs jämfört med om inga avlagringar bildades. Ett ytskikt med goda korrosions- och erosionsegenskaper som samtidigt försvårade att avlagringar fick fäste, skulle kunna minska mängden avlagringar. Det skulle ge ökad el- och värmeeffektivitet, högre tillgänglighet för pannan, ökad bränsleflexibilitet, minskad miljöpåverkan och lägre underhållskostnader [2]-[6].

Målet med arbetet var att göra en studie av egenskaperna hos en ny metall-polymer-komposit (CMP) baserad på ett termiskt sprutat skikt av en nickelbas-legering och ovanpå det ett skikt (toppskikt) baserat på en polymer, på grafit, på keramiskt material eller på bornitrid. Toppskiktet applicerades som en färg på nickelbas-skiktet. Tanken med kompositskiktet var att avlagringen inte skulle fastna lika lätt som på en metallyta. En bild av ett undersökt polymerskikt visas i Figur 1.



Figur 1. Bild av ett tvärsnitt genom en av CMP-kandidaterna före exponering. I bilden visas: Bakelit för provberedning (1), polymerskikt (2), nickelbasskikt (3) samt grundmaterial (4).

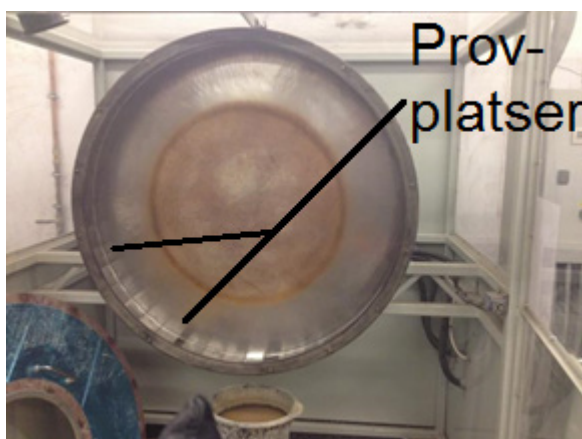
I projektet har olika toppskikt exponerats i olika positioner i två kraftvärmeverk som eldats med biobränsle. Nickelbasskiktet var detsamma för samtliga

exponerade prover. Längden på exponeringarna har varierat mellan en säsong och två säsonger. Dessutom har prover exponerats i slitningstester. Undersökningar av utvalda exponerade prover har gjorts visuellt samt med elektronmikroskopi kombinerat med energidispersiv röntgenanalys (SEM/EDS). MH Engineering har varit projektledare och huvudman för projektet. Projektet har drivits under perioden 2014-2018.

2 Genomförande

En bakgrundsbeskrivning genomfördes av MH Engineering. I projektet har CMP-materialen exponerats i panna och i slitningstester. Därutöver har test i rörugn genomförts för att undersöka värmestålkheten hos ett skikt med PTFE (Teflon). De olika CMP-materialen var av typerna PTFE (teflon), keramiskt skikt, bornitrid, silikon och grafit. Samtliga prover förbereddes av MH Engineering inklusive avslutande värmebehandling för att härda toppskiktet före exponering.

Nötningstester genomfördes på Swerea KIMAB i en nötningstrumma vid rumstemperatur. I dessa tester placerades proverna längs utrustningens inneryta och tumlades med grus (Figur 2). Vid provningen togs prover ut för samtliga material efter tre olika exponeringstider (30 min, 2 h och 10 h). Trumman stoppades dessutom varje halvtimme för fotografering av samtliga prover i trumman. Fotograferingen gjordes med ett oexponerat prov av samma material samt ett prov enbart belagt med nickelbas som referenser. För att undvika korrosion på underliggande material, användes korrosionshämmare vid provningen. Efter exponeringen, gjordes SEM/EDS-analys på tvärsnitt för att bedöma hur stor andel av toppskiktet som fanns kvar.



Figur 2. Bild av nötningstrumma med två provplatser utpekade.

Tester i rörugn genomfördes för ett material med teflonbaserat skikt. Testerna genomfördes i kontrollerad uppfuktad blandning av kväve och syre ("luft"). För att följa nedbrytningen, kopplades en masspektrometer till änden på rörugnen och toppar specifika för PTFE analyserades. Därefter ökades temperaturen med jämn hastighet upp från rumstemperatur till 600°C. Undersökningen kompletterades med isoterma exponeringar vid 400°C, 500°C och 600°C. Efter de isoterma exponeringarna undersöktes proverna med SEM/EDS.

Pannexponeringarna genomfördes av MH Engineering i samarbete med Öresundskraft (Västhamsverket) och Ørsted (Avedörevrket). Analys på proverna genomfördes med SEM/EDS av Swerea KIMAB.

Västhamsverket är en pulvermatad panna som eldas med biopellets. De prover som exponerades i Västhamsverket, exponerades som punktsvetsade halvtuber

med CMP-material på en sida på positioner i panna, överhettare, economiser och elektrostatfilter och över en eller två säsonger. Förutom dessa prover, belades även recirkulationsfläkten för rökgas i Västhamnsverket med det teflonbaserade CMP-skiktet. De exponerade materialtyperna, placering och ungefärlig exponeringstemperatur ges i Tabell 1 och Tabell 2.

Avedöreverket är en halmeldad rosterpanna. Här exponerades provrack med CMP-material över en säsong. Prover placerades i överhettarregion, i economiser och på en position som låg mellan dessa avseende temperatur och läge. Bilder på de två provvarianterna visas i Figur 3.

Eftersom proverna monterades olika, var proverna i Västhamnsverket delvis kyllda, medan proverna i Avedöreverket var okyllda.



Figur 3. Exempel före och efter exponering i panna. Vänster: Oexponerade prover, Avedöreverket. Höger, överst: Exponerade prover, Västhamnsverket (siffrorna 1 och 2). Höger, mitt: Prov från Västhamnsverket efter exponering. Höger, nederst: Prov från Avedöreverket. Referensdel markerad.

Tabell 1. Exponerade material, exponeringspositioner med temperaturer i gasfas- och ungefärliga vatten/ångtemperaturer i Västhamnsverket.

Placering	Vatten/ångtemperatur (°C)	Ungefärlig gastemperatur (°C)	Exponerade materialtyper
Elektrostatfilter, kona	n.a.	180-200	PTFE, Keram, Polysiloxane/silikon typ 1
Economiser	250	370	PTFE, Polysiloxane/silikon typ 1
Vattenväggar I panna	500	850	Prover ej analyserade
Överhettare Ib	400	Ej uppmätt	Polysiloxane/silikon typ 2
Överhettare II	500	Ej uppmätt	Bornitrid/silikat, bornitrid, grafit

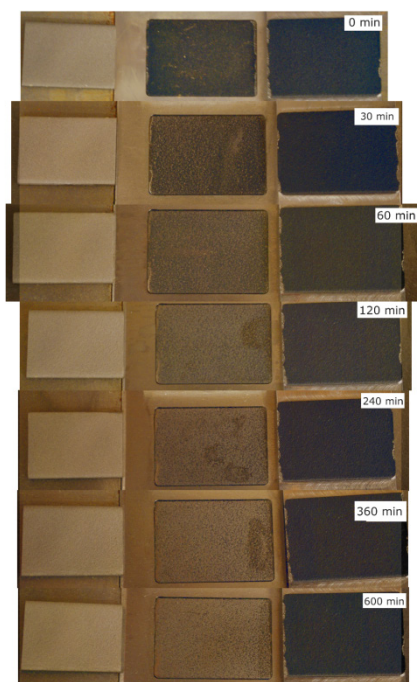
Tabell 2. Exponerade material, exponeringspositioner med gasfas- i Avedöreverket

Placering	Ungefärlig gastemperatur (°C)	Exponerade materialtyper
Position A (SH-HT)	475-535	Bornitrid/silikat, bornitrid, grafit, referens
Position B (SH1-LT)	Ej uppmätt, mellan position A och C	Bornitrid/silikat, polysiloxane/silikon typ 2, referens
Position C (ECO 1)	225-275	PTFE, Bornitrid/silikat, polysiloxane/silikon typ 2, referens

3 Resultat

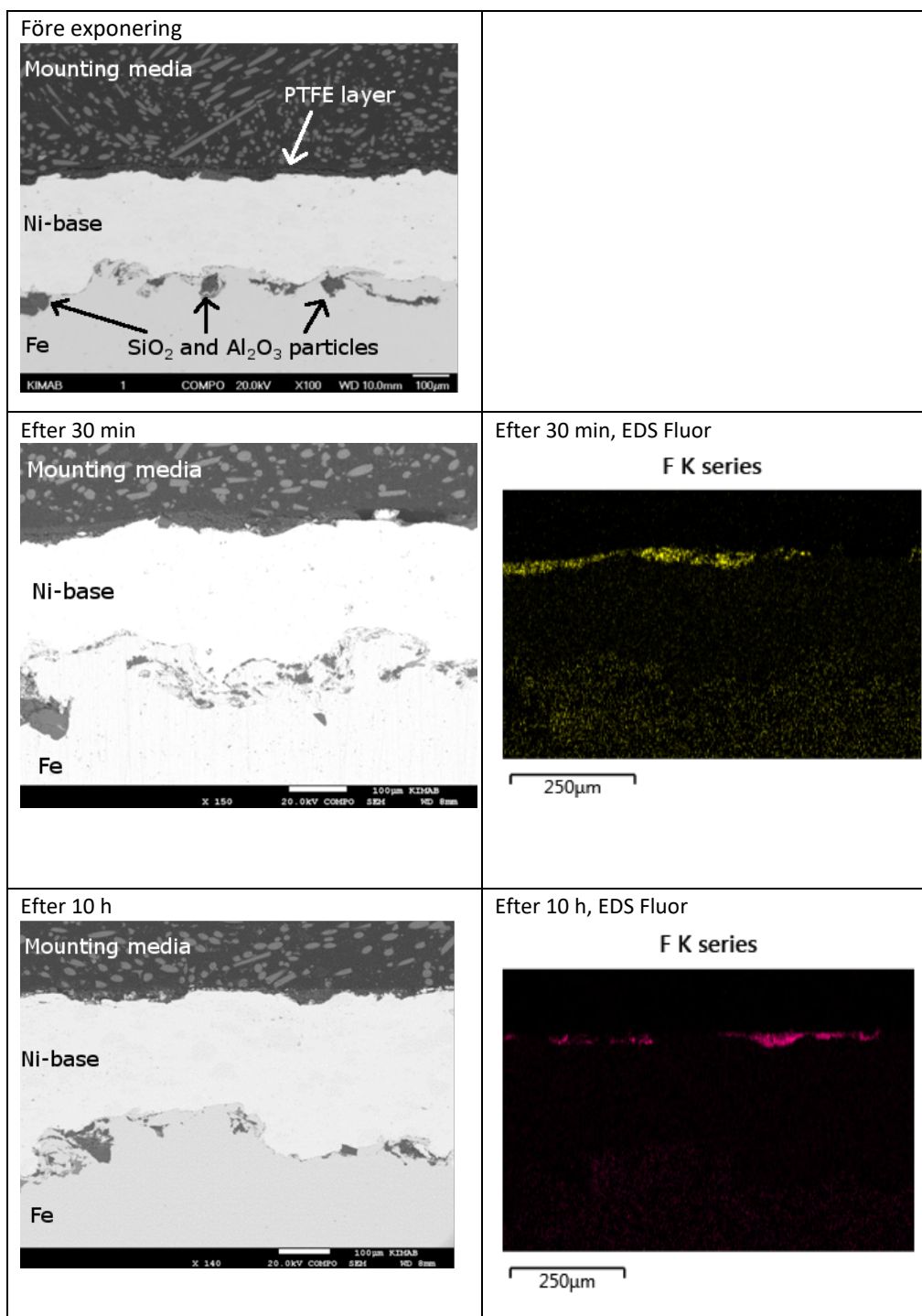
3.1 NÖTNINGSTESTER

En bedömning av mängden kvarvarande toppskikt efter nötning gjordes med hjälp av de fotografier som togs en gång i halvtimmen. Ett exempel på ett PTFE-baserat material som har slitits i nötningstest visas i Figur 4. Alla material utom ett visade ungefär 25-50% kvarvarande toppskikt. Det grafitbaserade materialet var helt bortnött redan efter 30 minuter. Det togs därför ut ur provningen.



Figur 4. Material av PTFE-typ efter exponering i nötningstester. Ett prov med nickelbasmaterial till vänster, ett oexponerat referensprov till höger.

Tre olika kandidater (PTFE-baserat och två silikonbaserade skikt av typ 1 och typ 2) undersöktes vidare i SEM/EDS. I dessa undersökningar undersöks ett tvärsnitt av varje material. Resultaten här ger något högre värden, 50-65% beroende på material. Eftersom en så liten del av provet undersöks, är siffrorna ungefärliga. Exempel på tvärsnitt ges i Figur 5 för det PTFE-baserade materialet. Här visas även EDS-analys för fluor, som är typiskt för PTFE.



Figur 5. Resultat från nötningstester. Exempel på bild från elektronmikroskop med tillhörande EDS-analys på fluor till höger. Exponeringstider anges i bilderna.

3.2 TESTER I RÖRUGN

Ett av de polymerbaserade materialen, det med PTFE, exponerades även i rörugn för att undersöka temperaturtåligheten. Resultaten visar att ämnen som troligen beror på nedbrytning av PTFE kan mätas i utgående gas vid ungefär 450°C.

Efterföljande undersökningar i elektronmikroskop visade ingen korrosion i nickelbasskiktet som kunde hänföras till toppskiktet.

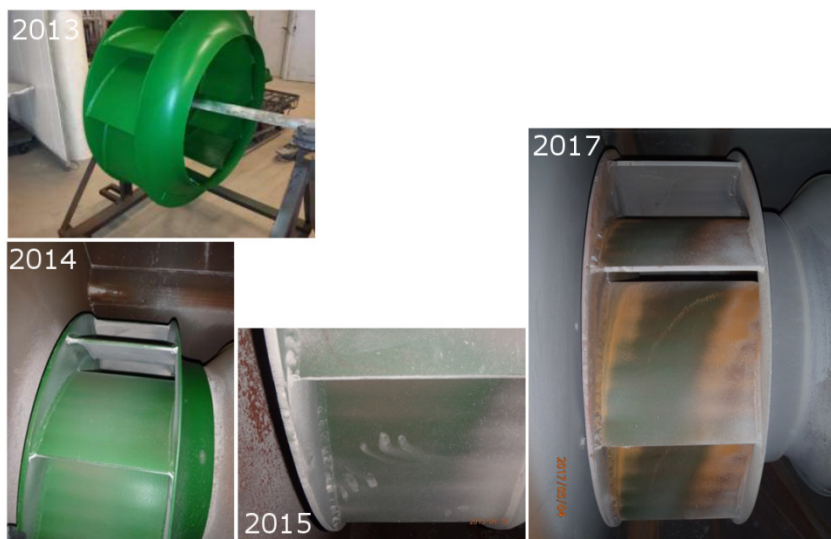
3.3 EXPONERING I PANNA

3.3.1 Västhamnsverket (Öresundskraft)

I Västhamnsverket analyserades prover från överhettare (ÖHIb, ÖHII), economiser och elektrostatfilter. Efter exponering i ÖHII, kunde inget tydligt kvarvarande toppskikt efter exponeringen identifieras på något av de exponerade toppskikten. Det kan bero på att skikten har nötts bort eller lossnat, eller t ex att de var för tunna för att kunna analyseras eller att de ingående ämnena i toppskiktet inte kan särskiljas från de beläggningar som bildas på alla ytor vid exponeringen. Efter exponering i ÖHIb, kunde det silikonbaserade materialet (typ 2) troligen identifieras i djupa gropar i nickelbas-skiktet. Analysen försvårades av att Si och O förekommer i de beläggningar som bildas i pannan. Efter exponering i economiser, kan toppskiktet identifieras för både det teflonbaserade materialet och materialet med silikon (typ 1). Det teflonbaserade materialet visade god vidhäftning, medan det silikonbaserade materialet bara kan ses sporadiskt efter exponering i två säsonger. I elektrostatfiltret, visade både det teflonbaserade och det silikonbaserade materialet (typ 1) god vidhäftning.

För samtliga undersökta prover i Västhamnsverket gäller att det inte finns någon signifikant skillnad i mängd bildad beläggning på provet jämfört med på omkringliggande material. Ett undantag gäller de ej undersökta proverna som exponerades på vattenväggar i panna. Här är mängden beläggning tydligt högre än på omkringliggande tuber. Detta kan ha flera orsaker, som t ex att gasflödena ändras av proverna själva, att proverna är delvis kyllda och kan ha högre temperatur än omkringliggande tuber etc.

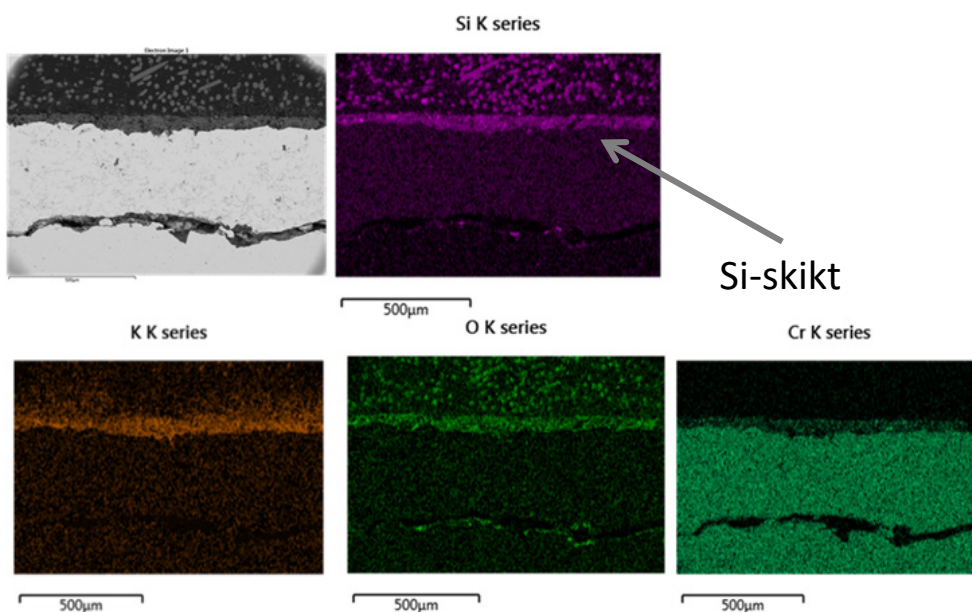
I Västhamnsverket, belades även rökgasfläkten med det teflonbaserade materialet. I Figur 6 visas fotografier av rökgasfläkten efter applicering av CMP-skiktet 2013, samt 2014, 2015 och 2017. I bilderna från 2017, syns fortfarande litet av materialet som en grön skugga.



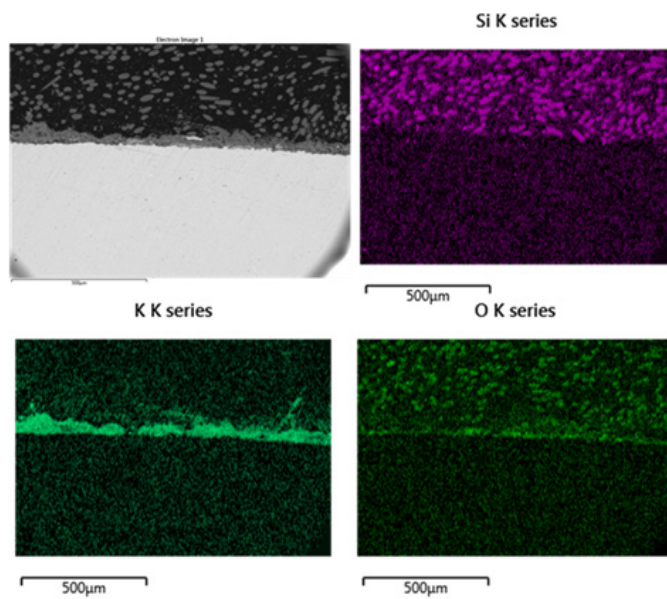
Figur 6. Fläkt som har belagts med CMP-skikt från början (2013), efter en säsong (2014), efter två säsonger (2015) samt efter fyra säsonger (2017).

3.3.2 Avedöverket (Ørsted)

Efter exponering i position A (överhettare, hög temperatur), kunde ett av materialen, ett bornitrid/silikat-material identifieras efter exponeringen som ett lager av Si. Lagret låg tillsammans med ett skikt av K, så det är inte helt klart att skiktet är opåverkat (Figur 7). En jämförelse med referensmaterialet visas i Figur 8. Här syns inget lager av Si. De andra materialen i position A gick inte att identifiera efter exponeringen. Efter exponering i position B (något lägre temperatur), kunde materialet med silikon (typ 2) till viss del identifieras. Det var inte alls lika tydligt som för materialet i Figur 7, men tydligare än för referensmaterialet i position B. Detsamma gällde efter exponering i position C (economiser).



Figur 7. SEM/EDS analys för ett bornitrid/silikatmaterial efter exponering i position A. Ett tydligt lager av Si kan identifieras.



Figur 8. SEM/EDS analys på referensmaterialet efter exponering i position A.

4 Diskussion

I projektet har ett antal olika CMP-skikt exponerats i nötningstester och i panna. Det finns egentligen två frågeställningar: Finns toppskiktet på CMP-kompositen kvar efter exponering? Har mängden beläggning minskat jämfört med omkringliggande ytor?

De genomförda testerna visar att enbart nötning vid rumstemperatur ger ungefär samma slitning för alla inkluderade material, undantaget ett grafitbaserat material som släppte helt. I pannexponeringarna har materialen exponerats i högttemperaturområden (vattenväggar och överhettare II) och i lågttemperaturområden (economiser, elektrostatfilter) och vid temperaturer däremellan. Resultaten visar att ingen kandidat säkert kan identifieras efter exponering vid de högsta temperaturerna. Detta kan (förutom att toppskikten har förstörts) bero på att skikten är för tunna eller att de innehåller ämnen som inte kan särskiljas vid SEM/EDS analys. Vid medelhöga temperaturer, kan en av de silikonbaserade kandidaterna (typ 2) identifieras i djupa gropar. Vid låga temperaturer, visar en PTFE-baserad kandidat mycket god vidhäftning och en silikonbaserad kandidat (typ 1) viss vidhäftning. En nackdel med SEM/EDS i detta fall, är att Si och O även finns i de avlagringar som bildas i pannan, och att toppskiktet i CMP-kompositen därför är svår att säkert identifiera.

Vad gäller mängden avlagring på prover jämfört med omgivande material, är det ingen tydlig skillnad varken för låg- eller medelhöga temperaturer. Här är å andra sidan mängden avlagring generellt sett låg, så det är svårt att dra någon slutsats. För den högsta temperaturen (vattenvägg i panna), är mängden beläggning högre än för omgivande material. Detta kan bero på t ex förändrade gasflöden i samband med provsättning, eller högre temperatur på prov jämfört med pannvägg och det behöver undersökas vidare. Ett förslag är att belägga större provytor för att undvika lokala variationer. Det är också viktigt att föreslå nya toppskikt eller andra belägnings-lösningar för de högsta temperaturerna.

5 Referenser, källor

1. SALT-MELT INDUCED CORROSION OF METALLIC MATERIALS IN WASTE INCINERATION PLANTS
Michael Spiegel, Materials and Corrosion, vol. 50, 373-393 (1999).
2. DEPOSIT INDUCED CORROSION IN BIOFUEL COMBUSTION Andersson P,
Ph.D. thesis, Chalmers, Gothenburg (2004).
3. THE EFFECT OF CLEANING ON MATERIALS WASTAGE IN BIOMASS AND WASTE FIRED POWER PLANTS
A. Hjörnhede, P. Henderson P., Värmeforsk report no. 970, Stockholm (2006).
4. EVALUATION OF TUBE SHIELDING
A. Hjörnhede, S.-B. Westberg, P. Henderson, J. Wetterström, A. Jonasson,
Värmeforsk report no. 1031, Stockholm (2007).
5. LONG TERM TESTING OF MATERIALS FOR TUBE SHIELDING; STAGE 2
R. Norling, A. Hjörnhede, M. Mattsson, Värmeforsk report no. 1215, Stockholm,
(2012).
6. CLEANING METHODS FOR COMBUSTION FACILITIES THAT USE
DIFFICULT FUELS
K. Davidsson, I. Johansson, A. Stålenheim, K. Boman, Stockholm, Värmeforsk
report no. 1257, Stockholm 2014.

Svensk titel på projektet	
Komposit-metall-polymer (CMP) för förbättrade släppningsegenskaper i kraftvärmepannor	
English project title	
Composite metal polymer (CMP) for non-stick improvemenst in CHP plants	
Universitet/högskola/företag	Avdelning/institution
MH Engineering	
Adress	
Elementvägen 4, SE-691 42 Karlskoga	
Namn på projektledare	
Matti Huhtakangas	
Namn på övriga projektdeltagare	
Ragna Elger, Swerea KIMAB Rikard Norling, Swerea KIMAB Leyla Wickström, Swerea KIMAB Søren Aakjaer Jensen, Ørsted Henrik Wangsell, Öresundskraft Fredrik Joelsson, Öresundskraft	
Nyckelord: 5-7 st	
Biobränsleeldade kraftvärmeverk; Fältexponeringar; Beläggningar; Non-stick; Avlagring	

METALL-POLYMER-KOMPOSIT FÖR FÖRBÄTTRADE SLÄPPNINGSEGENSKAPER I KRAFTVÄRMEVERK

Kraft- och värmeproduktion med avfall eller biobränsle medför ofta kraftiga avlagringar på ytor i kraftvärmeverken. Om ytskikten kunde förändras så att en mindre mängd avlagringar fick fäste, skulle pannan bland annat kunna få bättre el- och värmeeffektivitet. Composite-metal-polymerbeläggningar, CPM är en kandidat i detta arbete.

CMP-lagret består av ett nickelbasskikt som läggs på ett metalliskt grundmaterial med termisk sprutning. Nickelbasskiktet beläggs sedan med ett toppskikt. Här har flera olika toppskikt exponerats i olika temperaturintervall och olika positioner i panna. Dessutom har nötningstester på kandidaterna genomförts.

Resultaten visar att de flesta toppskikten finns kvar till 25-50% på ytorna efter nötningstester vid rumstemperatur. Ett teflonbaserat skikt visar också mycket god täckning efter exponering i panna. Det är oklart om toppskikten ger mindre mängd avlagring, eftersom de platser där toppskikten kunde identifieras efter exponeringen och fungerade som tänkt, också var platser i pannan där mängden avlagring var relativt liten.

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