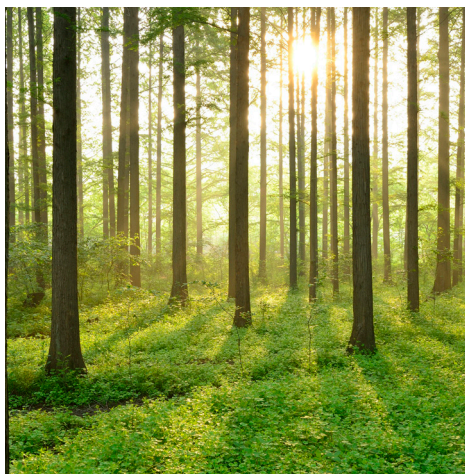
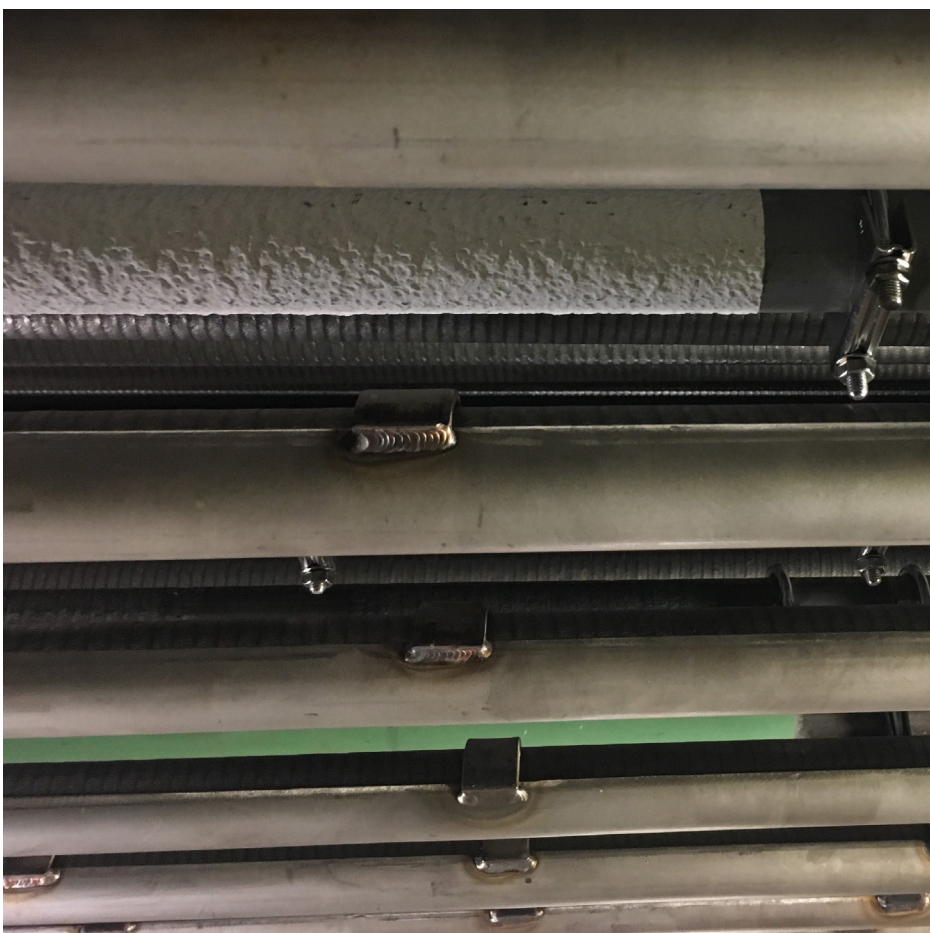


AVANCERADE BELÄGGNINGAR TILL ÖVERHETTARTUBER FÖR MINSKAD KORROSION, EROSION OCH PÅVÄXT

RAPPORT 2019:637



BRÄNSLEBASERAD EL-
OCH VÄRMEPRODUKTION



Avancerade beläggningar till överhettartuber för minskad korrosion, erosion och påväxt

KRISTINA HELLSTRÖM
EMINA CALISKAN
RIKARD NORLING
ANDERS HJÖRNHEDE

ISBN 978-91-7673-637-1 | © Energiforsk januari 2020

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

Förord

Denna rapport är slutrapportering av projekt M 43428 Avancerade beläggningar till överhettartuber för minskad korrosion, erosion och påväxt (Energimyndighetens projektnummer P 43428) inom SEBRA, samverkansprogrammet för bränslebaserad el- och värmeproduktion.

Programmets övergripande mål är att bidra till långsiktig utveckling av effektiva miljövänliga energisystemlösningar. Syftet är att medverka till framtagning av flexibla bränslebaserade anläggningar som kan anpassas till framtida behov och krav. Programmet är indelat i fyra teknikområden: anläggnings- och förbränningsteknik, processtyrning, material- och kemiteknik samt systemteknik. Programmet är en samverkan mellan Energiforsk och Energimyndigheten. Ingående projekt finansieras alltså av Energimyndigheten och av de parter som Energiforsk samlar i programmet.

Detta projekt har studerat möjligheten att använda avancerade metalliska och keramiska beläggningar i förbränningsanläggningar som en väg att minska erosion, korrosion och påväxt på överhettartuber. Ökad förståelse för hur materialpåverkan kan minskas bidrar till längre livslängd på utrustningen och därmed bättre resurshushållning.

Projektet har genomförts av RISE IVF med Rikard Norling som huvudprojektledare. Projektet har följts av en referensgrupp bestående av:

Kenneth Lundkvist, Sweco
Yousef Alipour, Kiwa Inspecta
Anna Jonasson, E.ON
Hanna Kinnunen, Valmet
Per-Åke Binett, Kiwa Inspecta (tidigare på Holmen)

Stockholm december 2019

Helena Sellerholm
Områdesansvarig
Termisk energiomvandling, Energiforsk AB

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Vid förbränning av avfall och biomassa frigörs bland annat tungmetaller, alkalimetaller och klorider som ger upphov till korrosiva påslag på ytor i förbränningsanläggningen. I detta projekt utvärderades möjligheten att använda avancerade metalliska och keramiska beläggningar i förbränningsanläggningar som en väg att minska erosion, korrosion och påväxt på överhettartuber.

Projektet har utvärderat prestandan hos ett stort antal avancerade metalliska och keramiska beläggningar genom fältförsök, provning med korrosionssond och laborieprovning. Följande slutsatser har dragits:

Den totala korrosionen vid fältförsöket har varit låg för både de provade beläggningarna och för referensmaterialet P235GH. För referensmaterialet var den i snitt 0,15 mm per kalenderår.

Den låga korrosionshastigheten har gjort att det har varit mättekniskt svårt att uppnå hög noggrannhet i mätningarna av materialförlust på grund av korrosion, vilket har bidragit till spridningen i resultaten.

Det har i fältförsöken visats att mycket låga korrosionshastigheter kan uppnås med metalliska beläggningar, varvid Alloy 625 belagd med metoden LaserClad visat bäst prestanda.

De keramiska beläggningarna var huvudsakligen skadade efter uttag av fältprover, vilket kan ha orsakats av blästringen vid det årliga revisionsstoppet under provningsperioden.

En av de provade metalliska beläggningarna erhöll en i förhållande till referensmaterial mycket låg korrosionshastighet vid sondprov.

En keramisk beläggning visades vid sondprov ge upphov till en minskad uppbyggnad av påslag.

Samtliga provade beläggningar fick en i förhållande till referensmaterial låg korrosionshastighet vid laborieförsök.

Keramiska beläggningar visades vid laborieförsök ge upphov till låg vidhäftning av ett med KCl simulerat påslag.

Summary

During combustion of biomass and waste species such as heavy metals, alkali metals and chlorides are released, which give rise to corrosive deposits on surfaces in the combustion plant. In this project the possibility to use advanced coatings, including both metallic and ceramic coatings, has been evaluated as means to decrease erosion, corrosion and deposits on superheater tubes.

The project has evaluated the performance of a large number of advanced metallic and ceramic coatings through field exposure, corrosion probe exposure and laboratory exposure. The following conclusions were drawn:

The total corrosion during the field exposure was low for both the tested coatings and for the reference material P235GH. For the reference material it was on average 0.15 mm per calendar year.

The low corrosion rate made it technically challenging to achieve high accuracy in the measurements of material loss caused by corrosion, which contributed to the scatter in the results.

In the field test it was shown that very low corrosion rates can be achieved with metallic coatings, whereof Alloy 625 applied with the method LaserClad showed the best performance.

The ceramic coatings were mostly damaged after removal of field specimens, which may have been caused by the sand blasting at the yearly revision stop during the exposure period.

One of the tested metallic coatings exhibited a very low corrosion rate in comparison to the reference material during the corrosion probe exposure.

One ceramic coating was demonstrated during corrosion probe exposure to decrease the build-up of deposits.

All tested coatings showed low corrosion rate compared to reference material during laboratory exposure.

Ceramic coatings showed during laboratory corrosion exposure to result in low adhesion of a deposit simulated by KCl.

Executive summary

Introduction

During combustion of biomass and waste species such as heavy metals, alkali metals and chlorides are released, which give rise to corrosive deposits on surfaces in the combustion plant. To decrease the corrosion rate the plant is dimensioned to operate with a lower steam temperature, which decrease the electric efficiency. Using new materials with better corrosion resistance in combined heat and power (CHP) plants can increase the life, decrease shut-downs, enable increased steam temperature, which results in increased electric efficiency of the plants. In addition, it enables an increased fuel flexibility.

In this project the possibility to use advanced coatings, including both metallic and ceramic coatings, has been evaluated as means to decrease erosion, corrosion and deposits on superheater tubes.

Test material

Specimens on which coatings have been applied have been delivered by BG SYS HT, Calderys, Castolin and SBB Energy. These are companies that commercially deliver coatings to combustion plants. The majority of the coatings are commercially available, but some are relatively new or still under development.

In the work a large number of specimens have been included. A selection of these are listed in Table Summary-1, Table Summary-2 and Table-Summary 3, with information on the material designation, test position and type, as well as their individual Specimen ID. Specimens that are marked as "solid" after the material designation refers to specimens that were tested as solid specimens of the said materials without coating.

Specimens with the material designation "BG HitCoat® (green)" were delivered by BG SYS HT, specimens with any of the five different material designations including the term "Calde® Seal" were delivered by Calderys and the specimens with the material designations "CER x 2" and "Hybrid DGL + CER" were delivered by SBB Energy. All other coated specimens were delivered by Castolin.

Table Summary-1. Specimen ID for specimens that were field tested

Material designation	Position / ID	Test type	Specimen ID
68/58 + Tube Armor	14A	Field	6858TA_14A_F
Alloy 625 LaserClad	11A	Field	625L_11A_F
Alloy 625 WSI Unifuse	9A / 1	Field	625U_9A1_F
Alloy 686 LaserClad	7A	Field	686L_7A_F
Alloy 686 WSI Unifuse	11B / 1	Field	686U_11B1_F
BG HitCoat (green)	12B	Field	BG_12B_F
Calde Seal H1	5A	Field	H1_5A_F
Calde Seal H3	13A	Field	H3_13A_F
Calde Seal H4	5B	Field	H4_5B_F
Calde Seal L1	8C	Field	L1_8C_F
Calde Seal L3	15D	Field	L3_15D_F
CER x 2	10A	Field	CER2_10A_F
Eutalloy RW 53606	8B	Field	53606_8B_F
Hybrid DGL + CER	10A	Field	DGL_10A_F
X268	15C	Field	X268_15C_F
X268	8A	Field	X268_8A_F
X268 + Tube Armor	14C	Field	X268TA_14C_F

Table Summary-2. Specimen ID for specimens that were probe tested

Material designation	Position / ID	Test type	Specimen ID
13CrMo4-5 (<i>solid</i>)	43	Probe	13CrMo_43_S
68/58 + Tube Armor	35	Probe	6858TA_35_S
68/58 + Tube Armor	41	Probe	6858TA_41_S
Alloy 686 LaserClad	23	Probe	686L_23_S
Alloy 686 LaserClad	25	Probe	686L_25_S
Calde Seal H1	17	Probe	H1_17_S
Calde Seal H4	13	Probe	H4_13_S
Calde Seal L1	9	Probe	L1_9_S
Calde Seal L3	1	Probe	L3_1_S
Eutalloy RW 53606	29	Probe	53606_29_S
Eutalloy RW 53606	31	Probe	53606_31_S
P235GH (<i>solid</i>)	47	Probe	P235_47_S
X268	27	Probe	X268_27_S
X268	37	Probe	X268_37_S
X268 + Tube Armor	39	Probe	X268TA_39_S
X268 + Tube Armor	33	Probe	X268TA_33_S

Table Summary-3. Specimen ID for specimens that were laboratory tested

Material designation	ID	Test type	Specimen ID
Calde Seal H1	1	Lab	H1_1_L
Calde Seal H1	2	Lab	H1_2_L
Calde Seal H3	5	Lab	H3_5_L
Calde Seal H4	9	Lab	H4_9_L
Calde Seal L1	13	Lab	L1_13_L
Calde Seal L3	17	Lab	L3_17_L
X10CrMoVNb9-1 (<i>solid</i>)	21	Lab	X10_21_L
Alloy 686 LaserClad	23	Lab	686L_23_L
X268	27	Lab	X268_27_L
Eutalloy RW 53606	29	Lab	53606_29_L
X268 + Tube Armor	33	Lab	X268TA_33_L
68/58 + Tube Armor	35	Lab	6858TA_35_L
X268	37	Lab	X268_37_L
68/58 + Tube Armor	42	Lab	6858TA_42_L
13CrMo4-5 (<i>solid</i>)	43	Lab	13CrMo_43_L
Alloy 625 (<i>solid</i>)	45	Lab	625S_45_L
P235GH (<i>solid</i>)	47	Lab	P235_47_L

The coatings were primarily applied on tube material of the pressure vessel steel P235GH having the nominal composition Fe-0.1C-0.5Mn. This material was the reference material during all testing. For the field test specimens, parts of the specimens were left uncoated, so that the reference material was exposed also without coating. For probe testing and laboratory testing the reference material was tested as separate specimens for practical reasons.

One exception is the different coatings of Calde Seal type, which were used for laboratory testing. They were applied on coupons made of the pressure vessel steel X10CrMoVNb9-1 with the nominal composition Fe-0.1C-0.5Mn-9Cr-1Mo-0.2V-0.08Nb-0.05N.

Another exception was the different coatings of Calde Seal type, which were used for probe testing. They were applied on rings made of the pressure vessel steel 13CrMo4-5 with the nominal composition Fe-0.13C-0.7Mn-1Cr-0.5Mo.

For each type of testing also the used substrate materials were exposed uncoated as solid material specimens for comparison.

Plant description

At the Ryaverket facility in Borås there are two parallel and equal waste-fired bubbling fluidised bed (BFB) boilers. Each boiler has a thermal power of approximately 20MW_t with steam data of 50 bar and 410 °C at maximum load. The boilers were commissioned 2005 and were delivered by Metso Power AB. They are of the type ACZ (Advanced combustion zone). They have the internal designations PVA1 and PVA2.

The fuel used during the exposure period was a mixture of 70% industrial waste and 30% municipal waste.

The flue gas composition is varying but normally the flue gas can be assumed to have a typical approximate composition according to Table Summary-4.

Table Summary-4. Assumed typical approximate flue gas composition

Parameter	Estimated content
H ₂ O	20% wb
CO ₂	12% db
O ₂	8% db
CO	50 mg/Nm ³ db
NO _x	120 mg/Nm ³ db
HCl	500-1000 mg/Nm ³ db
SO ₂	200-350 mg/Nm ³ db
N ₂	balance
Particles	3 g/Nm ³ db

wb, wet base

db, dry base

Nm³, normal cubic meter

Testing details

Field exposure

The field exposure was made at the Borås Energi och Miljö facility Ryaverken in the boiler PVA2. The field test specimens were shaped as semi-circular half-tubes. They were installed at the second lowest row in a superheater tube bundle. The specimens were firmly attached to the superheater tubes by screw fasteners. Thus, they were mounted like tube shields.

The field exposure lasted from 16th Nov 2017 until 13th May 2019. During the period there were two revision stops of 2-3 weeks each. In total the specimens were exposed to operation for 508 days, i.e. 12192 h. The boiler operates at full load almost all the duration. During the exposure period the flue gas temperature was measured twice, at full load, to approximately 530 °C.

During revision stops the superheater tubes were cleaned by sand blasting. Thereby also the specimens were sand blasted. Steam soot blowers were in normal operation during the exposure period.

Corrosion probe exposure

A corrosion probe with 16 mounted specimens was exposed at a position next to the exposed field specimens. The probe had no active cooling and its temperature was measured to be approximately 530 °C.

The corrosion probe exposure lasted from 22nd March 2019 until 9th May 2019, i.e. 1152 h.

Laboratory exposure

The laboratory testing was made with coupons of different materials and with different coatings. Before exposure the surface of each coupon was covered with 99.9% chemically pure KCl at an amount of 0.06 g/cm². The specimens were placed in crucibles and inserted into a tubular furnace with the temperature 600 °C. The exposure was made in an atmosphere of N₂-5vol.%O₂-20vol.%H₂O.

The coupons were exposed in total for 3 weeks (504 h). After the first and second week (168 h and 336 h) an additional amount of 0.06 g/cm² of 99.9% chemically pure KCl was placed on the specimens.

Results

Field exposure

In Figure Summary-1 it is shown a close-up picture of some of the field test specimens after completion of the exposure. There was a significant amount of deposit on the specimens, which made it impossible to estimate at position, which specimens performed the best.

To get an estimate of the material loss of the substrate its thickness was measured with a micrometer screw gauge before and after exposure at a number of positions within the test area in the boiler. The deposits were removed with a steel brush before the measurements. The thickness difference for the uncoated substrate material (i.e. the reference material) was 0.21 mm on average.

The thickness of the different coatings before exposure was calculated as the total thickness of the substrate and coating minus the thickness of the uncoated substrate material. After exposure the thickness of the coatings was measured on cross-sections with a microscope. The results are presented in Table Summary-5 and Figure Summary-2.

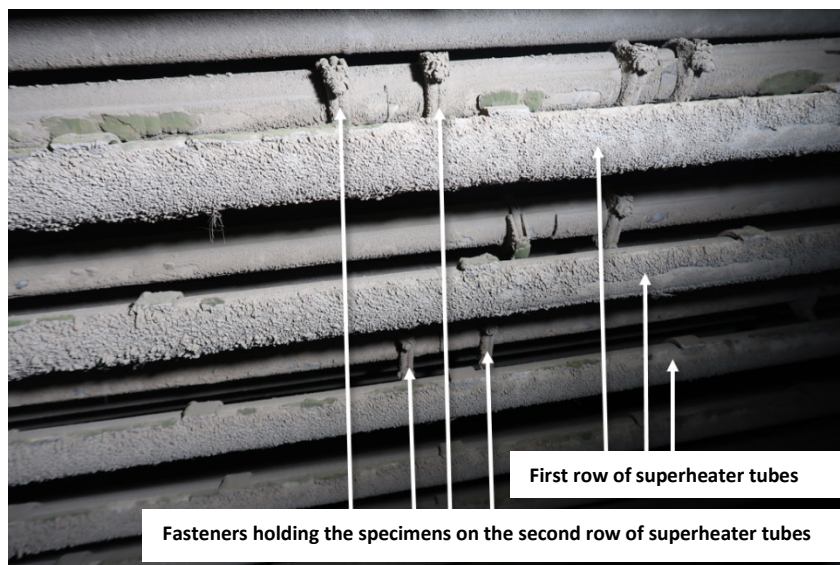


Figure Summary-1. Specimens after exposure, before removal from boiler

Table Summary-5. Calculated coating thickness before exposure and measured coating thickness after exposure and the difference

Specimen ID	Coating thickness after exposure (µm)	Calculated coating thickness before exposure (µm)	Difference (µm)
H1_5A_F	(often cracked or non-existent)	580	-580
H4_5B_F	10 (often cracked or non-existent)	750	-740
686L_7A_F	1300	1350	-50
X268_8A_F	740	890	-150
53606_8B_F	1070	1100	-30
625U_9A1_F	2270	2280	-10
625L_11A_F	1210	1210	0
BG_12B_F	(often cracked or non-existent)	215	-215
X268TA_14C_F	610	770	-160
X268_15C_F	780	850	-70
L3_15D_F	(often cracked or non-existent)	520	-520
DGL_10A_F	60	80	-20
CER2_10A_F	(often cracked or non-existent)	80	-80

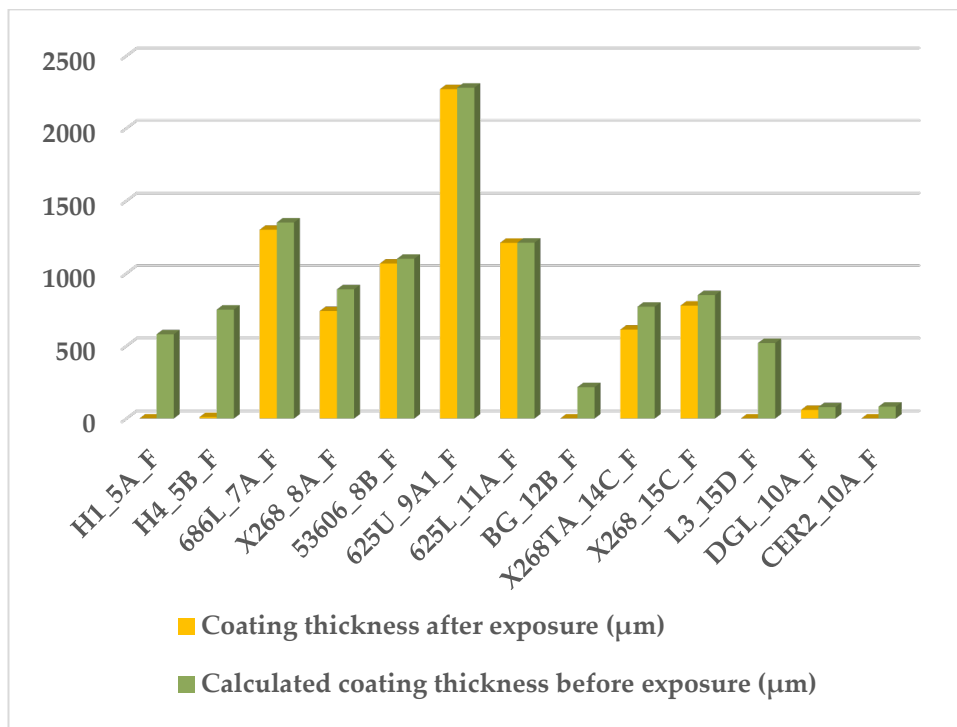


Figure Summary-2. Bar chart showing calculated coating thickness before exposure (calculated) and the coating thickness after exposure (measured from cross-sections with an optical microscope)

Corrosion probe exposure

The appearance of the corrosion probe before and after exposure is shown in Figure Summary-3 and Figure Summary-4. It is relatively well visible from the images that coating with Tube Armor decreases the amount of remaining deposit. The coatings with Tube Armor are green in the image before exposure and they show visibly less deposit in the image after exposure.

The measured thickness reduction of the coatings is presented in Table Summary-6. No data are given for specimens H4_13_S, L3_1_S, H1_17_S and L1_9_S, since the reduction could not be accurately determined. For the uncoated specimens 13CrMo_43_S and P235_47_S the reported values refer to the reduction in thickness of the substrate material.

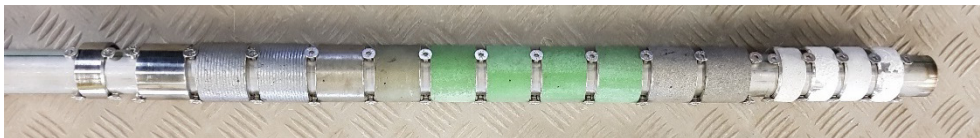


Figure Summary-3. The corrosion probe before exposure with the specimens mounted



Figure Summary-4. The corrosion probe after exposure with the specimens still mounted

Table Summary-6. Summary of thickness reduction on specimens exposed on probe

Specimen ID	Reduction (µm)
686L_23_S	77
686L_25_S	90
X268_27_S	141
53606_29_S	21
53606_31_S	107
X268TA_33_S	53
6858TA_35_S	59
X268_37_S	122
X268TA_39_S	-28
6858TA_41_S	87
13CrMo_43_S	388
P235_47_S	393

Laboratory exposure

In Figure Summary-5 a crucible with five specimens are shown after exposure for 168 hours. After completion of the exposures and removal of the specimens from the crucibles it was noticed that for some specimen the deposited salt layer could fall of very easily despite very careful handling. This demonstrates that the salt layer has a very low adhesion to these specimens.

Examples of such specimens, 6858TA_42_L and H1_2_L, are shown in Figure Summary-6. The other specimens from which the deposited salt layer fell of was X268TA_33_L and 6858TA_35_L. Both are coated with a green layer like specimen 6858TA_42_L.

The laboratory exposure shows that all variants of Calde Seal (L1, L3, H1, H3, H4) have good ability to mitigate corrosion from KCl at the high temperature (600 °C) in the test. In particular, the specimens H1_1_L and L3_17_L show very little corrosion, while uncoated substrate material (X10CrMoVNb9-1) exhibits a relative strong corrosion attack.

The other tested coatings show no or minimal corrosion attack.

The materials 13CrMo4-5 and P235GH (reference material) exhibits a strong corrosion attack. An uncoated specimen of solid Alloy 625 exhibits only minimal corrosion attack.

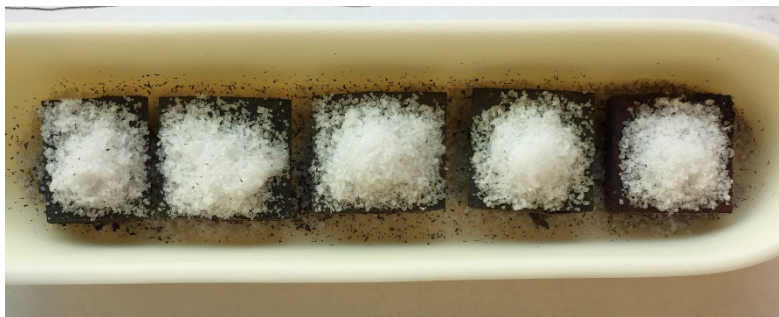


Figure Summary-5. A crucible with five specimens after exposure at 600 °C for 168 hours

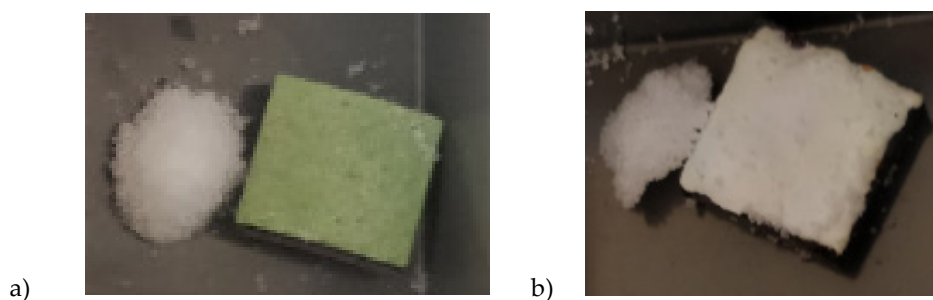


Figure Summary-6. Salt deposit layer has fallen of a) specimen 6858TA_42L and b) specimen H1_2_L

Discussion

The combined picture from the field, corrosion probe and laboratory exposures are that with the use of advanced coatings there are good opportunities to achieve substantially better corrosion properties than those of the reference material P235GH. It also shows that there is potential to increase the material temperature both when firing waste-firing and when firing biomass with high KCl content by the use of advanced coatings.

Weld overlay with Alloy 625 is a common method today for corrosion protection with coatings. It is then relevant to compare not only to the reference material but also to this material. In the field test it was included specimens of Alloy 625 coated with the method WSI Unifuse, which is a MIG-based method. These specimens showed very low material loss and so did Alloy 625 applied with the method LaserClad.

Since these specimens exhibited such a low material loss, it is not possible to demonstrate that any of the other materials should be better with the present uncertainties in the testing. The coatings Eutalloy RW 53606 and Hybrid DGL + CER showed marginally higher material loss, but taking the uncertainties into account the results are comparable to Alloy 625. It can here be of interest to remark that the coating Hybrid DGL + CER had an original thickness of only 80 µm, which means that the material usage for production is very little.

During the testing with corrosion probe Alloy 625 was not part of the test matrix, since it was prioritised to use the limited number of specimen positions for new types of coatings. In the test matrix it was included a coating of the related material Alloy 686 applied with the method LaserClad. In the field test it showed marginally higher material loss than Alloy 625. If the same is assumed for exposure on the corrosion probe, one can conclude that the coating X268 with a Tube Armor layer is at least comparable with Alloy 625. This is the case since despite the high test temperature it showed very little material loss. At the lower temperature during the field test it did not behave equally well, so the result is not unambiguous.

During laboratory testing all the coatings exhibited very good properties and demonstrated the potential to increase the material temperature during combustion of biomass, when using coatings as an alternative to high alloy tube materials. Significant differences could not be demonstrated between the coatings or compared with solid Alloy 625. Compared with the reference material the material loss was significantly lower.

Conclusions

The project has evaluated the performance of a large number of advanced metallic and ceramic coatings through field exposure, corrosion probe exposure and laboratory exposure. The following conclusions were drawn:

- The total corrosion during the field exposure was low for both the tested coatings and for the reference material P235GH. For the reference material it was on average 0.15 mm per calendar year.
- The low corrosion rate made it technically challenging to achieve high accuracy in the measurements of material loss caused by corrosion, which contributed to the scatter in the results.
- In the field test it was shown that very low corrosion rates can be achieved with metallic coatings, whereof Alloy 625 applied with the method LaserClad showed the best performance.
- The ceramic coatings were mostly damaged after removal of field specimens, which may have been caused by the sand blasting at the yearly revision stop during the exposure period.
- One of the tested metallic coatings exhibited a very low corrosion rate in comparison to the reference material during the corrosion probe exposure.
- One ceramic coating was demonstrated during corrosion probe exposure to decrease the build-up of deposits.
- All tested coatings showed low corrosion rate compared to reference material during laboratory exposure.
- Ceramic coatings showed during laboratory corrosion exposure to result in low adhesion of a deposit simulated by KCl.

Innehåll

1	Introduktion	18
1.1	Bakgrund	18
1.2	Forskningsuppgift	18
1.3	Mål	19
1.4	Genomförande	19
1.5	Projektorganisation	20
2	Testmaterial	21
2.1	Provbeteckningar	23
2.2	Grundmaterial	26
3	Anläggningsbeskrivning	27
3.1	Anläggningsbeskrivning - PVA Ryaverket Borås	27
4	Analytiska instrument och mätmetoder	30
4.1	Provpreparering	30
4.1.1	Fältprover	30
4.2	Optiskt mikroskop	30
4.2.1	Fältprover	30
4.2.2	Mätningar av belagda skikt	30
4.3	Svepelektronmikroskop	32
4.3.1	Fältprover	32
4.3.2	Generellt	32
5	Exponeringsförsök	34
5.1	Fältexponering	34
5.1.1	Dokumentering av fältprover	34
5.1.2	Installation av fältprover	38
5.1.3	Exponering av fältprover	40
5.2	Korrosionssond	40
5.2.1	Provpreparering och analys	41
5.3	Laboratorieprovning	41
5.3.1	Provpreparering	42
6	Resultat	43
6.1	Fältexponering	43
6.1.1	Mängd påslag	47
6.1.2	Förlust av bärmaterial	49
6.1.3	Tvärsnittsanalyser – optiskt mikroskop	49
6.1.4	Tvärsnittsanalyser – SEM	55
6.2	Korrosionsond	59
6.2.1	SEM-analys	76
6.3	Laboratorieprovning	82
6.3.1	SEM-analys	88

7	Analys och diskussion av resultat	108
7.1	Fältprover – påslag/erosion/korrosion	108
7.2	Korrosionssondsprover – påslag/erosion/korrosion	110
7.3	Laboratorieprover – korrosion	111
7.4	Fält-, sond- och laboratorieexponeringarna sammantaget	111
8	Slutsatser	113
9	Måluppfyllnad	114
10	Rekommendationer	115
Bilaga A:	Appendix	116

1 Introduktion

Vid förbränning av avfall och biomassa frigörs bland annat tungmetaller, alkalimetaller och klorider som ger upphov till korrosiva påslag på ytor i förbränningsanläggningen. För att minska korrosionshastigheten är anläggningarna dimensionerade för en drift vid en lägre ångtemperatur, vilket minskar elutbytet. Nya material med bättre korrosionsbeständighet hos kraftvärmeanläggningar kan öka livslängden, minska driftstoppen och möjliggöra ökad ångtemperatur vilket resulterar i ökat elutbyte hos anläggningar. Dessutom kan det ge möjligheter till utökning av bränsleflexibiliteten

I detta projekt utvärderades möjligheten att använda avancerade beläggningar inklusive keramiska speciemaljer i förbränningsanläggningar som en väg att minska erosion, korrosion och påväxt på överhettartuber.

1.1 BAKGRUND

Många av dagens avfalls- och biomasseldade anläggningar har problem med korrosion och påslag på bland annat överhettartuber. Korrosion innebär att materialet försvinner och när tillräckligt mycket material korroderat bort skulle överhettartuben till slut kunna börja läcka om den inte byts ut. Påslag eller påväxt innebär att värmetransporten blir mindre effektiv pga att påslaget isolerar överhettartuben från den varma förbränningsgasen. Stort påslag, dvs uppbyggnad av mycket avlagring, ökar behovet av sotning, ofta som ångsotblåsning. Detta ger i sin tur ökad erosion på tuberna eller behov av tubskydd och innebär även en effektförlust genom ökad förbrukning av ånga.

Det finns ett stort behov av att finna nya materiallösningar som kostnadseffektivt kan ge längre livslängd genom minskad erosion och korrosion och samtidigt minska mängden påslag på överhettartuberna.

1.2 FORSKNINGSUPPGIFT

Projektet har avsett att utvärdera möjligheten att använda avancerade beläggningar inklusive keramiska speciemaljer i avsikt att erhålla minskad erosion och korrosion och samtidigt minska mängden påslag på överhettartuberna.

Detta kan medföra möjlighet att elda ett mer korrosivt bränsle och på så sätt öka anläggningens flexibilitet. Det kan även innebära att livslängden på överhettartuberna ökar vilket bidrar till ökad tillgänglighet av anläggningen men också minskad miljöpåverkan i form av lägre efterfrågan på våra naturresurser i form av legeringsmaterial.

1.3 MÅL

Projektets mål var att utvärdera ett antal avancerade beläggningar, inklusive specialemaljer, som en väg mot att minska erosion, avlagring och korrosionshastigheten av överhettartuber.

Projektet hade följande delmål:

- A. Finna en beläggning som ger 100% bättre korrosionsresistens/livslängd på panntuber, enligt utvärdering från fältförsök genom jämförelse med samtidigt exponerat referensprov.
- B. Finna en beläggning som fungerar vid en materialtemperatur av 525 °C i avfallspannor enligt utvärdering med sondförsök och jämförelse med referensprov.
- C. Finna en beläggning som fungerar vid en materialtemperatur av 600 °C i biopannor, enligt utvärdering med labbförsök och jämförelse med referensprov.

1.4 GENOMFÖRANDE

Projektets genomförande har varit uppdelat på olika arbetspaket (AP) som kopplar till projektets delmål:

AP1. Kopplar till samtliga delmål, A, B och C. Castolin, Calderys, BG SYS HT samt SBB Energy har tagit fram olika keramiska beläggningar, även kallat specialemaljer, för projektet. Därtill har ett antal andra avancerade metalliska beläggningar tillhandahållits av Castolin. En stor påverkan på metalliska beläggningars prestanda utgörs av appliceringsmetoderna. Därför har i detta projekt testats beläggningar gjorda med MIG-baserad påsvetsning, termiska metoder och laserpåsvetsning. De olika företagen har utfört appliceringen av beläggningarna på samtliga prover för att en professionellt och korrekt utförd applicering skulle säkerställas.

AP2. Kopplar till delmål A. Långtids fältprov med prover monterade på överhettartuber för att undersöka vilka som fungerar under en längre tid i en avfallspanna (Borås Energi och Miljös avfallseldade fluidbäddpanna). Proverna har inspekterats vid revisionsstopp. Efter uttag har de prover (inklusive referensprov) vilka uppvisat bästa potential, samt andra vilka bedömts varit särskilt intressanta, utvärderats med avseende på prestanda och påväxt, dvs lägst materialavverkning samt minst uppbyggnad av påslag.

AP3. Kopplar till delmål B. För att studera möjligheterna till att öka elverkningsgraden med c:a 30% exponerades avancerade beläggningar (inklusive referensmaterial) vid en materialtemperatur över det som är normalt för pannan, med hjälp av kyld korrosionssond (~1150h, ~530 °C). Den placerades i samma område i testpannan som fältproverna ovan. Efterföljande analys av proverna som uppvisade bästa potential (gjordes med exv. metallografi, SEM/EDS) för utvärdering av korrosionsförloppen, beläggningstjocklek samt jämförelse med referensmaterial.

AP4. Kopplar till delmål C. För att undersöka potentialen vid ännu högre temperaturer (600 °C) och möjliggöra en höjning av verkningsgraden i biopannor kom olika beläggningar samt referensprov att testas på labb i en horisontell rörugn i 600 °C i en miljö som efterliknar den i en förbränningsanläggning. Efterföljande metallografisk analys och utvärdering av korrosionsförloppet gjordes för prover som uppvisade god potential samt för jämförelse med referensmaterial.

1.5 PROJEKTORGANISATION

Följande personer och institut, samt företag har varit involverade i projektet:

Kristina Hellström, RISE (f.d. Swerea IVF)

Rikard Norling, Emina Caliskan, RISE (f.d. Swerea KIMAB)

Anders Hjörnhede, Daniel Månsson, Daniel Ryde, RISE (f.d. SP)

BG SYS HT

Borås Energi och Miljö

Calderys

Castolin

SBB Energy

Projektet har i huvudsak organiserats enligt nedan:

- Kristina Hellström var projektledare i början av projektet, till maj 2017. Kristina har ansvarat för analyser av fältprover med bl. a. optisk mikroskopi och SEM.
- Rikard Norling tog av organisatoriska skäl över som projektledare från maj 2017. Rikard har tillsammans med Emina Caliskan ansvarat för att utföra labbprovning, samt analyser av labb- och sondprover med bl. a. optisk mikroskopi och SEM.
- Anders Hjörnhede har tillsammans med Daniel Månsson och Daniel Ryde ansvarat för att utföra fältprovningen och korrosionssondsprovning samt bl. a. analys av påslagstjockleken.
- BG SYS HT, Calderys, Castolin och SBB Energy har utfört applicering av beläggningar på samtliga prover.
- Borås Energi och Miljö upplät anläggning för provning och har varit behjälpliga vid sondtest samt fälttest.
- I projektets referensgrupp, vilken bidragit med sin erfarenhet och goda rekommendationer, har ingått Anna Jonasson (E.ON), Hanna Kinnunen (Valmet), Kenneth Lundkvist (Sweco), Pamela Henderson (Vattenfall), Per-Åke Binett (Holmen) och Yousef Alipour (Inspecta).

2 Testmaterial

Prover på vilka det har lagts keramiska alternativt metalliska beläggningar har tagits fram och levererats av BG SYS HT, Calderys, Castolin och SBB Energy, vilka är företag som kommersiellt levererar beläggningar till förbränningsanläggningar. Huvuddelen av beläggningarna är kommersiellt tillgängliga, men vissa är relativt nya eller fortfarande under utveckling. Endast begränsad information har kunnat erhållas från tillverkarna avseende beläggningarnas sammansättningar, vilket är gängse för beläggningsmaterial till skillnad från solida material.

De levererade beläggningarna och tillgänglig information om aktuella materialtyper och beläggningsprocesser ges i Tabell 1 till Tabell 4.

Tabell 1. Beläggning ifrån BG SYS HT

Table 1. Coating from BG SYS HT

Materialbeteckning	Materialinformation
BG HitCoat® (green)	Keramisk beläggning. Vattenbaserad. Sprayad i tre lager och självtorkad. Avslutande bränning av skiktet med hjälp av gasolbrännare. Max användningstemperatur 1900 °C.

Tabell 2. Beläggningar ifrån Calderys

Table 2. Coatings from Calderys

Materialbeteckning	Materialinformation
Calde® Seal H1	Keramisk beläggning bestående av aluminiumoxid + silika. Vattenbaserad sprayning. Kemisk bindning. Max rekommenderad temperatur 950 °C. När beläggningen värms över 250 °C blir den glasartad.
Calde® Seal H3	Keramisk beläggning bestående av aluminiumoxid + silika. Vattenbaserad sprayning. Kemisk bindning. Max rekommenderad temperatur 950 °C. När beläggningen värms över 250 °C blir den glasartad.
Calde® Seal H4	Keramisk beläggning bestående av aluminiumoxid + silika. Vattenbaserad sprayning. Kemisk bindning. Max rekommenderad temperatur 950 °C. När beläggningen värms över 250 °C blir den glasartad.
Calde® Seal L1	Keramisk beläggning bestående av aluminiumoxid + silika + kalciumoxid. Vattenbaserad sprayning. Hydraulisk bindning ("cement"). Max rekommenderad temperatur 950 °C. När beläggningen värms över 250 °C blir den glasartad.
Calde® Seal L3	Keramisk beläggning bestående av aluminiumoxid + silika + kalciumoxid. Vattenbaserad sprayning. Hydraulisk bindning ("cement"). Max rekommenderad temperatur 950 °C. När beläggningen värms över 250 °C blir den glasartad.

Tabell 3. Beläggningar ifrån Castolin

Table 3. Coatings from Castolin

Materialbeteckning	Materialinformation
68/58 + Tube Armor®	Metallisk beläggning med en överliggande keramisk beläggning innehållande Zr-Si-Cr-P-Fe-Al-Hf. Den överliggande keramiska beläggningen (Tube Armor®) har en max användningstemperatur av 900-1000 °C.
Alloy 625 LaserClad™	Metallisk beläggning av legeringen Alloy 625 belagd med påsvetsning med metoden LaserClad. Alloy 625 har nominell sammansättning Ni-21Cr-9Mo-4Nb-max5Fe.
Alloy 625 WSI Unifuse®	Metallisk beläggning av legeringen Alloy 625 belagd med påsvetsning med metoden WSI Unifuse® (MIG-baserad). Alloy 625 har nominell sammansättning Ni-21Cr-9Mo-4Nb-max5Fe.
Alloy 686 LaserClad™	Metallisk beläggning av legeringen Alloy 686 belagd med påsvetsning med metoden LaserClad. Alloy 686 har nominell sammansättning Ni-21Cr-16Mo-4W-max2Fe.
Alloy 686 WSI Unifuse®	Metallisk beläggning av legeringen Alloy 686 belagd med påsvetsning med metoden WSI Unifuse® (MIG-baserad). Alloy 686 har nominell sammansättning Ni-21Cr-16Mo-4W-max2Fe.
Eutalloy® RW 53606	Metallisk beläggning av Ni-17Cr-13Mo-4Fe. Max användningstemperatur 650 °C.
X268	Metallisk beläggning av Ni-baserad legering (närbesläktad med den kommersiellt tillgängliga beläggningen ChromeClad™ XC).
X268 + Tube Armor®	Metallisk beläggning av Ni-baserad legering (närbesläktad med den kommersiellt tillgängliga beläggningen ChromeClad™ XC) med en överliggande keramisk beläggning innehållande Zr-Si-Cr-P-Fe-Al-Hf. Den överliggande keramiska beläggningen (Tube Armor®) har en max användningstemperatur av 900-1000 °C.

Tabell 4. Beläggningar ifrån SBB Energy

Table 4. Coatings from SBB Energy

Materialbeteckning	Materialinformation
CER x 2	Keramisk beläggning i 2 lager.
Hybrid DGL + CER	Metallisk beläggning med en överliggande keramisk beläggning.

2.1 PROVBETECKNINGAR

I rapporten refereras till ett stort antal prover av många olika material. För att underlätta läsningen har ett enhetligt system för angivande av Prov-ID tagits fram. Dessa provbeteckningar är uppbyggda enligt principen *AAA_BB_C*. Bokstäverna *AAA* representerar här en lättförståelig förkortning av provets materialbeteckning. Bokstäverna *BB* representerar här ett ID-nr, som gör det möjligt att särskilja dubblettprover och utgör för prover som exponerats i anläggning också en referens till provets position under exponeringen. Bokstaven *C* representerar här en hänvisning till om testtypen är fältprovning, sondprovning eller laboratorieprovning. Prov-ID med tolkningsbeskrivning för de exponerade proverna ges i Tabell 5 till Tabell 7. Prover för vilka "solid" angetts tillsammans med materialbeteckningen avser prover av nämnda material vilka har provats i solitt tillstånd utan beläggning.

Tabell 5. Prov-ID för prover som fältprovats

Table 5. Specimen ID for specimens that were field tested

Materialbeteckning	Provpos. / ID-nr	Testtyp	Prov-ID
68/58 + Tube Armor	14B	Fält	6858TA_14B_F
68/58 + Tube Armor	14A	Fält	6858TA_14A_F
Alloy 625 LaserClad	11A	Fält	625L_11A_F
Alloy 625 (solid)	15A	Fält	625S_15A_F
Alloy 625 (solid)	7B	Fält	625S_7B_F
Alloy 625 WSI Unifuse	9A / 1	Fält	625U_9A1_F
Alloy 625 WSI Unifuse	9A / 2	Fält	625U_9A2_F
Alloy 686 LaserClad	11C	Fält	686L_11C_F
Alloy 686 LaserClad	7A	Fält	686L_7A_F
Alloy 686 WSI Unifuse	11B / 1	Fält	686U_11B1_F
Alloy 686 WSI Unifuse	11B / 2	Fält	686U_11B2_F
BG HitCoat (green)	12B	Fält	BG_12B_F
Calde Seal H1	16A	Fält	H1_16A_F
Calde Seal H1	17B	Fält	H1_17B_F
Calde Seal H1	5A	Fält	H1_5A_F
Calde Seal H3	13A	Fält	H3_13A_F
Calde Seal H3	5B	Fält	H3_5B_F
Calde Seal H3	6B	Fält	H3_6B_F
Calde Seal H4	13A	Fält	H4_13A_F
Calde Seal H4	5B	Fält	H4_5B_F
Calde Seal H4	6B	Fält	H4_6B_F
Calde Seal L1	16B	Fält	L1_16B_F
Calde Seal L1	18A	Fält	L1_18A_F
Calde Seal L1	8C	Fält	L1_8C_F
Calde Seal L3	10B	Fält	L3_10B_F
Calde Seal L3	15D	Fält	L3_15D_F
Calde Seal L3	17A	Fält	L3_17A_F
CER x 2	10A	Fält	CER2_10A_F
Eutalloy RW 53606	12A	Fält	53606_12A_F
Eutalloy RW 53606	8B	Fält	53606_8B_F
Hybrid DGL + CER	10A	Fält	DGL_10A_F
X268	15C	Fält	X268_15C_F
X268	8A	Fält	X268_8A_F
X268 + Tube Armor	14C	Fält	X268TA_14C_F
X268 + Tube Armor	15B	Fält	X268TA_15B_F

Tabell 6. Prov-ID för prover som sondprovats

Table 6. Specimen ID for specimens that were probe tested

Materialbeteckning	Provpos. / ID-nr	Testtyp	Prov-ID
13CrMo4-5 (<i>solid</i>)	43	Sond	13CrMo_43_S
68/58 + Tube Armor	35	Sond	6858TA_35_S
68/58 + Tube Armor	41	Sond	6858TA_41_S
Alloy 686 LaserClad	23	Sond	686L_23_S
Alloy 686 LaserClad	25	Sond	686L_25_S
Calde Seal H1	17	Sond	H1_17_S
Calde Seal H4	13	Sond	H4_13_S
Calde Seal L1	9	Sond	L1_9_S
Calde Seal L3	1	Sond	L3_1_S
Eutalloy RW 53606	29	Sond	53606_29_S
Eutalloy RW 53606	31	Sond	53606_31_S
P235GH (<i>solid</i>)	47	Sond	P235_47_S
X268	27	Sond	X268_27_S
X268	37	Sond	X268_37_S
X268 + Tube Armor	39	Sond	X268TA_39_S
X268 + Tube Armor	33	Sond	X268TA_33_S

Tabell 7. Prov-ID för prover som laboratorieprovats

Table 7. Specimen ID for specimens that were laboratory tested

Materialbeteckning	ID-nr	Testtyp	Prov-ID
Calde Seal H1	1	Labb	H1_1_L
Calde Seal H1	2	Labb	H1_2_L
Calde Seal H1	3	Labb	H1_3_L
Calde Seal H1	4	Labb	H1_4_L
Calde Seal H3	5	Labb	H3_5_L
Calde Seal H3	6	Labb	H3_6_L
Calde Seal H3	7	Labb	H3_7_L
Calde Seal H3	8	Labb	H3_8_L
Calde Seal H4	9	Labb	H4_9_L
Calde Seal H4	10	Labb	H4_10_L
Calde Seal H4	11	Labb	H4_11_L
Calde Seal H4	12	Labb	H4_12_L
Calde Seal L1	13	Labb	L1_13_L
Calde Seal L1	14	Labb	L1_14_L
Calde Seal L1	15	Labb	L1_15_L
Calde Seal L1	16	Labb	L1_16_L
Calde Seal L3	17	Labb	L3_17_L
Calde Seal L3	18	Labb	L3_18_L
Calde Seal L3	19	Labb	L3_19_L
Calde Seal L3	20	Labb	L3_20_L
X10CrMoVNb9-1 (<i>solid</i>)	21	Labb	X10_21_L
X10CrMoVNb9-1 (<i>solid</i>)	22	Labb	X10_22_L
Alloy 686 LaserClad	23	Labb	686L_23_L
Alloy 686 LaserClad	24	Labb	686L_24_L
Alloy 686 LaserClad	25	Labb	686L_25_L
Alloy 686 LaserClad	26	Labb	686L_26_L
X268	27	Labb	X268_27_L
X268	28	Labb	X268_28_L
Eutalloy RW 53606	29	Labb	53606_29_L
Eutalloy RW 53606	30	Labb	53606_30_L
Eutalloy RW 53606	31	Labb	53606_31_L
Eutalloy RW 53606	32	Labb	53606_32_L
X268 + Tube Armor	33	Labb	X268TA_33_L
X268 + Tube Armor	34	Labb	X268TA_34_L
68/58 + Tube Armor	35	Labb	6858TA_35_L
68/58 + Tube Armor	36	Labb	6858TA_36_L
X268	37	Labb	X268_37_L
X268	38	Labb	X268_38_L
X268 + Tube Armor	39	Labb	X268TA_39_L
X268 + Tube Armor	40	Labb	X268TA_40_L
68/58 + Tube Armor	41	Labb	6858TA_41_L
68/58 + Tube Armor	42	Labb	6858TA_42_L
13CrMo4-5 (<i>solid</i>)	43	Labb	13CrMo_43_L
13CrMo4-5 (<i>solid</i>)	44	Labb	13CrMo_44_L
Alloy 625 (<i>solid</i>)	45	Labb	625S_45_L
Alloy 625 (<i>solid</i>)	46	Labb	625S_46_L
P235GH (<i>solid</i>)	47	Labb	P235_47_L
P235GH (<i>solid</i>)	48	Labb	P235_48_L

2.2 GRUNDMATERIAL

Beläggningarna lades huvudsakligen på rörmaterial av tryckkärlstålet P235GH med nominell sammansättning Fe-0.1C-0.5Mn. Detta material utgör referensmaterial vid provningarna. För fältproverna lämnades delar av proverna obelagda, så att referensmaterialet blev exponerat även utan någon beläggning. För sondprovning och laboratorieprovning exponerades däremot referensmaterialet av praktiska skäl som separata prover.

Ett undantag är beläggningarna av Calde Seal för laboratorieprovning (Prov-ID: H1_1_L till H4_12_L, samt L1_13_L till L3_20_L) vilka lades på kuponger av tryckkärlstålet X10CrMoVNb9-1 med nominell sammansättning Fe-0.1C-0.5Mn-9Cr-1Mo-0.2V-0.08Nb-0.05N. Detta då temperaturen vid laboratorieprovningen var så pass hög (600 °C) att P235GH av hållfasthetsskäl inte skulle var ett så relevant val. För övriga beläggningar var det inom tidsramarna för projektet dock inte möjligt att erhålla dem på annat material än P235GH.

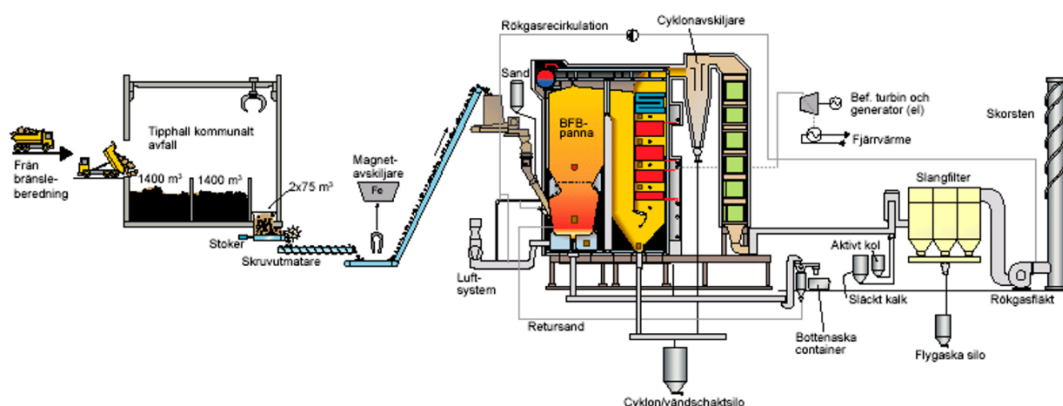
Ett undantag är också beläggningarna av Calde Seal för sondprovning (Prov-ID: H1_17_S, H4_13_S, L1_9_S, L3_1_S), vilka lades på ringar av tryckkärlstålet 13CrMo4-5 med nominell sammansättning Fe-0.13C-0.7Mn-1Cr-0.5Mo. Detta då ringar av P235GH ej var möjliga att få fram tills beläggningstillfället.

För varje provningstyp exponeras också de vid den aktuella provningen använda grundmaterialen i solitt tillstånd utan någon beläggning för jämförelse. Grundmaterialen benämns fortsättningsvis bärarmaterial, för att tydliggöra att de används som bärare för beläggningarna.

3 Anläggningsbeskrivning

3.1 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING - PVA RYVERKET BORÅS

På Ryaverket i Borås finns två parallella likadana avfallseldade "bubblande" fluidiserade bäddpannor (BFB) på vardera ca 20 MW_t med ångdata 50 bar och 410 °C vid maxlast, se Figur 1. Pannorna som togs i drift 2005 levererades av Metso Power AB (nuvarande Valmet AB) och är av den s.k. typen ACZ (Advanced Combustion Zone). Avfallspannorna betecknas internt som PVA1 och PVA2.



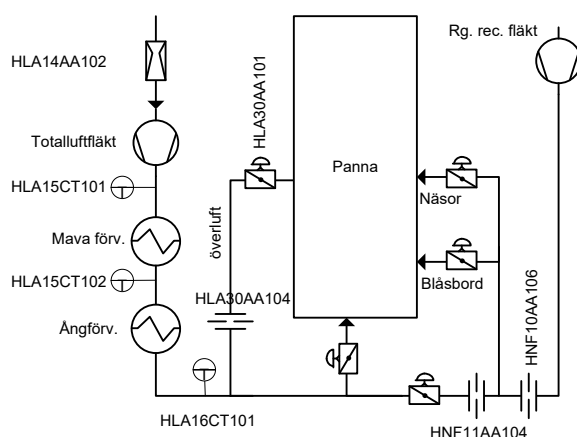
Figur 1. Schematisk bild över en av de två 20 MW_t avfallsförbränningspannorna

Figure 1. Schematic picture of one of the two 20 MW_t waste-to-energy boilers

Bränslet som förbrändes under försöksperioden var en blandning av 70 % verksamhetsavfall och 30 % hushållsavfall. På Sobacken utanför Borås bereds bränslet innan det transporteras med lastbilar till en tipphall vid Ryaverket. Komposterbart material har sorterats ut från hushållsavfallet vilket gör bränslet aningen torrare (med högre värmevärde) än från en motsvarande anläggning i en kommun där sådan utsortering inte sker. Sammansättningen och värmevärdet på avfallsbränslet varierar dock kraftigt över tid och ingen kontinuerlig bränsleanalys genomförs normalt. Från tipphallen förs bränslet till två matarfickor med hjälp av en stor gripklo. Bränslet transporteras från matarfickornas botten med skruvar och band (via en magnetavskiljare) in till bränsledoserare i pannhuset. Där doseras avfallsbränslet in till pannorna med Metsos så kallade "Feeding Master" som är en volymdoserutrustning med bl.a. avrivarvals för att åstadkomma ett jämnt bränsleflöde. Bränslet faller ned i eldstaden via en cellmatare som ska förhindra bakåttbrand. Varje panna har en bränsleinmatning. Vid inloppet till pannan är bränslestupet försett med ett blåsbord som sprider ut bränslet över bädden. För att upprätthålla ångproduktionen och avfallsdirektivets krav 850 °C/2 s även under en bränslestörning är pannorna försedda med varsin oljeeldad stödbrännare på 12 MW. I luftskåpet under eldstaden finns även uppstartsbrännare på 6 MW.

Förbränningsluften som tas från tipphallen (och eventuellt från pannhuset) transporteras via en totalluftfläkt genom två luftförvärmare innan flödet delas upp mellan primärluft och överluft, där det senare flödet fördelas mellan sekundär-,

tertiär- och tvärluft. En förenklad schematisk skiss av gasflödena in till pannan ges i Figur 2 som ett komplement till Figur 1. Normalt hålls primärluftflödet tillräckligt högt för att säkerställa att ett minsta fluidiseringsflöde upprätthålls även om ingen rökgasåterföring tillförs eldstaden via botten. Primärluften går via en luftlåda under eldstaden in i eldstaden genom ett stort antal dysor i pannbotten. För att förbättra utmatningen av större obrännbara bitar som följt med bränslet används luftdysor som har sitt utblås riktat mot ett askutmatningsschakt vid mitten av pannbotten. Med syftet att ytterligare underlätta utflödet av bottenaska sluttar eldstadens botten svagt mot utmatningsschaktet. Vid normal drift börjar temperaturen regleras med hjälp av rökgasåterföring som blandas in med primärluften under dysbotten när bäddtemperaturer överstiger 870 °C.



Figur 2. Förenklad schematisk skiss över luft och gasflöden in till pannan

Figure 2. Simplified schematic view of the air and gas flows to the boiler

Över bädden finns en förträngning av eldstadens främre och bakre väggar (s.k. näsor) ifrån vilka sekundär och tertiärluft tillförs. Ovanför dessa tillförs även tvärluft från pannans sidoväggar. Ammoniak sprutas in i eldstadens övre del för att minska emissionerna av NO_x. Här är rökgastemperaturen typiskt mellan 900 och 950 °C.

Rökgasen går ut från eldstadens övre del genom en öppning i bakväggen och vänder ned igenom ett tomdrag innan flödet vänder uppåt genom ett bakre drag där sekundär- och primäröverhettare är placerade, följt av en kokyta. Rökgasen har en temperatur av ca: 350 °C när den passerar cyklonen uppströms de sex tubpaketen i ekonomisern där gasen kyls ned emot 150 °C. Slutligen passerar rökgaserna ett slangfilter och en rökgaskondenseringsanläggning innan de renade rökgaserna via rökgasfläkten leds ut genom skorstenen.

Rökgassammansättningen varierar men normalt kan rökgaserna antas ha en ungefärlig sammansättning enligt Tabell 8.

Tabell 8. Antagen normal ungefärlig rökassammansättning

Table 8. Assumed typical approximate flue gas composition

Parameter	Uppskattad halt
H ₂ O	20% vg
CO ₂	12% tg
O ₂	8% tg
CO	50 mg/Nm ³ tg
NO _x	120 mg/Nm ³ tg
HCl	500-1000 mg/Nm ³ tg
SO ₂	200-350 mg/Nm ³ tg
N ₂	balans
Stoft	3 g/Nm ³ tg

vg, våt gas

tg, torr gas

Nm³, normalkubikmeter

En del av rökgasen återförs och fördelas till eldstaden via en separat rökgas-återföringsfläkt med tillhörande spjäll. Rökgasåterföringen till bädden går in till luftlådan under eldstaden och reglerar bäddtemperaturen. Rökgas tillförs även vid näsorna för att blanda om gaserna och hålla nere förbränningstemperaturen i zonen.

Grova askpartiklar och annat obrännbart material matas ut tillsammans med bäddmaterial via ett vertikalt vattenkyld utlopp centralt beläget i eldstadens botten. Materialet transporteras därifrån med en vattenkyld skruv till en trumsikt där grovt material avskiljs. Det grova materialet lämnar anläggningen som bottenaska medan det fina materialet transporteras till en behållare för retursand, gemensam för bägge pannorna, varifrån materialet återförs till pannorna. Ny sand tillförs dessutom regelbundet från en gemensam sandsilo för att upprätthålla bäddhöjden och omsätta bäddmaterialet. Askan från vändschaktet (under tomschaktet) blandas med aska från cyklonavskiljaren och transporteras till en lagringssilo i väntan på deponi.

Vatten leds från ångdomens botten ned genom falltuber till fördelningsrör i pannans botten. Från de nedre fördelningsrören går vattnet upp genom väggtuberna där vattnet successivt förångas. Den densitetsskillnad som uppkommer driver vattnet mot de övre samlingslådorna där ångan separeras från vätskan innan den återförs till domen på olika nivåer. Den producerade ångan lämnar pannan via primär- och sekundäröverhettare placerade i bakre rökgasdraget. Insprutning av matarvatten mellan överhettarna sker för att hålla konstant utgående ångtemperatur.

4 Analytiska instrument och mätmetoder

4.1 PROVPREPARERING

4.1.1 Fältprover

De prover som skulle kapas för analys i optiskt mikroskop eller svepelektron-mikroskop belades med Biltemas snabb-epoxi runt kap-stället för att fixera och skydda beläggningsskikt samt påslag under kapningen. 10 cm av halvörslängden belades med epoxin och halvörret kapades utanför epoxibeläggningen. En Luna MBH-225 kallbandssåg användes vid denna första kapning. Provbitarna kapades sedan ytterligare i Struers Discotom-2 med Buehler abrasive cut-off wheel för att sedan kunna kapas i Struers Accutom 5 med Struers "water free cutting fluid" och Struers aluminium oxide cut-off wheel. Provbitarna göts sedan in i epoxi (Struers EpoFix) under vacuum. Kutsarna slipades och polerades i etanol ner till 1 μm i Struers RotoPol-22.

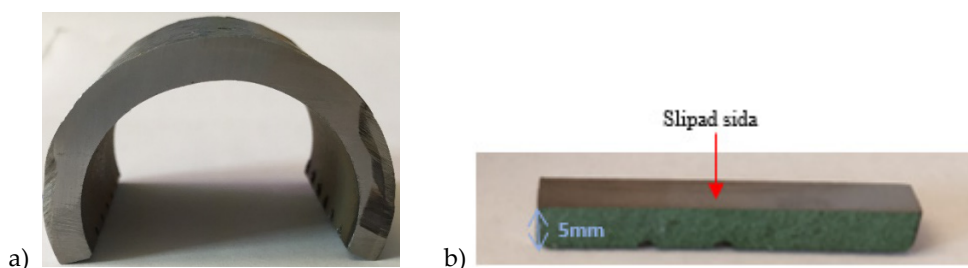
4.2 OPTISKT MIKROSKOP

4.2.1 Fältprover

Vid analys och bildtagning i optiskt mikroskop användes Leitz Aristomet med Leica DFC925 kamera och mjukvaran LAS V4.12.

4.2.2 Mätningar av belagda skikt

I Figur 3 ser vi en representativ bild på hur provbitar från sondprover har kapats för att göra tjockleksmätningar av de olika beläggningarna. Provbitarna kapades med en bredd på 5 mm vinkelrät mot sondprovets yta och slipades därefter ned till 4000 ppm på den kapade ytan. Mikroskopet Zeiss Axio Zoom V.16 användes vid samtliga mätningar.

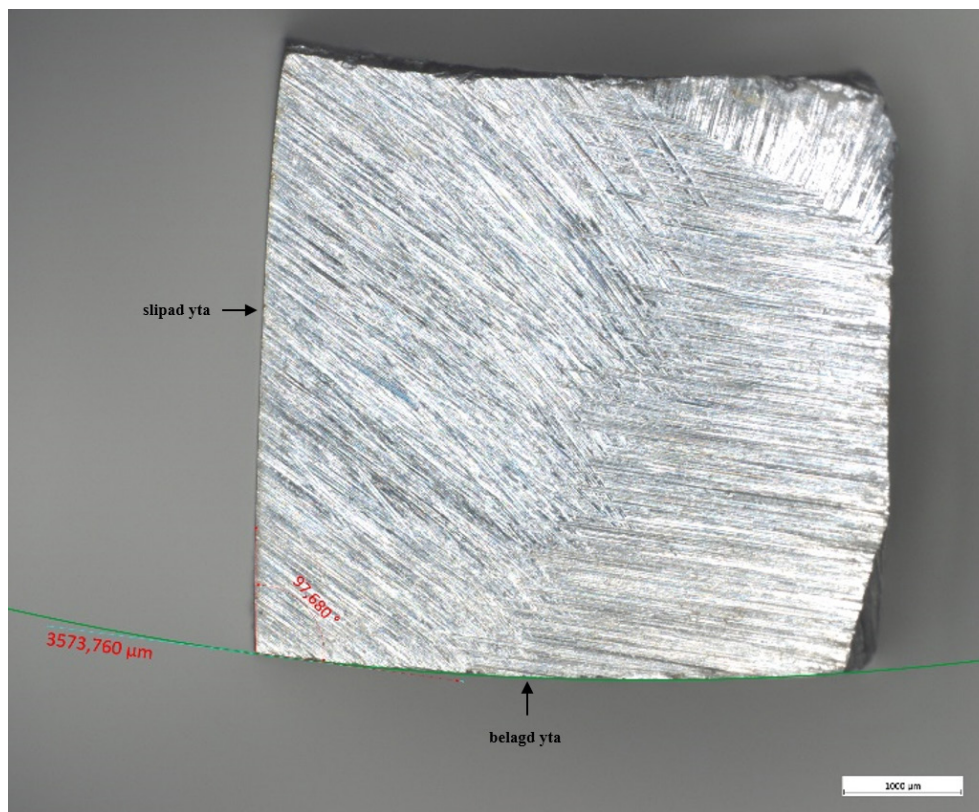


Figur 3. a) Ett sondprov formad som en halvmåne och b) en provbit som har kapats från sondprovet
Figure 3. a) A probe specimen shaped as a semi-circle and b) a specimen piece that has been cut from the probe specimen

Vinkelmätningar

Provbitarnas bågformade kurvatur påverkar resultatet av tjockleksmätningarna. För att undvika detta mättes vinkeln mellan provets slipade yta och beläggningen. Den rätta tjockleken på beläggningen kan sedan fås fram med hjälp av den

uppmätta vinkeln genom att kompensationsberäkna med hjälp av trigonometri. I detta projekt var sådana beräkningar inte nödvändiga eftersom vinkeln som uppmättes var försumbar. Figur 4 visar hur mätningen av vinkeln mellan provets slipade yta och provets belagda yta har gått till med hjälp av mikroskopets verktyg. Notera att i bilden visas ett referensprov som inte har någon beläggning.

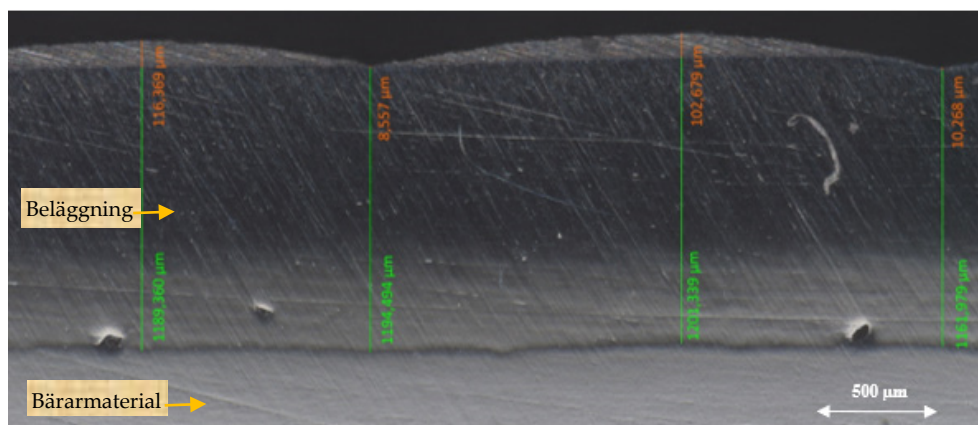


Figur 4. Vinkeln mellan provets slipade yta och provets belagda sida uppmättes till 97,68° för detta prov

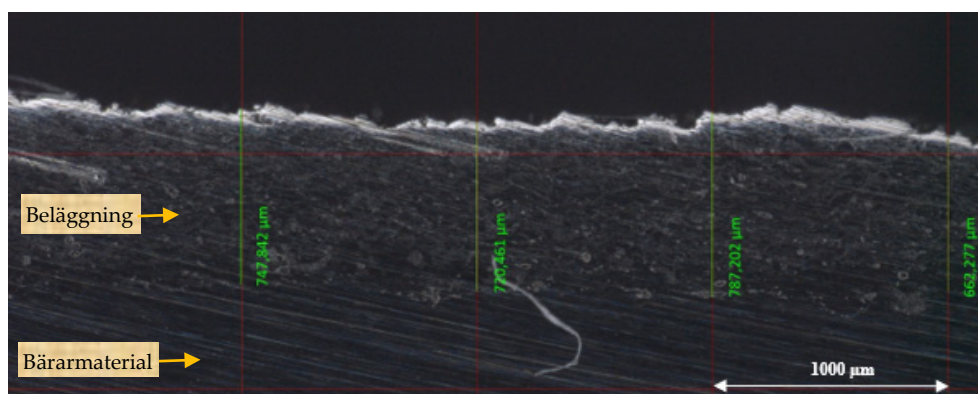
Figure 4. The angle between the specimen's ground surface and the specimen's coated side was measured to 97.68° for this specimen

Tjockleksmätningar

Provbitarna låg vågrätt på provbordet vid mätningarna med den slipade ytan uppåt mot mikroskopljuset. Mätningarna på skiktjockleken gick till på samma sätt för alla prover. Däremot var mätningsintervallet oregelbundet för de prover som hade svetssträngar. På dessa prover var mätpunkterna i svetssträngarnas maximum och minimum längs hela provytan, se Figur 5. För de övriga proverna som inte hade svetssträngar var mätningsintervallet regelbundet. Med hjälp av ett rutnät kunde man ställa in mätpunkterna med ett intervall på 1000 μm, se Figur 6.



Figur 5. En provbit med svetssträngar där mätpunkterna är i svetssträngarnas maximum och minimum
Figure 5. A specimen with weld beads where the measuring points are in the weld beads' maxima and minima



Figur 6. En provbit utan svetssträngar där mätpunkterna har ett intervall på 1000 μm
Figure 6. A specimen without weld beads where the measuring points are placed at an interval of 1000 μm

4.3 SVEPELEKTRONMIKROSKOP

4.3.1 Fältprover

Svepelektronmikroskop (SEM) tvärsnittsbilder av halvören är tagna med ett högupplöst SEM från JEOL, modell JSM-7800F, Japan. Innan bildtagning belades kutsarna med kol. Sekundär elektron (SE) och bakåtspridda elektron (BSE) bilder togs med en accelerationsspänning på 15 kV och ett arbetsavstånd på ca 10mm. Elementaranalys utfördes med ett EDS (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy) system från Bruker med 2 stycken XFlash 5010 detektorer och ESPRIT mjukvara, version 1.9.

4.3.2 Generellt

I rapporten presenteras resultat från elementaranalys utförd med EDS system. Det bör här nog poängteras att resultat från EDS-mätningar på sin höjd är semi-

kvantitativa. Resultaten ges för att underlätta jämförelser med flera decimaler, men i absoluta termer är de bara tillförlitliga vad gäller en eller två värdesiffror.

I de erhållna EDS-resultaten föreligger ofta höga halter av kol. Detta skall ej tolkas som att materialet är uppkolat eller består av karbider. Det är istället ett resultat av att det förekommer ett tunt kontaminationslager med kol på ytan av proverna och kol i ingjutningsmaterial för provberedning. Detta kol ger sedan stort utslag i EDS-mätningarna, men kan bortses ifrån.

Analys med EDS-teknik bygger på karaktäristiska röntgenstrålar för de analyserade ämnena. För vissa ämnen erhålls strålning av mycket närliggande våglängd. Det kan då vara svårt eller omöjligt att med EDS med säkerhet särskilja vilka ämnen som förekommer och att därmed bestämmas deras halter med någon precision, då de detekterade signalerna överlappar. Typiska ämnen som är mycket svåra att särskilja pga överlapp signaler är Mo och S. Även Nb och S kan i vissa fall ge upphov till felidentifikation pga överlapp.

5 Exponeringsförsök

5.1 FÄLTEXPONERING

5.1.1 Dokumentering av fältprover

Fältproverna var utformade som halv-rör belagda med olika beläggningsskikt (se avsnittet Testmaterial). Utseendet på fältproverna innan installation och exponering i pannan visas i Tabell 9. Det vita beläggningsskiktet på proverna (H1_5A_F, H3_5B_F, H4_5B_F, H3_6B_F, H4_6B_F, L1_8C_F, L3_10B_F, H3_13A_F, H4_13A_F, L3_15D_F, H1_16A_F, L1_16B_F, L3_17A_F, H1_17B_F, L1_18A_F) flagnade av relativt lätt vid beröring.

Skikten och bärmaterialet mättes på ett antal ställen med mikrometerskruv innan installation i pannan, se appendix. Medelvärdet på tjockleken av bärmaterialet drogs av från medelvärdet från bärmaterialet med skikt på för att få en skikttjocklek, se Tabell 10. Först räknades ett medelskikttjockleksvärde ut på varje position +30, 0, -30° genom att ta medelvärdet av tjockleken av bärmaterialet + skiktet på respektive position minus tjockleken av bärmaterialet på positionen. Därefter beräknades medelvärdet av dessa skikttjocklekar. Dessa värden är presenterade i Tabell 10. Detta sätt att beräkna skikttjocklek antar att skiktet har lagt sig ovanpå bärmaterialet vilket inte alltid är fallet, t.ex. vid svetsning fås en viss uppblandning av bärmaterialet som kan påverka skikttjockleken.

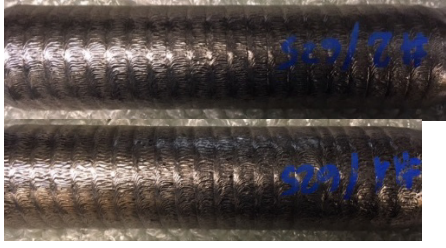
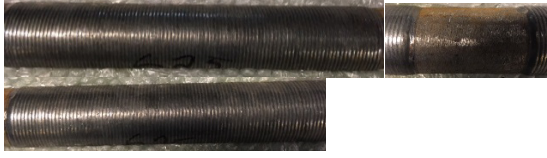
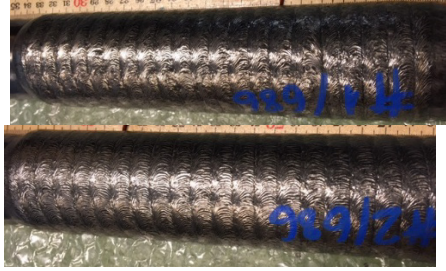
Tabell 9. Prov-ID och bilder på fältprover innan exponering i pannan

Table 9. Specimen ID and pictures of field test specimens before exposure in the boiler

H1_5A_F	
H3_5B_F, H4_5B_F	
H3_6B_F, H4_6B_F	
686L_7A_F	
625S_7B_F	
X268_8A_F	

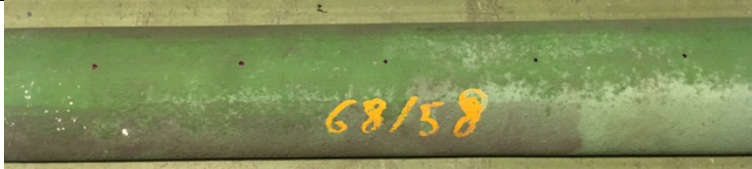
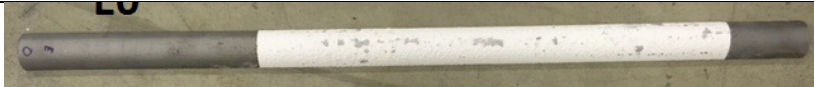
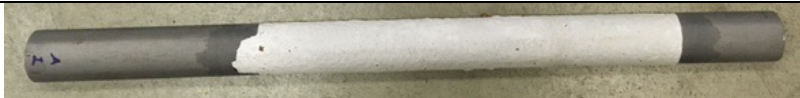
Tabell 9 Fortsättning

Table 9 Continuation

53606_8B_F	
L1_8C_F	
625U_9A1_F, 625U_9A2_F	
CER2_10A_F, DGL_10A_F	
L3_10B_F	
625L_11A_F	
686U_11B1_F, 686U_11B2_F	
686L_11C_F	

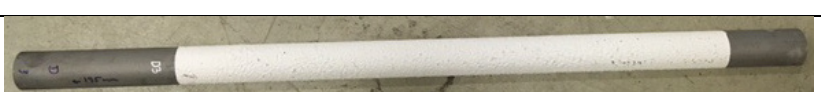
Tabell 9 Fortsättning

Table 9 Continuation

53606_12A_F	
BG_12B_F	
H3_13A_F, H4_13A_F	
6858TA_14A_F	
6858TA_14B_F	
X268TA_14C_F	
625S_15A_F	
X268TA_15B_F	
X268_15C_F	
L3_15D_F	
H1_16A_F	

Tabell 9 Fortsättning

Table 9 Continuation

L1_16B_F	
L3_17A_F	
H1_17B_F	
L1_18A_F	

Tabell 10. Beräknad skiktjocklek på proverna ((bärarmaterial + skikt) - (bärarmaterial) mätt med mikrometerskruv)

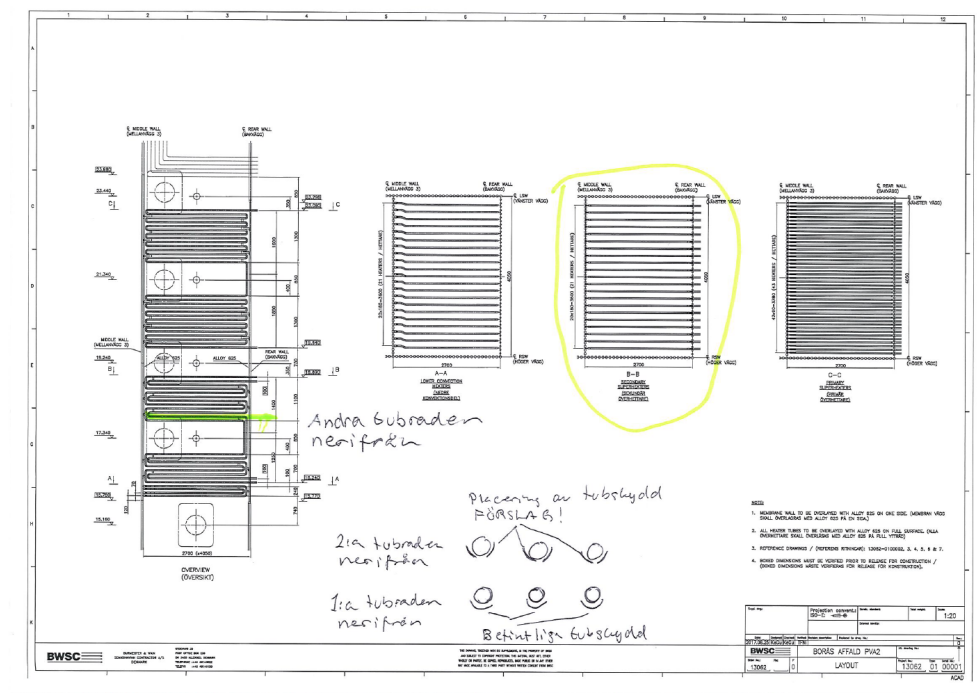
Table 10. Calculated layer thickness on the specimens ((substrate + layer) - (substrate) measured with micrometer screw gauge)

Prov	Skikt tjocklek (mm)
BG_12B_F	0,22
DGL_10A_F	0,08
CER2_10A_F	0,08
X268_15C_F	0,85
X268TA_15B_F	0,78
X268_8A_F	0,89
X268TA_14C_F	0,77
6858TA_14B_F	0,66
6858TA_14A_F	0,77
625U_9A1_F	2,28
625U_9A2_F	2,27
625L_11A_F	1,28 och 1,21
686U_11B1_F	2,22
686U_11B2_F	2,26
686L_11C_F	1,26
686L_7A_F	1,35
53606_12A_F	1,11

Prov	Skikt tjocklek (mm)
53606_8B_F	1,1
H1_16A_F	1,01
H1_17B_F	0,85
H1_5A_F	0,58
H4_13A_F	0,68
H3_13A_F	1,28
H4_6B_F	0,89
H3_6B_F	0,89
H4_5B_F	0,75
H3_5B_F	0,51
L3_10B_F	0,38
L1_8C_F	0,28
L3_15D_F	0,52
L1_18A_F	1,08
L3_17AF	0,43
L1_16B_F	0,55

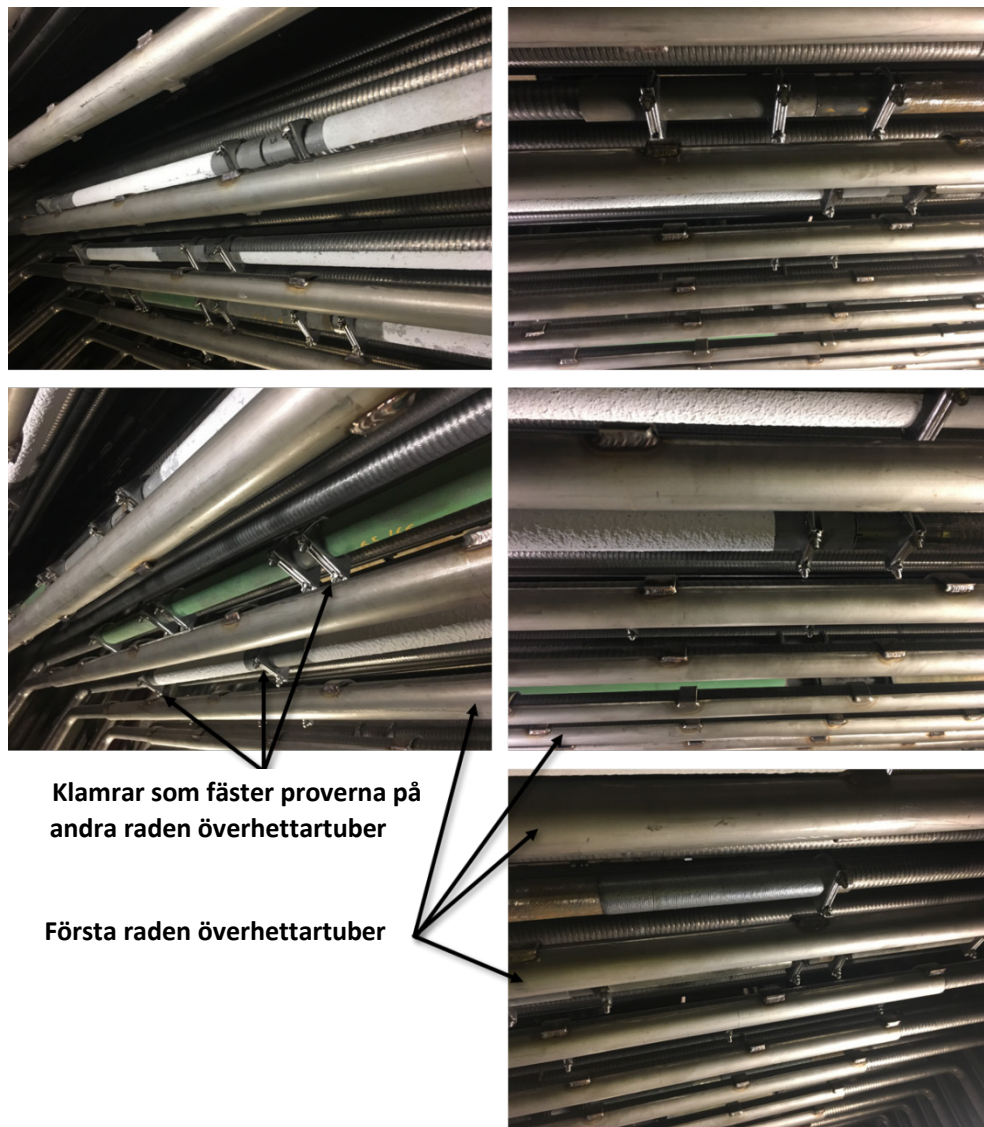
5.1.2 Installation av fältprover

Fältexponeringen utfördes hos Borås Energi och Miljö på Ryaverken i PVA2. Fältproverna var utformade som halvrör. De installerades på den andra raden nerifrån på överhettartuber, se Figur 7 och Figur 8. Denna position anvisades av anläggningen och är generellt något mindre utsatt för materialpåverkan än första raden då den bland annat är mer skyddad från erosion ifrån rökgasströmmen respektive sotblåsarna. Halvrören klämdes fast med klamrar på överhettartuberna och satt på så sätt som tubskydd. Klamrarna sattes på båda ändarna av tuben och i vissa fall även i mitten. Halvrören var belagda med olika material och de placerades enligt Tabell 11. Rör 1 är överhettartuben längst ifrån manluckan, dvs att fältproverna installerades på överhettartub nr 5 till 18, där 18 sitter närmast manluckan och 5 längst ifrån. Proverna började monteras på rör 5 längst ifrån väggen på sidan mot tomtraget och eldstaden och fylldes på efterhand. Första provet på röret fick position A, nästa B osv. Proverna identifieras sedan utifrån bl.a. provposition inkluderande rörnummer och positionsbokstav, enligt Tabell 5. På position 9A placerades två prover, då dessa var belagda på samma halvrör. Av samma skäl gjordes detta även på position 11B.



Figur 7. Bild på PVA2 och beskrivning var fältproverna installerades

Figure 7. View of boiler PVA2 and a description of where the field test specimens were mounted



Figur 8. Bilder på prov som installerats på överhettartuber

Figure 8. Pictures of specimens that are mounted on superheater tubes

Tabell 11. Position av fälttestmaterialen på överhettartuberna sett uppifrån

Table 11. Position of field test specimens on the superheater tubes viewed from above

Pannans högra sida					Vägg på sida mot tom-drag och eld-stad
Rör nr	Pos. A	Pos. B	Pos. C	Pos. D	
5	H1_5A_F	H3 + H4_5B_F			
6		H3 + H4_6B_F			
7	686L_7A_F	625S_7B_F			
8	X268_8A_F	53606_8B_F	L1_8C_F		
9	625U_9A2_F + 625U_9A1_F				
10	DGL+CER, 2x CER	L3_10B_F			
11	625L_11A_F	686U_11B2_F + 686U_11B1_F	686L_11C_F		
12	53606_12A_F	BG_12B_F			
13	H3 + H4_13A_F				
14	6858TA_14A_F	6858TA_14B_F	X268TA_14C_F		
15	625S_15A_F	X268TA_15B_F	X268_15C_F	L3_15D_F	
16	H1_16A_F	L1_16B_F			
17	L3_17A_F	H1_17B_F			
18	L1_18A_F				
Pannans vänstra sida, manlucka					

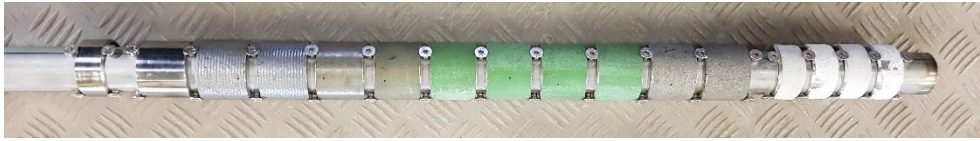
5.1.3 Exponering av fältprover

Exponeringen av fältproverna utfördes från 16 november 2017 till 13 maj 2019. Under försöksperioden kördes pannorna kontinuerligt på hög last, med undantag för några kortare stopp samt två längre revisionsstopp om c:a 2-3 veckor vardera. Under revisionsstoppen rengjordes överhettarna (och således även de belagda tubskydd) genom blästring. Temperaturen i överhettarstråket (under drift av pannan) mättes med externt termoelement vid två tillfällen under försöksperioden. Vid båda mätningarna uppmättes temperaturen till ca 530 °C, vilket kan antas vara normal temperatur vid denna position under normal drift. Under försöksperioden opererades ångsotblåsarna enligt ordinarie schema.

5.2 KORROSIONSSOND

En korrosionssond med 16 fastmonterade prover exponerades i direkt anslutning till fältproverna som monterats på överhettartuber. Korrosionssonden monterades via en genomföring i manluckan som leder till utrymmet där fältproverna var monterade, se avsnitt 5.1.2 och 6.1. Korrosionssonden hade ingen aktiv kylning utöver den kyleffekt som uppkommer genom värmeledning mot väggen. Sondens temperatur uppmättes till ca 530 °C vid spetsen och ca 10 °C kallare vid provet närmast väggen.

Korrosionssonden exponerades från 22 mars 2019 till 9 maj 2019, dvs 1152 h. Sondens utseende före och efter provning visas i Figur 9 och Figur 10. Proverna demonterades därefter för vidare analys.



Figur 9. Korrosionssonden före exponering med proverna fastmonterade
Figure 9. The corrosion probe before exposure with the specimens mounted



Figur 10. Korrosionssonden efter exponering med proverna fortfarande fastmonterade
Figure 10. The corrosion probe after exposure with the specimens still mounted

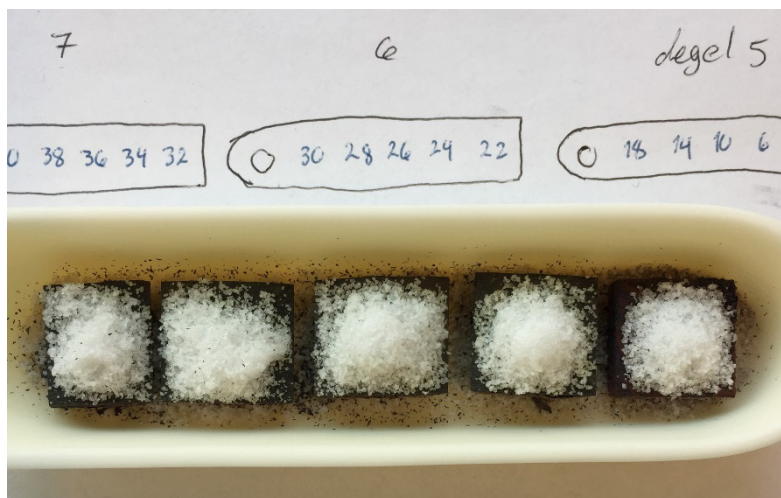
5.2.1 Provpreparering och analys

Efter att proverna demonterats göts de in i epoxi och torrkapades vinkelrätt längs provets toppyta. Därefter torrslipades proverna på den kapade ytan till en hög ytfinhet med hjälp av SiC-papper ned till en finhetsgrad av P4000 på slippapperet.

Efter provprepareringen analyserades proverna med ljusoptiskt mikroskop, enligt beskrivningen i avsnittet 4.2.2, för tjockleksmätning av deras olika beläggningar. Ett urval av prover analyserades vidare med SEM.

5.3 LABORATORIEPROVNING

Laboratorieprovning gjordes på 48 provkuponger enligt Tabell 7 av olika material och beläggningar. Ytan av varje provkupong täcktes med 99,9 % kemiskt ren KCl med mängden 0,06 g/cm². Proverna placerades i deglar, se Figur 11, vilka sattes in i en rörugn med temperaturen 600 °C. Exponeringen skedde i en atmosfär av N₂-5vol.%O₂-20vol.%H₂O.



Figur 11. En degel (nr. 6) med fem provkupper som har exponerats i 600 °C i 168 timmar
Figure 11. A crucible (no. 6) with five specimens after exposure at 600 °C for 168 hours

Provkupongerna exponerades i totalt 3 veckor (504 h). Efter första och andra veckan (168 h och 336 h) lades ytterligare 99,9 % kemiskt ren KCl med mängden 0,06 g/cm² på provkupongerna.

5.3.1 Provpreparering

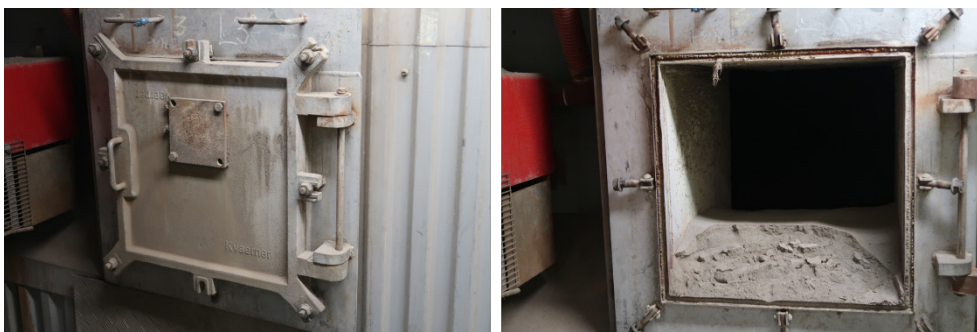
Enkelprover, totalt 19 provkupper av alla 48 exponerade provkupper, provpreparerades för vidare analys. För att saltet skulle hållas kvar på provytan täcktes proverna först med epoxi och göts därefter in i elektriskt ledande bakelit. Provkupongerna torrslipades på grovt SiC-papper så att 5 mm avlägsnades och därefter ned till en finhet av P4000 på slippapperet. Efter detta gjordes en analys av varje provkupper med ljusmikroskop och ett urval av proverna analyserades med SEM.

6 Resultat

6.1 FÄLTEXPONERING

Fältextponeringen pågick från 2017-11-16 till 2019-05-13, dvs 543 dagar. Revisionsstopp var ca 5 veckor under denna tiden vilket innebär att proverna exponerades 508 dagar, d.v.s 12192 timmar. Under fältextponeringen mättes rök Gastemperaturen vid två tillfällen (vid isättning och uttagning av korrosionssond) till ca 530 °C. Pannan går i stort sett alltid på hög effekt (precis som vid mättillfällena) så det är rimligt att anta att temperaturen oftast legat kring 530 °C. När fältproverna inspekterades 2018-05-14 satt samtliga prover väl på plats.

När fältextponeringen var klar öppnades manluckan till utrymmet där exponeringen ägt rum (Figur 12 till vänster). En substantiell mängd flygaska hade lagt sig på avsatsen innanför manluckan (Figur 12 till höger). Figur 13 visar en bild tagen inifrån utrymmet bakom manluckan. Manluckans öppning syns till vänster på bilden, vid personens fot. Även en cirkulär öppning för ångsotblåsare syns. I "taket" ser vi första raden överhettartuber med tubskydd på sig. Proverna är installerade på överhettartuberna ovanför denna raden, dvs på andra raden överhettartuber. Figur 14 visar en närbild på överhettartuberna, där även några av proverna syns. Påslaget på proverna är signifikant och gör det omöjligt att uppskatta vilket prov som fungerat bäst, även efter uttag se Tabell 12.



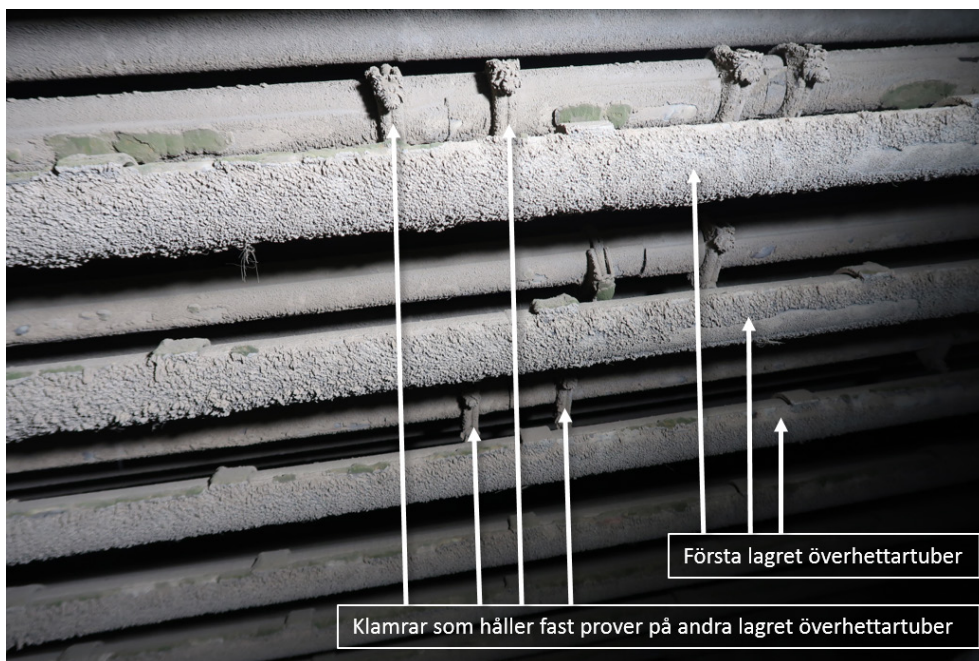
Figur 12. Manluckan till utrymmet där proverna exponerades. Till vänster: manluckan stängd. Till höger: manluckan öppen

Figure 12. Manhole hatch to the area where the specimens were exposed. Left: Manhole hatch closed. Right: Manhole hatch open



Figur 13. Utrymmet innanför manluckan med manluckan öppen (till vänster vid foten), samt cirkulär öppning för ångsotblåsare

Figure 13. The area inside the manhole with the manhole hatch open (to the left by the foot), as well as circular opening for steam soot blower



Figur 14. Prover efter exponering, innan uttag från pannan

Figure 14. Specimens after exposure, before removal from boiler

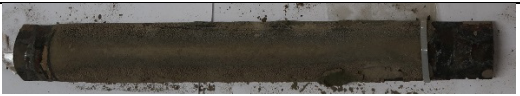
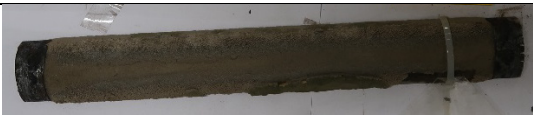
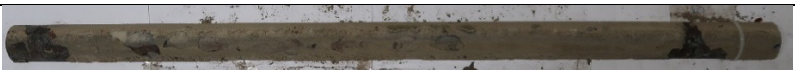
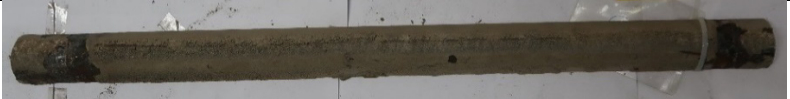
Tabell 12. Prov-ID och bilder på fältprover uttagna ur pannan efter exponering

Table 12. Specimen ID and pictures of field test specimens removed from the boiler after exposure

H1_5A_F	
H3_5B_F, H4_5B_F	
H3_6B_F, H4_6B_F	
686L_7A_F	
625S_7B_F	
X268_8A_F	
53606_8B_F	
L1_8C_F	
625U_9A1_F, 625U_9A2_F	
CER2_10A_F, DGL_10A_F	
L3_10B_F	
625L_11A_F	
686U_11B1_F, 686U_11B2_F	
686L_11C_F	
53606_12A_F	

Tabell 12 Fortsättning

Table 12 Continuation

BG_12B_F	
H3_13A_F, H4_13A_F	
6858TA_14A_F	
6858TA_14B_F	
X268TA_14C_F	
625S_15A_F	
X268TA_15B_F	
X268_15C_F	
L3_15D_F	
H1_16A_F	
L1_16B_F	
L3_17A_F	
H1_17B_F	
L1_18A_F	

6.1.1 Mängd påslag

Vid utvärdering av mängden påslag måste kommas ihåg att mängden påslag är svårt att utvärdera eftersom det är mycket möjligt att bärarmaterialet har korroderat och flagnat medan skikten inte har det och därmed fås ett resultat som antyder ett tjockare påslag på skiktet. För att få en uppskattning av påslaget på prover och referensmaterial efter exponeringen mättes totala tjockleken av bärarmaterial, beläggningsskikt och påslag eller endast bärarmaterial och påslag som referens, vilket subtraherades från uppmätta värden innan exponering, se Tabell 13. Negativa värden innebär alltså att tjockleken har minskat efter exponering och att det således har avverkats material under exponeringen i pannan. Tjock provtext innebär att dessa prover även har kapats för att titta på skiktet i tvärsnitt i optiskt mikroskop och/eller SEM. Tjock kommentarstext ("mer på skiktet") innebär att det är mycket mer påslag på skiktet.

Tabell 13. Uppmätt påslag på referensmaterialet samt skiktet efter exponering i pannan. Beräkning gjordes genom att ta uppmätt tjocklek av bärarmaterialet + skikt + påslag efter exponering och subtrahera med uppmätt tjocklek av bärarmaterialet + skikt innan exponering. Referensen beräknades på samma sätt men utan skikt. Tjock provtext innebär att ett tvärsnitt gjorts på provet för att analysera skiktet.

Table 13. Measured deposit on reference material and the coating after exposure in the boiler. Calculation was made by taking measured thickness of substrate + coating + deposit after exposure and subtracting with measured thickness of substrate + coating before exposure. Reference was calculated the same way but without coating. Thick specimen text denotes that a cross-section was made on the specimen to analyse coating thickness

Prov	Påslag på skikt (0°) (mm)	Påslag på ref (0°) (mm)	Kommentar om mängden påslag
BG_12B_F	0,18 - 0,8	0,1 - 0,56	~samma
DGL_10A_F	1 - 3,64	-0,08 – 0,22	mer på skiktet
CER2_10A_F	0,54 – 0,76	0 – 0,48	~samma
X268_15C_F	0,02 – 0,54	0,46 – 0,82	Något mer på ref
X268TA_15B_F	0,32 - 0,6	-0,2 - 0	mer på skiktet
X268_8A_F	1,34 - 5,9	-0,1 – 1,5	mer på skiktet
X268TA_14C_F	0,32 – 0,52	-0,11	mer på skiktet
6858TA_14B_F	0,3 – 0,5	-0,14 – 0	mer på skiktet
6858TA_14A_F	0,38 - 1	0,16 – 1,16	~samma
625U_9A1_F	0,48 – 0,88	-0,2 – 0,88	något mer på skikt
625U_9A2_F	0,66 – 0,96	0 – 0,88	något mer på skikt
625L_11A_F	0,32 – 1,02	-0,29 – 2,07	~samma
686U_11B1_F	0,22 – 0,48	-0,3 – 0,44	något mer på skikt
686U_11B2_F	0,4 – 0,62	-0,54 – 0,44	något mer på skikt
686L_11C_F	-0,02 – 0,58	0 – 0,14	något mer på skikt

Tabell 13 Fortsättning

Table 13 Continuation

Prov	Påslag på skikt (0°) (mm)	Påslag på ref (0°) (mm)	Kommentar om påslaget
686L_7A_F	0,5 - 1	-0,06 – 0,84	något mer på skikt
53606_12A_F	0,42 – 0,86	0	mer på skiktet
53606_8B_F	0,6 – 1,16	-0,22 – 0,5	mer på skiktet
H1_16A_F	0,58	-0,14 – 0,18	mer på skiktet
H1_17B_F	0,08	-0,16 - 0	~samma
H1_5A_F	1,6	0,9 – 1,4	~samma
H4_13A_F	-0,06	-0,02 – 0,6	Något mer på ref
H3_13A_F	1,2	-0,12 - -0,02	mer på skiktet
H4_6B_F	0,64	-0,04 – 0,02	mer på skiktet
H3_6B_F	-0,28	-0,08 – 0,02	~samma
H4_5B_F	0,84	-0,08 - 0	mer på skiktet
H3_5B_F	0,22	-0,08 - 0	mer på skiktet
L3_10B_F	-0,18	-0,42 - -0,12	~samma
L1_8C_F	0,12	-0,48 - -0,26	mer på skiktet
L3_15D_F	0,04	-0,08 – 0,2	~samma
L1_18A_F	-0,32	-0,04 – 0,42	mer på ref
L3_17AF	0,42	-0,16 – 0,1	mer på skiktet
L1_16B_F	-0,16	0 – 0,04	~samma

Resultatet är förstås något svårtolkat eftersom många parametrar spelar in. Till exempel om påslaget eller skiktet har flagnat vid något tillfälle eller om påslaget varit större på vissa ställen under exponeringen i pannan. Om vi bortser ifrån detta så kan vi generalisera och säga att där det står "~samma" under "kommentarer av påslaget" i Tabell 13 så fäster påslaget lika bra på bärmaterialet som på skiktet. Där det står "mer på skiktet" fäster påslaget bättre på skiktet än på bärmaterialet. Dock är det mycket möjligt att bärmaterialet har korroderat och flagnat medan skikten inte har det och därmed fås ett resultat som antyder ett tjockare påslag.

6.1.2 Förlust av bärarmaterial

För att få en uppskattning av materialförlusten på bärarmaterialet uppmättes materialtjockleken med mikrometerskruv på ett antal ställen före och efter exponering. Påslag avlägsnades med hjälp av en stålborste innan mätning. Materialtjockleksskillnaden (före och efter exponering) räknades ut och kan ses i Tabell 14 tillsammans med ungefärlig position. Exakt position av mätningarna kan ses i appendix där positionen är markerad med tjocka blå siffror. Medelvärde av materialförlust utifrån dessa mätningar är 0,21 mm.

Tabell 14. Materialförlust (mm) av bärarmaterialet efter exponering i pannan, mätt med mikrometerskruv

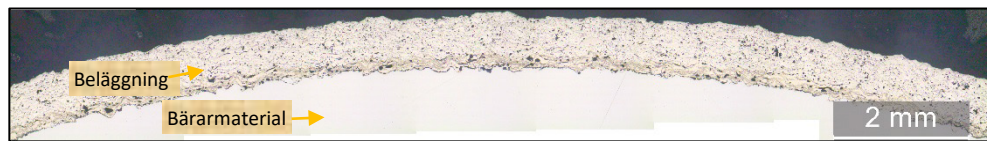
Table 14. Material loss (mm) of uncoated substrate material after exposure in the boiler, measured by micrometer screw gauge

Pannans högra sida				
Rör nr	Pos. A	Pos. B	Pos. C	Pos. D
5	-0.31	-0.19		
6				
7	-0.18			
8	-0.21,	-0.16		
9				
10	-0.13, -0.14			
11	-0.5			
12		-0.27, -0.2		
13				
14			-0.23	
15			-0.11	
16				
17		-0.12		
18	-0,2			
Pannans vänstra sida, manlucka				

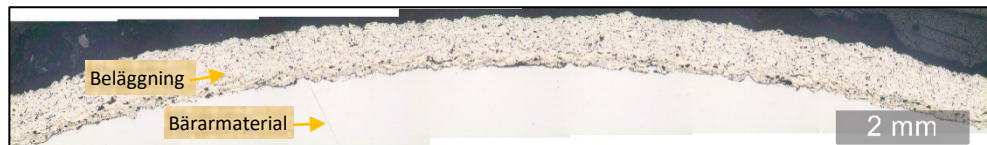
Vägg på sida
mot tomdrag
och eldstad

6.1.3 Tvärsnittsanalyser – optiskt mikroskop

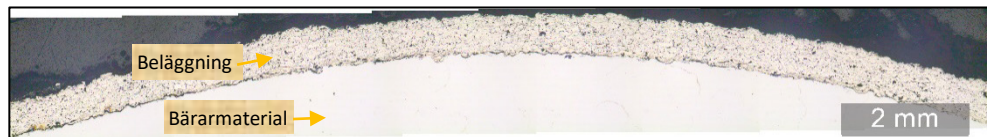
Tvärsnittsbilder togs med optiskt mikroskop på ett antal prover valda utifrån att en bred spridning mellan materialtyper önskades, samt med hänsyn till prioriteringsönskemål ifrån Castolin och Calderys, se Figur 15 till Figur 27. På prov 686L_7A_F, 625L_11A_F och 625U_9A1_F lades tvärsnittet längs med rörlängden eftersom stor variation på skiktjockleken förväntades längs med men inte tvärs över röret p.g.a. skiktpåläggningsförfarandet. Övriga prover (DGL_10A_F, CER2_10A_F, BG_12B_F, L3_15D_F, H1_5A_F, H4_5B_F, X268TA_14C_F, 53606_8B_F, X268_8A_F, X268_15C_F) kapades 90 grader mot längden på röret, dvs tvärs över röret. Detta eftersom det kap-tekniskt blir betydligt lättare samt att ingen variation förväntades på dessa skikt. Alla snitt gjordes så nära mitten av längden på skiktet som möjligt. Vissa prover var inte uppmätta exakt på mitten av skiktet innan exponering, då togs den uppmätta positionen så nära mitten som möjligt. Exakt position är uppmärkt i appendix med tjocka röda siffror.



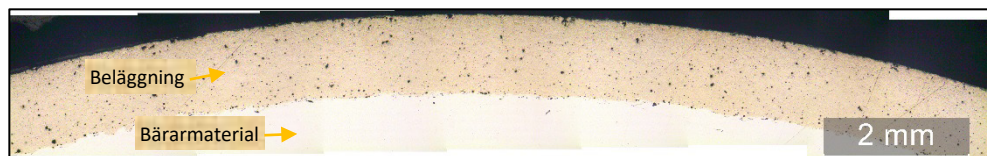
Figur 15. Tvärsnittsbild på skiktet på prov X268_8A_F efter exponering
Figure 15. Cross-section of coating on specimen X268_8A_F after exposure



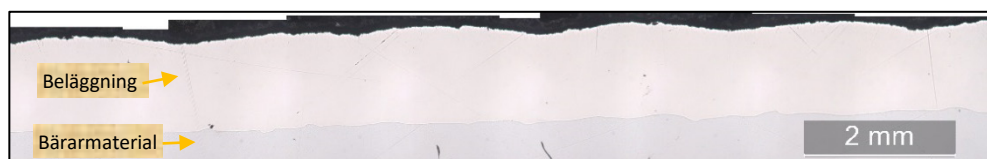
Figur 16. Tvärsnittsbild på skiktet på prov X268_15C_F efter exponering
Figure 16. Cross-section of coating on specimen X268_15C_F after exposure



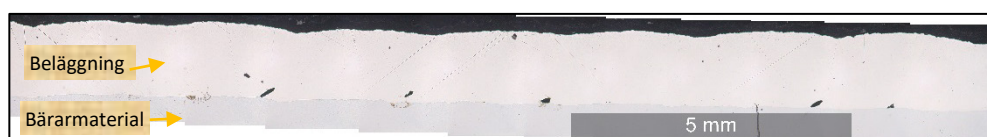
Figur 17. Tvärsnittsbild på skiktet på prov X268TA_14C_F efter exponering
Figure 17. Cross-section of coating on specimen X268TA_14C_F after exposure



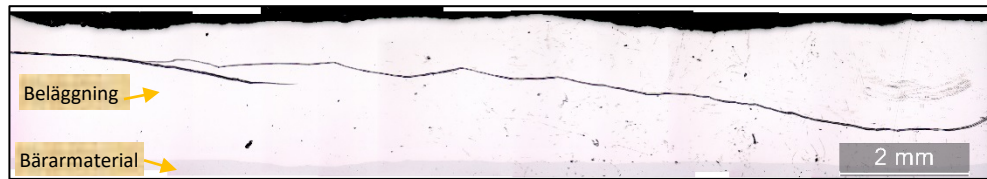
Figur 18. Tvärsnittsbild på skiktet på prov 53606_8B_F efter exponering
Figure 18. Cross-section of coating on specimen 53606_8B_F after exposure



Figur 19. Tvärsnittsbild på skiktet på prov 625L_11A_F efter exponering
Figure 19. Cross-section of coating on specimen 625L_11A_F after exposure

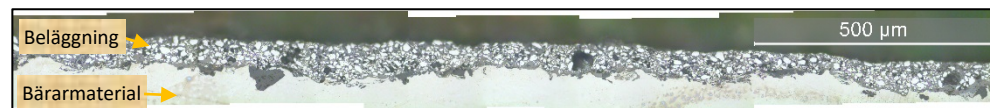
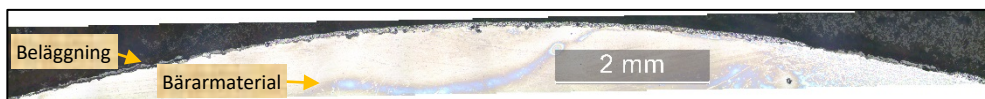


Figur 20. Tvärsnittsbild på skiktet på prov 686L_7A_F efter exponering
Figure 20. Cross-section of coating on specimen 686L_7A_F after exposure



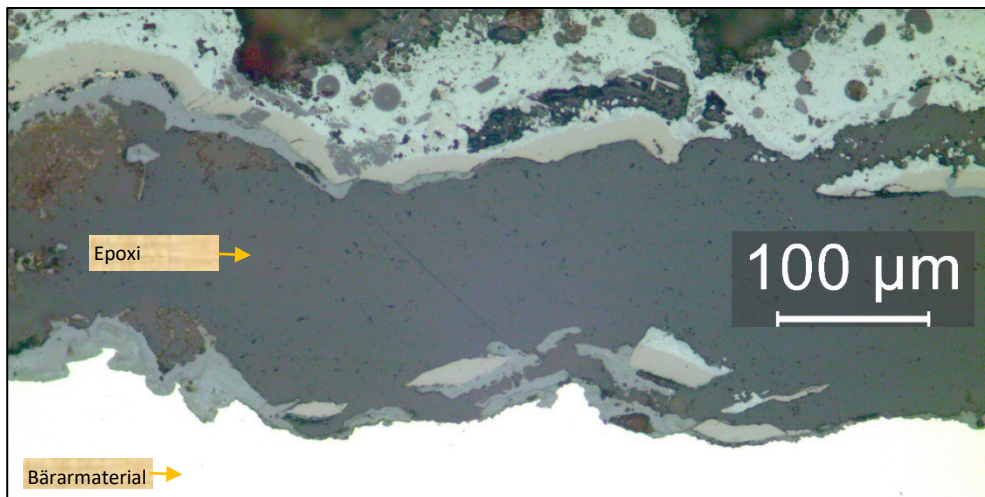
Figur 21. Tvärsnittsbild på skiktet på prov 625U_9A1_F efter exponering. Provet är avsiktligt repat för att möjliggöra sammanfogning av bilder i höjddled

Figure 21. Cross-section of coating on specimen 625U_9A1_F after exposure. The specimen is deliberately scratched to allow stitching of images in the vertical



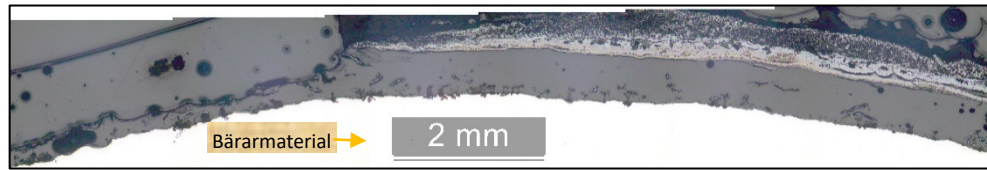
Figur 22. Tvärsnittsbilder på skiktet på prov DGL_10A_F efter exponering

Figure 22. Cross-section of coating on specimen DGL_10A_F after exposure

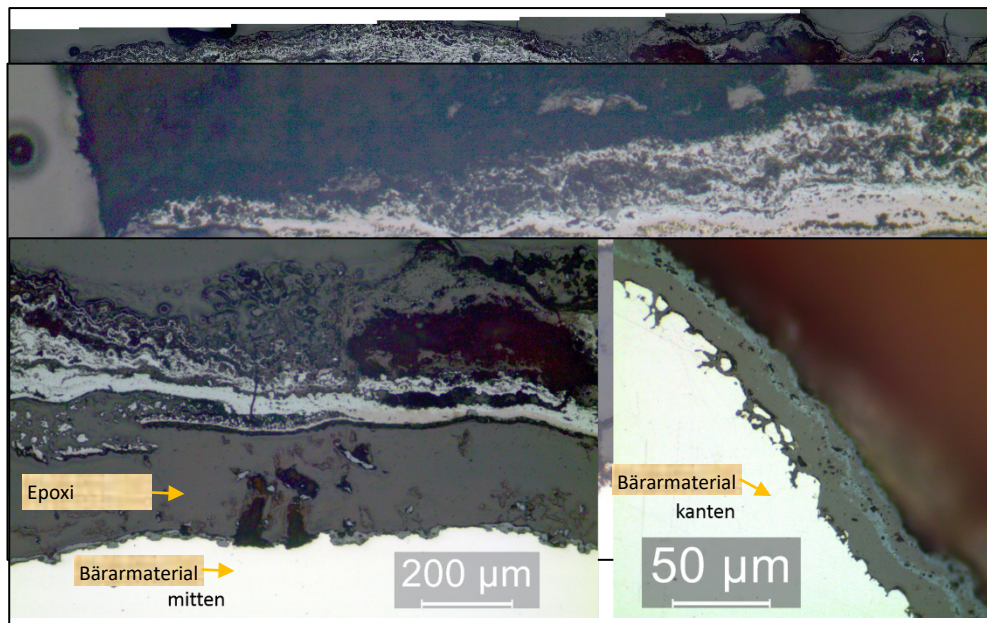


Figur 23. Tvärsnittsbilder på skiktet på prov CER2_10A_F efter exponering

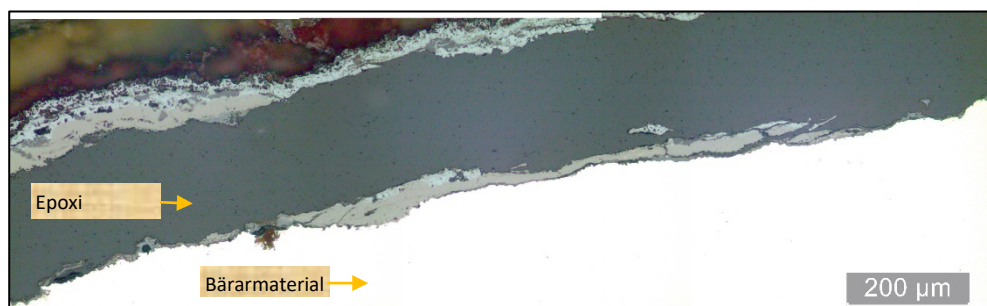
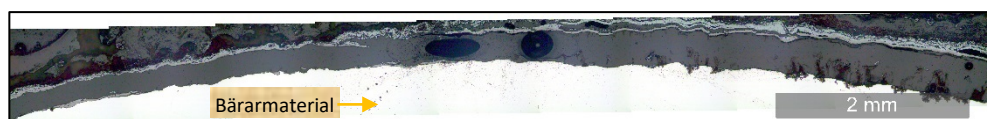
Figure 23. Cross-section of coating on specimen CER2_10A_F after exposure



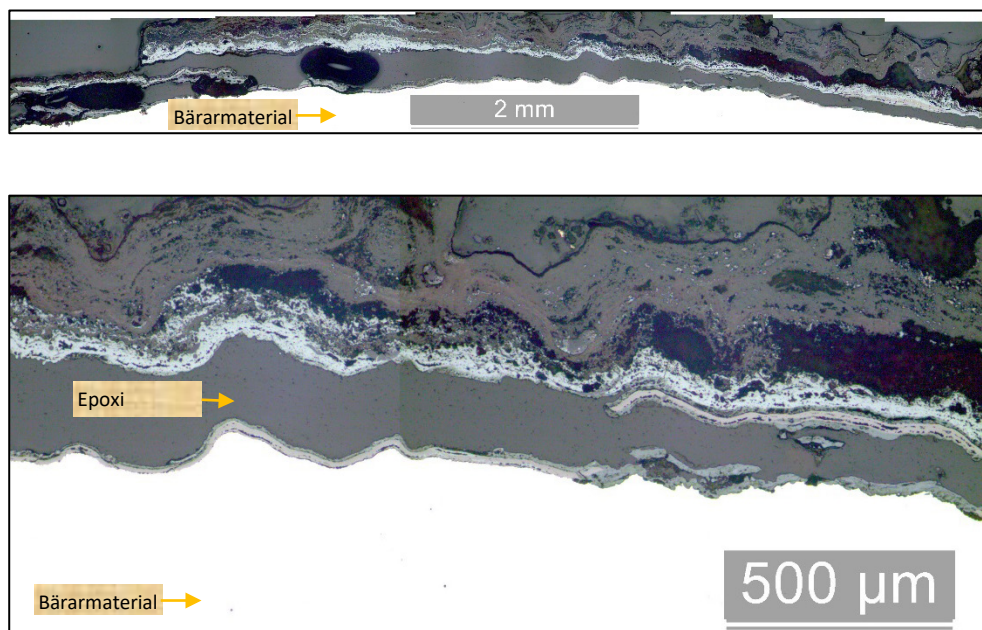
Figur 24. Tvärsnittsbilder på skiktet på prov H1_5A_F efter exponering
Figure 24. Cross-section of coating on specimen H1_5A_F after exposure



Figur 25. Tvärsnittsbilder på skiktet på prov L3_15D_F efter exponering
Figure 25. Cross-section of coating on specimen L3_15D_F after exposure



Figur 26. Tvärsnittsbilder på skiktet på prov BG_12B_F efter exponering
Figure 26. Cross-section of coating on specimen BG_12B_F after exposure



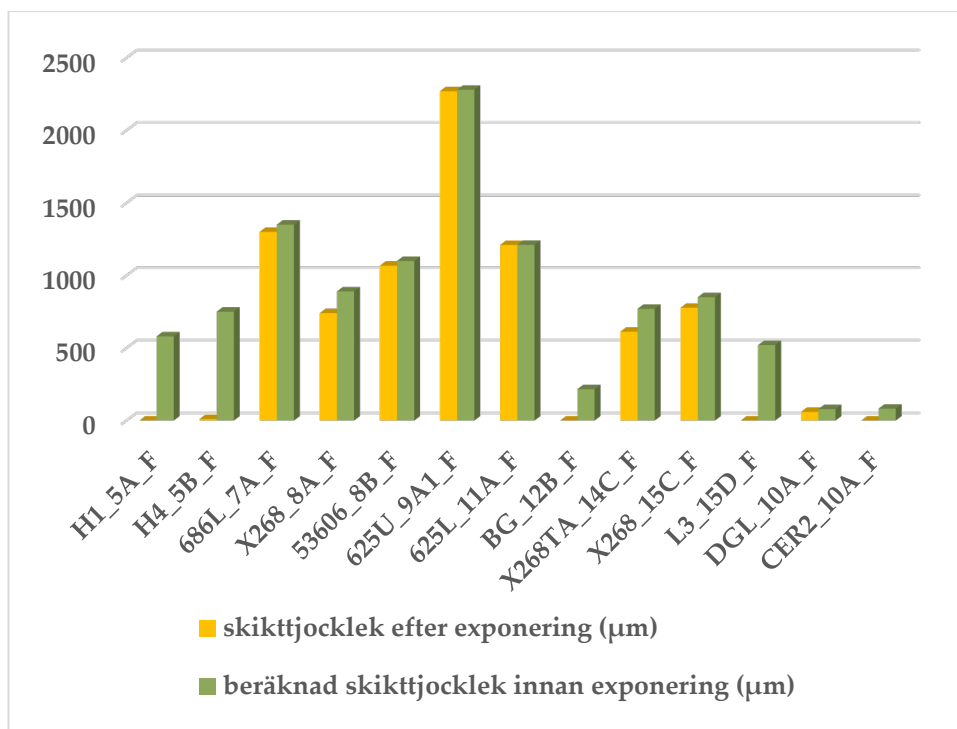
Figur 27. Tvärsnittsbilder på skiktet på prov H4_5B_F efter exponering

Figure 27. Cross-section of coating on specimen H4_5B_F after exposure

Tjockleken på de olika beläggningsskikten beräknades innan exponering genom att ta uppmätt tjocklek på bärarmaterialet samt skiktet och sedan dra av tjockleken på bärarmaterialet där skikt ej lagts på. Efter exponering mättes skiktjockleken på tvärsnittspröver i mikroskop. På prov 686L_7A_F, 625L_11A_F och 625U_9A1_F mättes skiktet bara på topparna, dvs där skiktet är som tjockast eftersom topparna mättes innan exponering. Minst 10 mätningar per skikt (förutom 625U_9A1_F där 3 mätningar gjordes) utfördes på olika ställen och medelvärde beräknades. Skillnaden på skikt-tjockleken innan exponering och efter exponering beräknades sedan, resultaten är sammanställda i Tabell 15 och delvis i Figur 28.

Tabell 15. Beräknad skiktjocklek innan exponering och mätt skiktjocklek efter exponering samt skillnaden
Table 15. Calculated coating thickness before exposure and measured coating thickness after exposure and the difference

Prov	skiktjocklek efter exponering (µm)	beräknad skiktjocklek innan exponering (µm)	skillnad (µm)
H1_5A_F	(ofta sprucket eller obefintligt)	580	-580
H4_5B_F	10 (ofta sprucket eller obefintligt)	750	-740
686L_7A_F	1300	1350	-50
X268_8A_F	740	890	-150
53606_8B_F	1070	1100	-30
625U_9A1_F	2270	2280	-10
625L_11A_F	1210	1210	0
BG_12B_F	(ofta sprucket eller obefintligt)	215	-215
X268TA_14C_F	610	770	-160
X268_15C_F	780	850	-70
L3_15D_F	(ofta sprucket eller obefintligt)	520	-520
DGL_10A_F	60	80	-20
CER2_10A_F	(ofta sprucket eller obefintligt)	80	-80



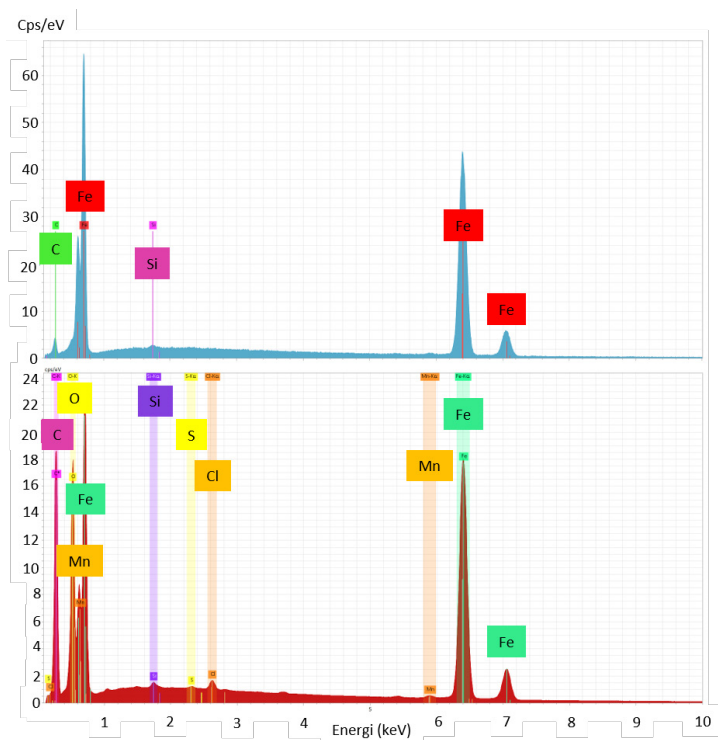
Figur 28. Stapeldiagram som visar beräknad skiktjocklek innan exponering (beräknad) och skiktjocklek efter exponering (uppmätt från tvärsnitt i optiskt mikroskop)

Figure 28. Bar chart showing calculated coating thickness before exposure (calculated) and the coating thickness after exposure (measured from cross-sections with an optical microscope)

För att utvärdera om skikten som hade försvunnit (H1_5A_F, H4_5B_F och L3_15D_F) hade skyddat bärarmaterialet något och därmed minskat materialförlusten mättes bärarmaterialets tjocklek (där skikt hade varit pålagt innan exponering) i tvärsnitt i mikroskop och jämfördes med referensbärarmaterialets tjocklek uppmätt med mikrometerskruv. Bärarmaterialförlusten under skiktet var i samma storleksordning som bärarmaterialförlusten utan skikt på prov H4_5B_F och L3_15D_F. På prov H1_5A_F var bärarmaterialförlusten ca 200 µm högre under skiktet än utan skikt. Oklart vad detta beror på. Dock kan slutsatsen dras att skikten inte har skyddat bärarmaterialen i någon större utsträckning.

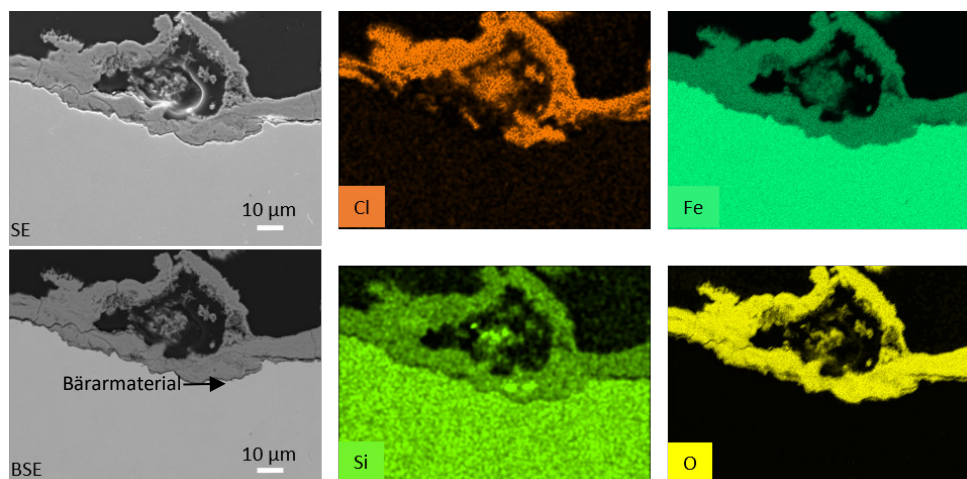
6.1.4 Tvärsnittsanalyser – SEM

Proverna som var belagda med ett vitt skikt innan exponering (H1_5A_F, H4_5B_F och L3_15D_F) analyserades med SEM/EDS för att undersöka om skiktet påverkat bärarmaterialet genom till exempel elementmigration. Resultatet blev samma för alla 3 proverna. Spektrumen visar att basmaterialet innehåller Fe, Si och Mn (Figur 29, Figur 31 och Figur 33). Koltoppen i spektrumen kan förklaras med att proverna är kolbelagda för att ta bort laddningsstörningar vid SEM analysen. Spektrumen som är tagna vid ytterytan visar, förutom basmaterialtopparna, toppar för Cl, O och S. Mapping visar att svavelsignalen är så svag att endast brus kan ses (Figur 32). Cl och O hittas i det yttre lagret på basmaterialet (Figur 30, Figur 32 och Figur 34), vilket indikerar att detta är påslag ifrån pannaskan. På prov H1_5A_F och L3_15D_F ligger påslaget direkt på basmaterialet, dvs att skiktet är helt borta. På prov H4_5B_F finns ett mellanlager mellan Cl och basmaterialet vilket indikerar att ett skikt möjligtvis är kvar, förutsatt att skiktet är rikt på Fe och O, annars är det ett Cl-fattigt påslag.



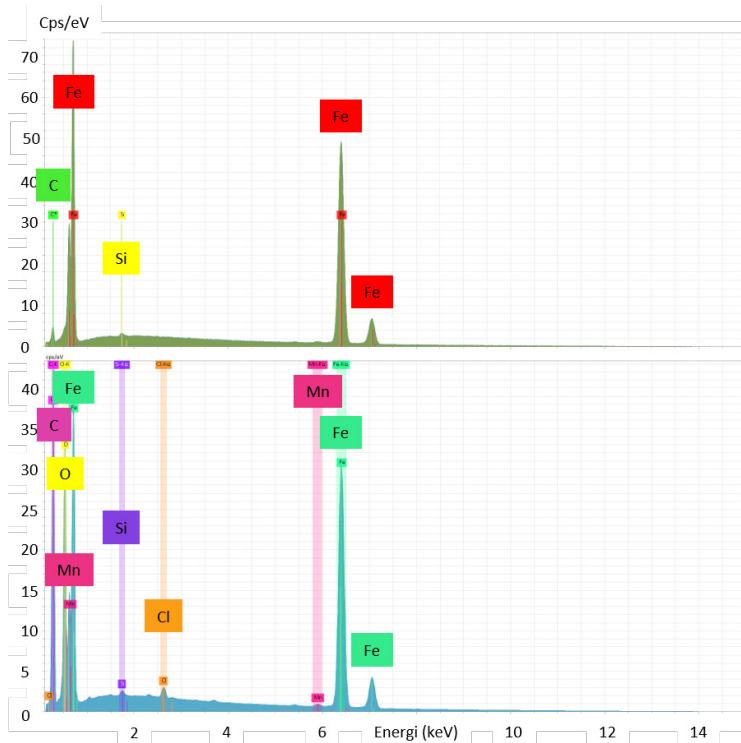
Figur 29. EDS Spektra från tvärsnittets bärrmaterial (överst) på prov H1_5A_F samt summa spektra från tvärsnitt som inkluderar halvörrets ytteryta (underst), se Figur 30

Figure 29. EDS spectrum from the substrate of the cross-section (upper) on specimen H1_5A_F as well as sum spectrum from cross-section that includes the semi-circular specimen's outer surface (below), see Figure 30



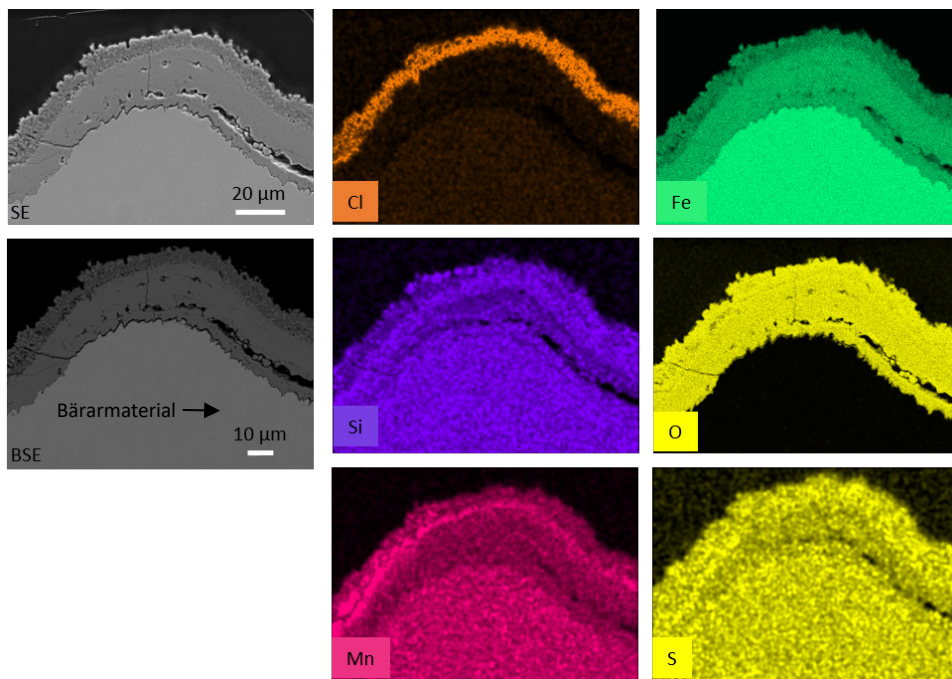
Figur 30. SEM bilder av sekundärelektroner (SE) och bakåtspridda elektroner (BSE) samt avbildning av detekterade element på prov H1_5A_F

Figure 30. SEM images from secondary electrons (SE) and back-scattered electrons (BSE) as well as images of detected elements on specimen H1_5A_F



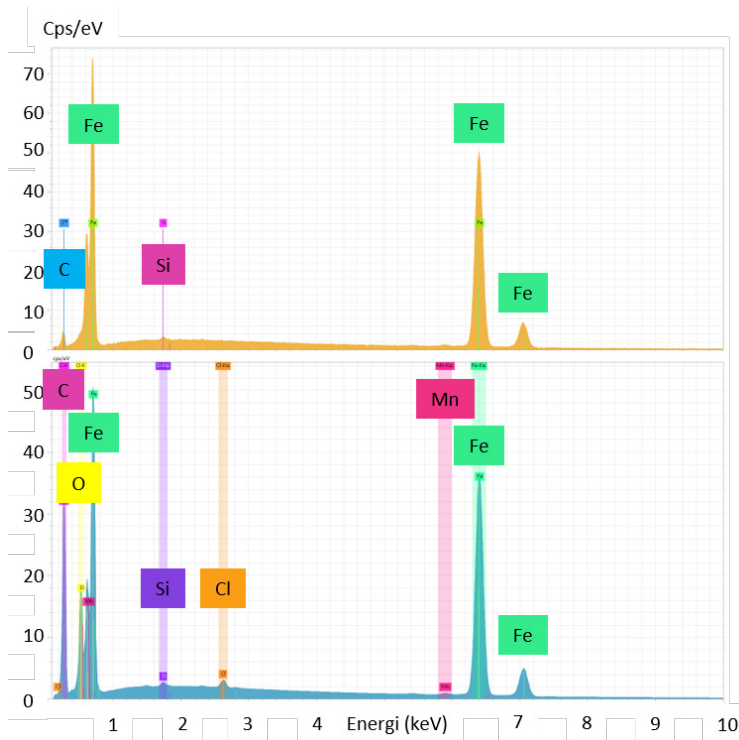
Figur 31. EDS Spektra från tvärsnitts bärrmaterial (överst) på prov H4_5B_F samt summa spektra från tvärsnitt som inkluderar halvrörets ytteryta (underst), se Figur 32

Figure 31. EDS spectrum from the substrate of the cross-section (upper) on specimen H4_5B_F as well as sum spectrum from cross-section that includes the semi-circular specimen's outer surface (below), see Figure 32



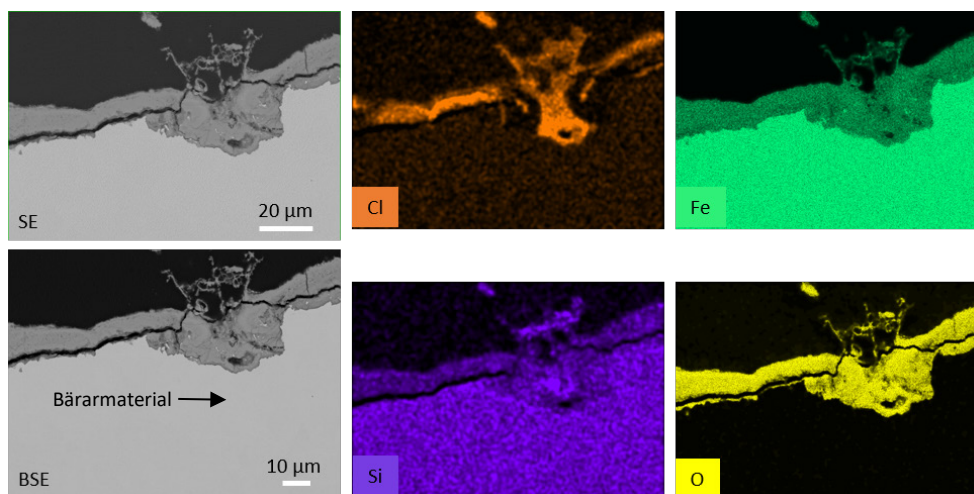
Figur 32. SEM bilder av sekundärelektroner (SE) och bakåtspridda elektroner (BSE) samt avbildning av detekterade element på prov H4_5B_F

Figure 32. SEM images from secondary electrons (SE) and back-scattered electrons (BSE) as well as images of detected elements on specimen H4_5B_F



Figur 33. EDS Spektra från tvärsnittets bärrmaterial (överst) på prov L3_15D_F samt summa spektra från tvärsnitt som inkluderar halvörrets ytteryta (underst), se Figur 34

Figure 33. EDS spectrum from the substrate of the cross-section (upper) on specimen L3_15D_F as well as sum spectrum from cross-section that includes the semi-circular specimen's outer surface (below), see Figure 34



Figur 34. SEM bilder av sekundärelektroner (SE) och bakåtspridda elektroner (BSE) samt avbildning av detekterade element på prov L3_15D_F

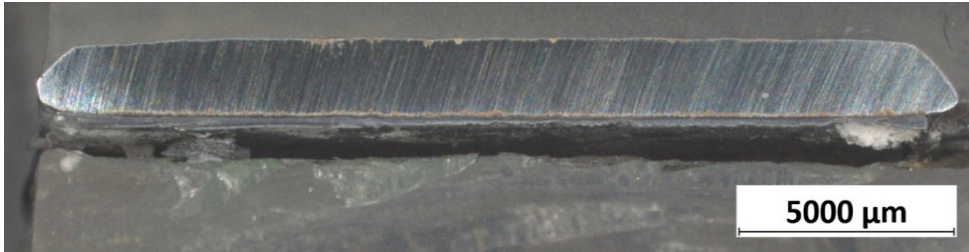
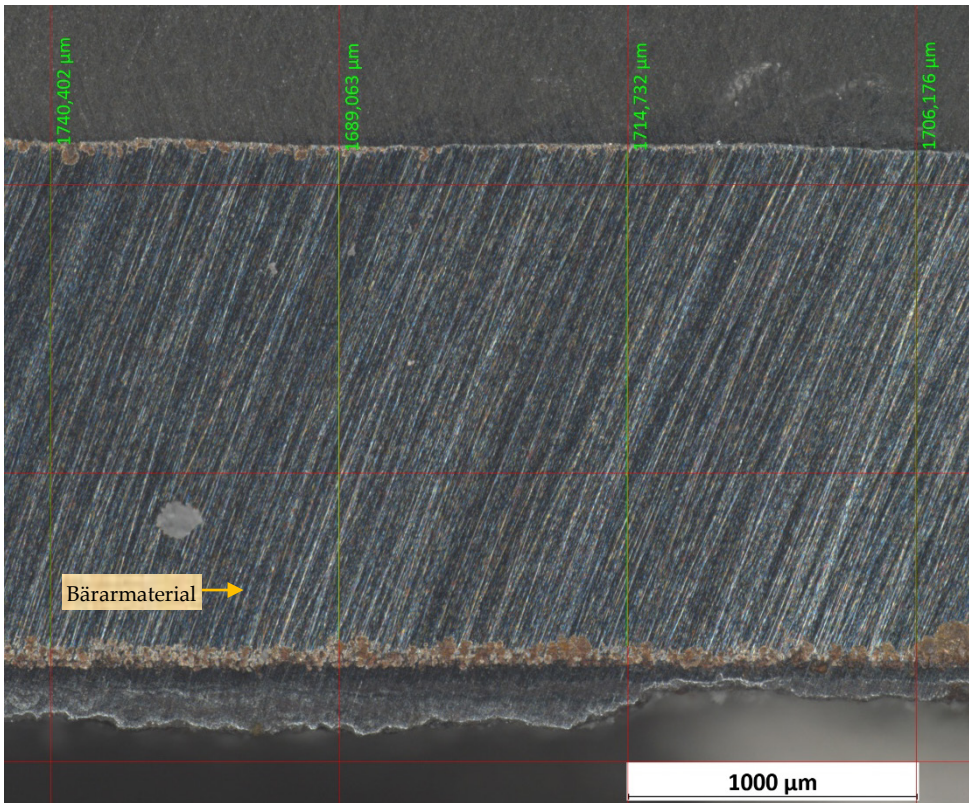
Figure 34. SEM images from secondary electrons (SE) and back-scattered electrons (BSE) as well as images of detected elements on specimen L3_15D_F

6.2 KORROSIONSSOND

I Tabell 16 visas tvärsnitt och beläggningstjocklek av de prover som exponerades ute i fält på korrosionssonden. De prover vars provnummer är kursiverade analyserades vidare med svepelektronmikroskop (SEM). Antalet mätpunkter per prov var typiskt mellan 20-40 mätpunkter beroende på provernas form och storlek. För de prover som hade svetssträngar mättes skiktjockleken i svetssträngarnas maximum och minimum längs hela provytan. För de övriga proverna som inte hade svetssträngar mättes skiktjockleken med ett intervall på 1000 µm mellan varje mätpunkt.

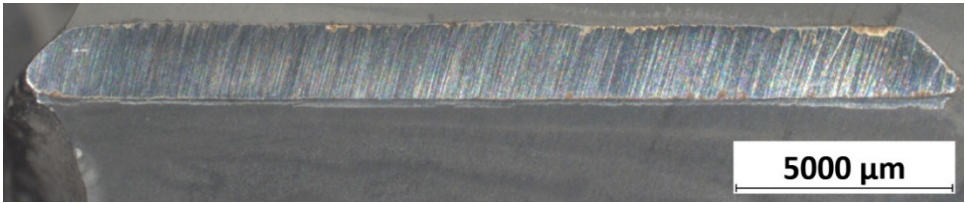
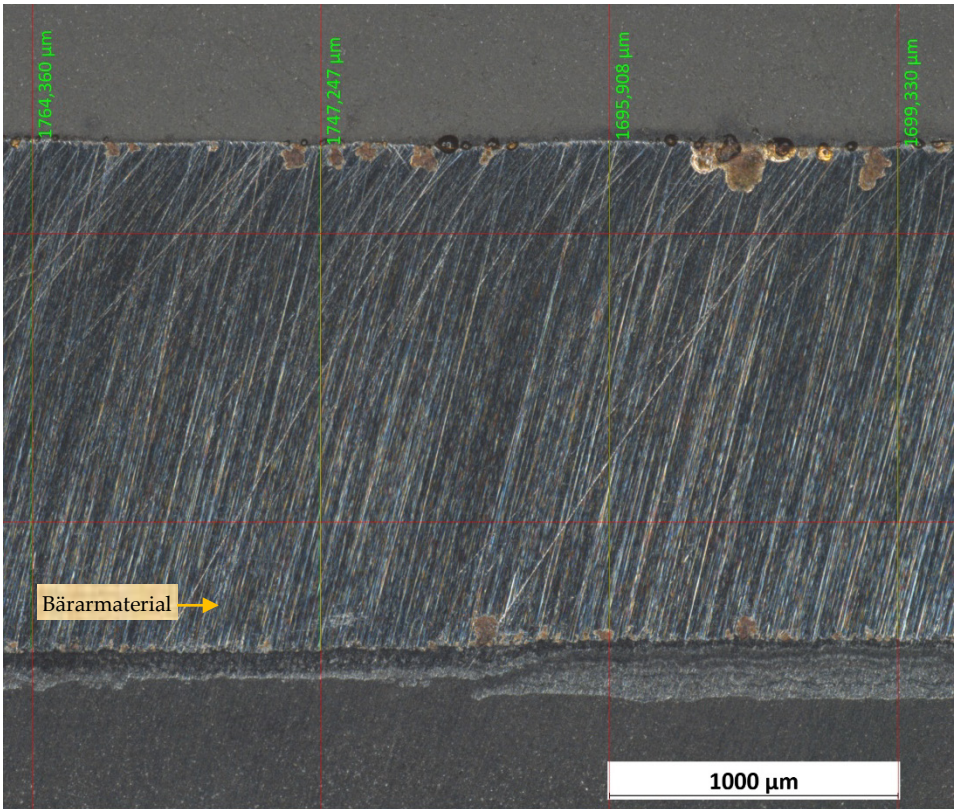
Tabell 16. Ljusoptiska mikroskopibilder på korrosionssondsproverna. Prover med kursiverade provnummer (13, 29, 35) har analyserats vidare med SEM. Notera att det i förekommande fall inte är exakt samma prover som visas före och efter exponering, men båda är tagna från material som kommer från samma ursprung

Table 16. Light optical microscopy images of the corrosion probe specimens. Specimens with specimen numbers in italic (13, 29, 35) were further analysed by SEM. Note that when present it is not the exact same specimens that are shown before and after exposure, but both are taken from material of same origin

Provnr.	
L3_1_S Efter exponering	
Efter exponering	

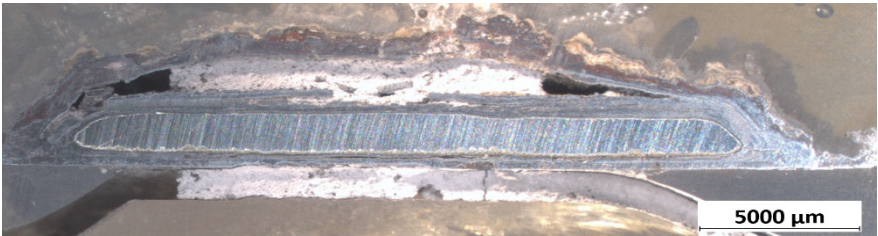
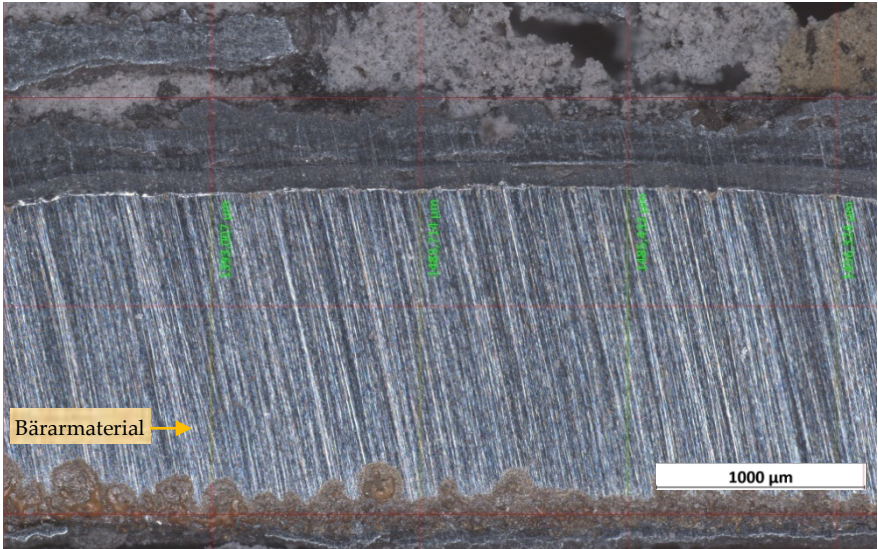
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

L1_9_S Efter exponering	
Efter exponering	 1764,360 µm 1747,247 µm 1695,908 µm 1699,330 µm Bärarmaterial → 1000 µm

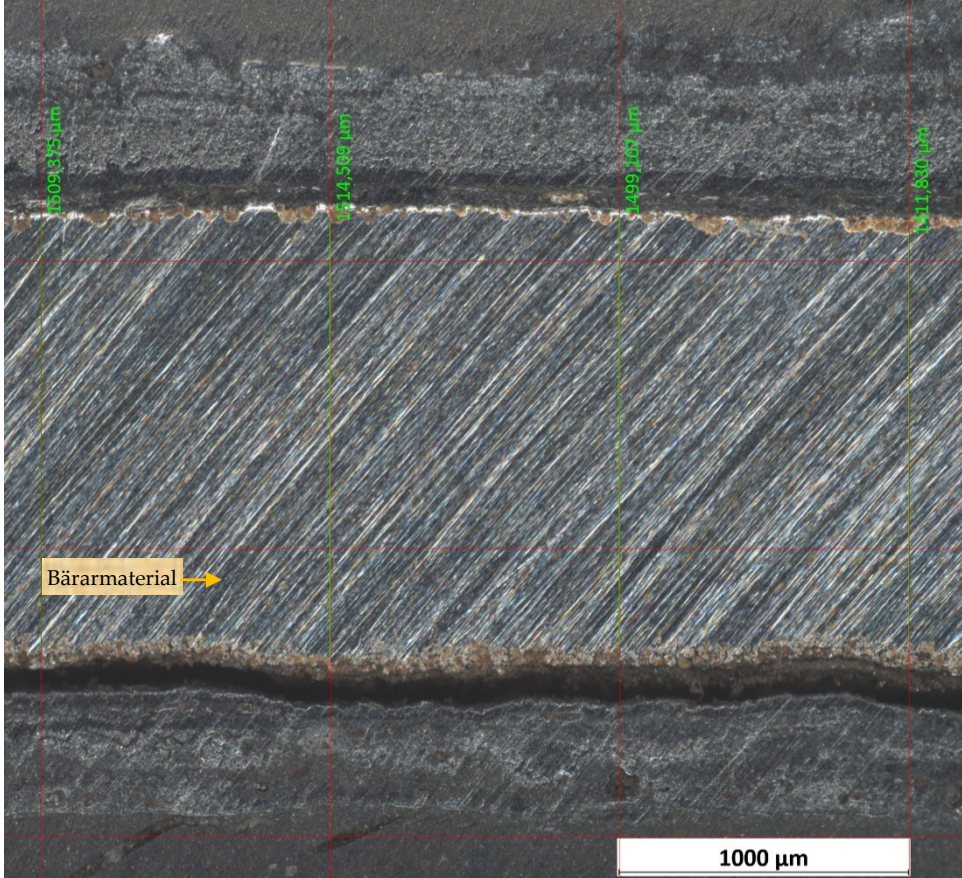
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

H4_13_S Efter exponering	
Efter exponering	

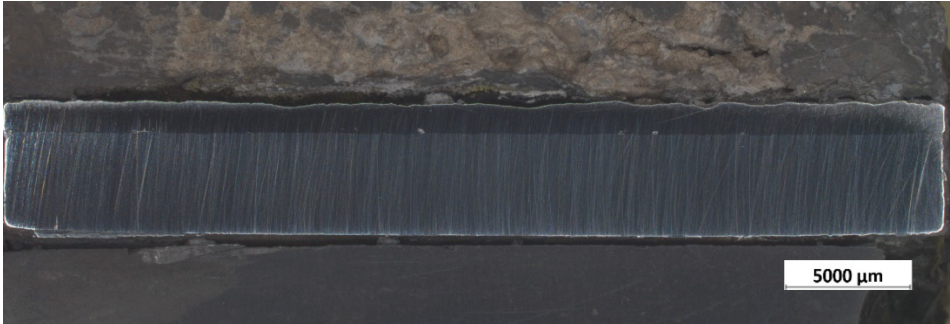
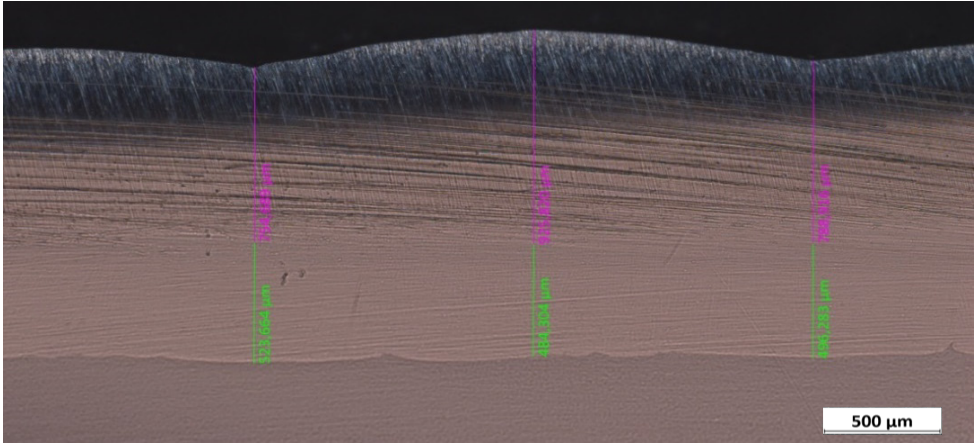
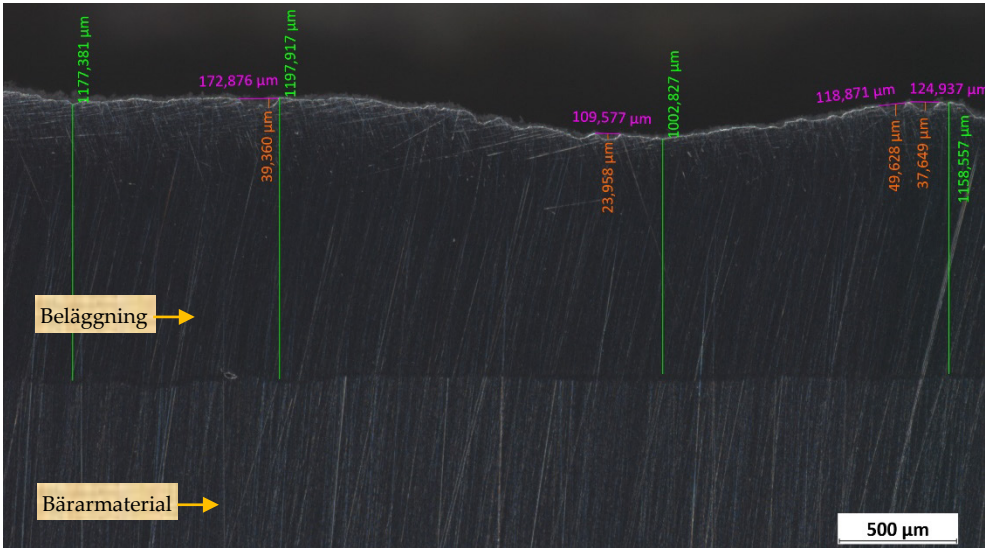
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

H1_17_S Efter exponering	
Efter exponering	

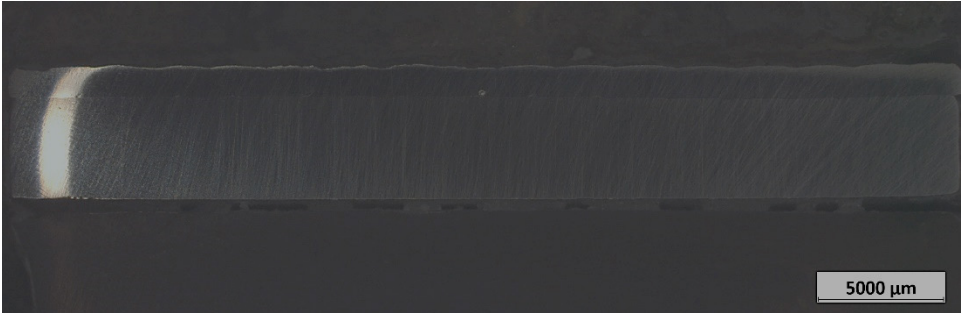
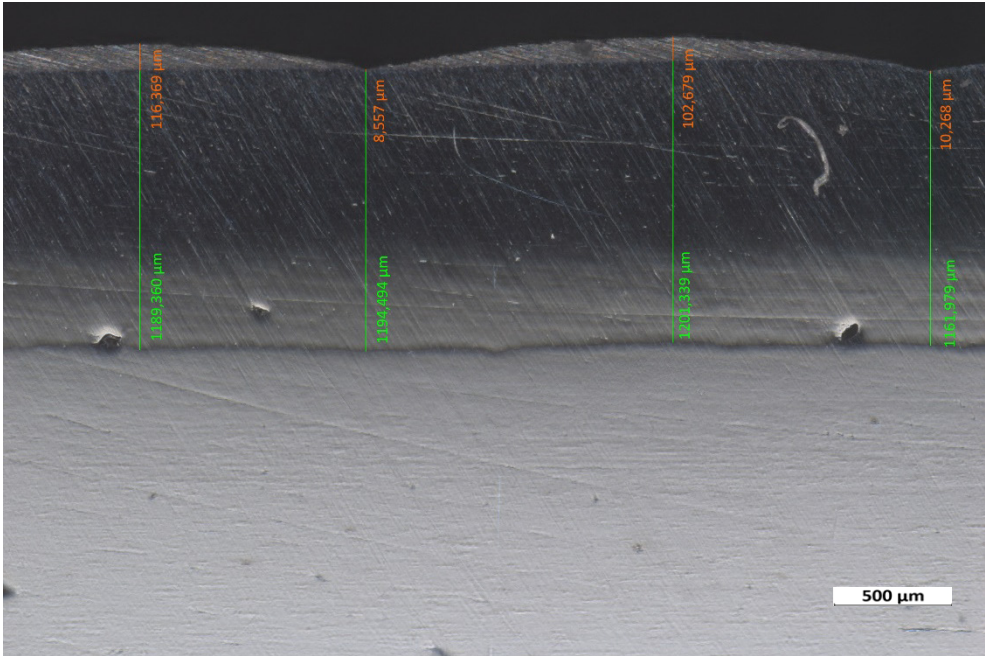
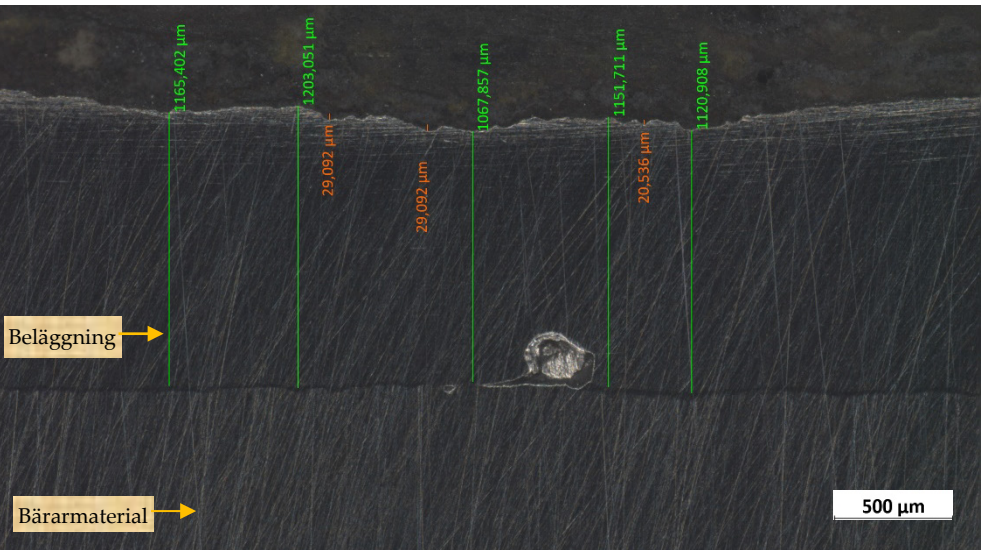
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

686L_23_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

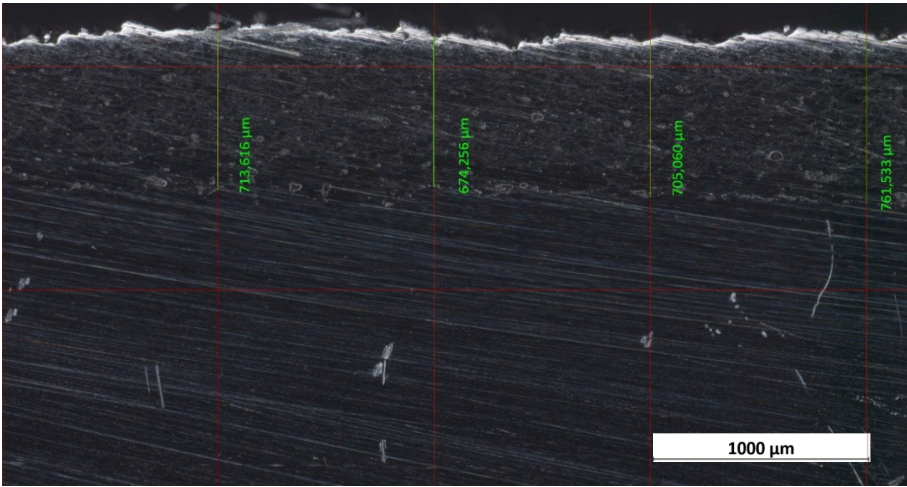
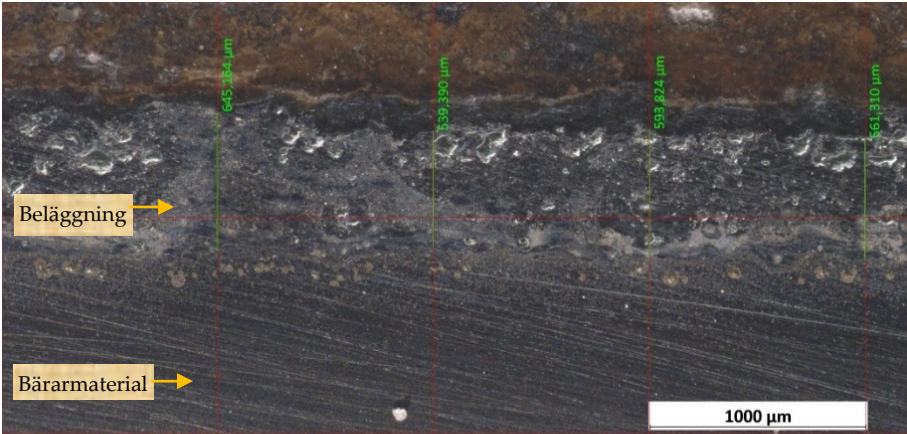
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

686L_25_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

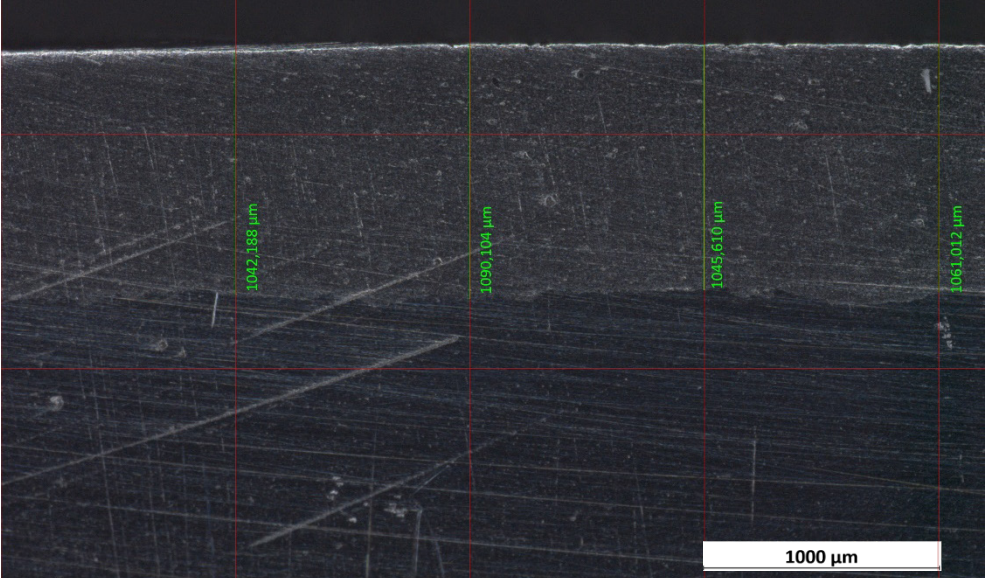
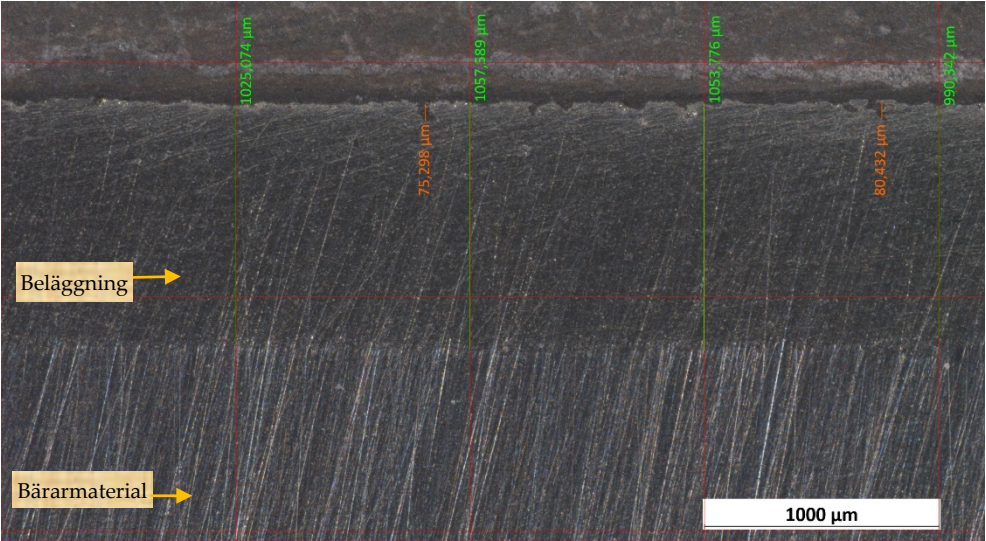
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

X268_27_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

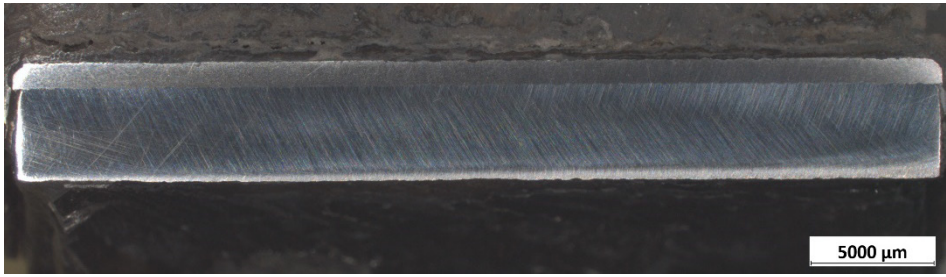
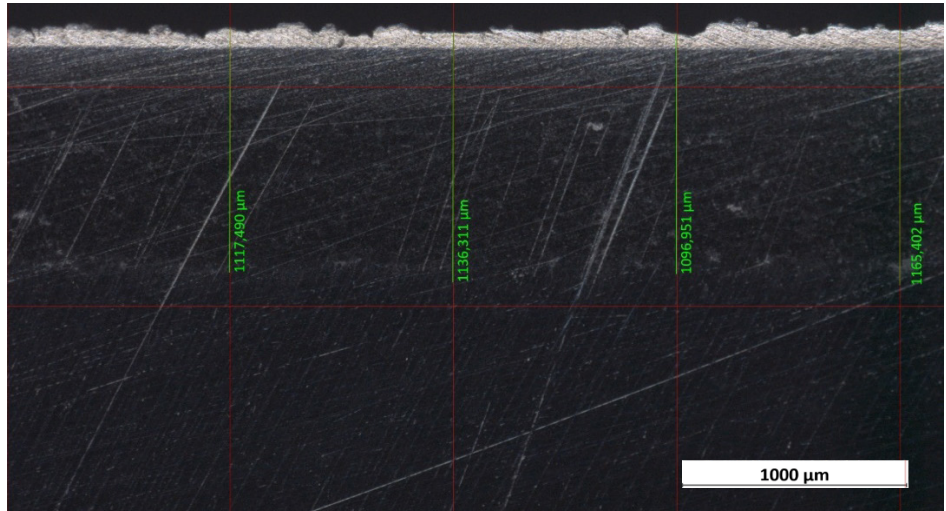
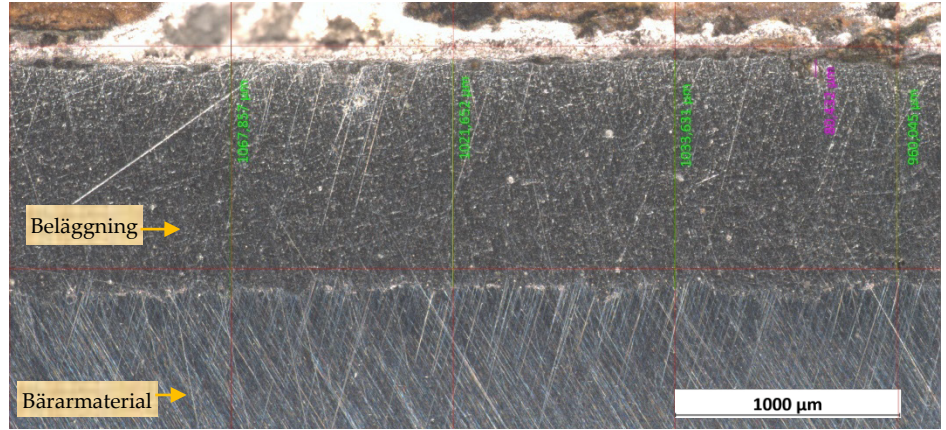
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

53606_29_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

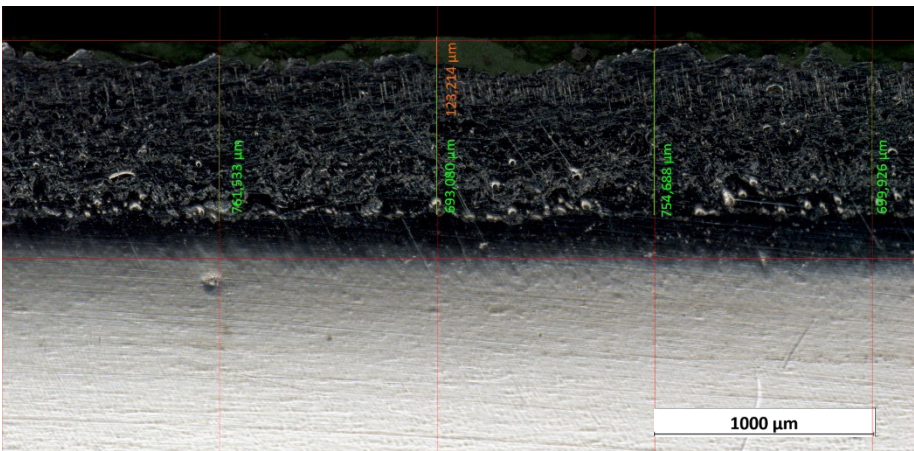
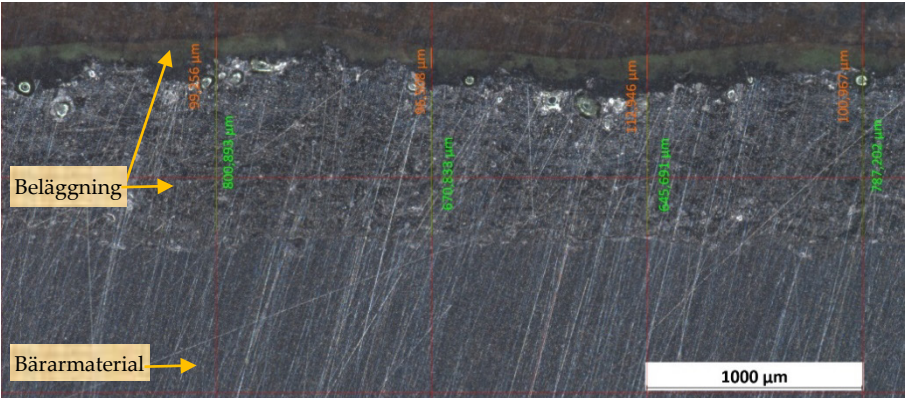
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

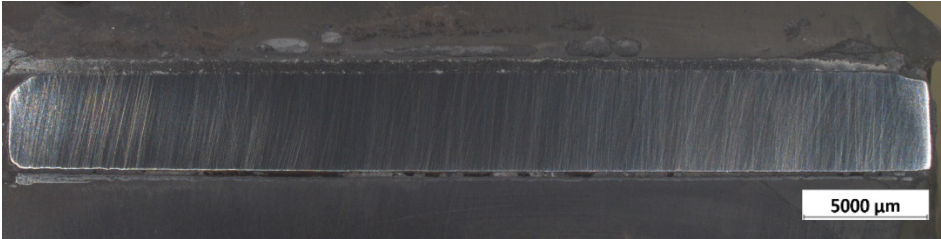
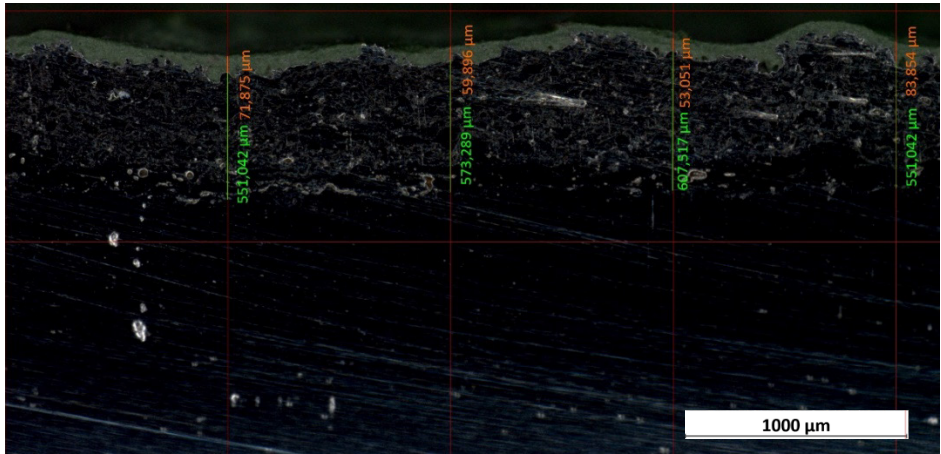
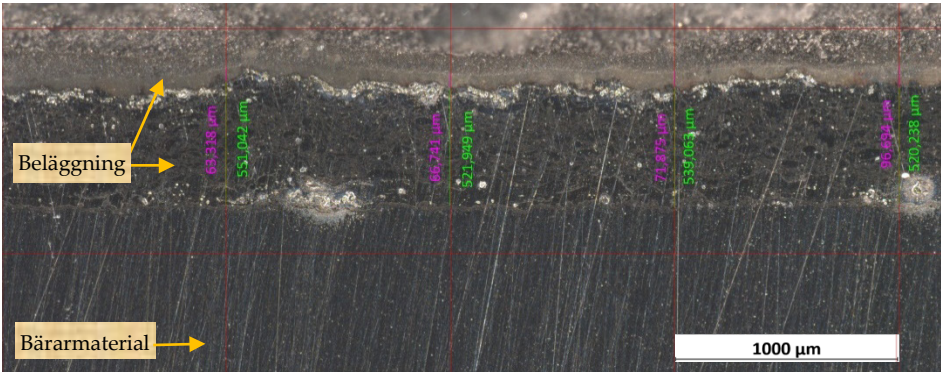
53606_31_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

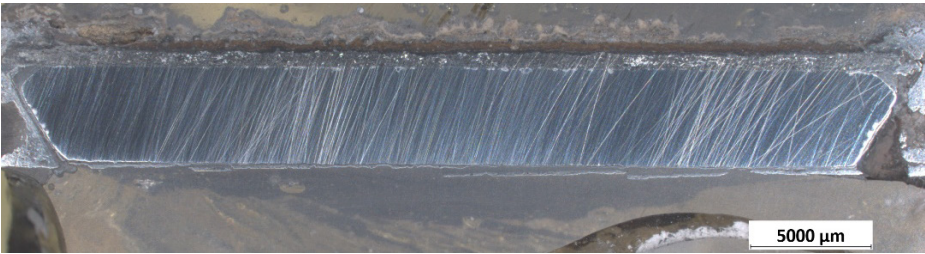
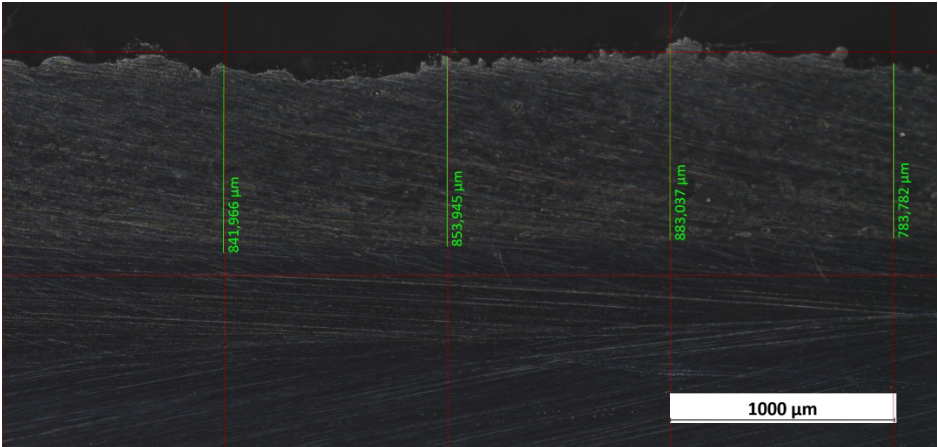
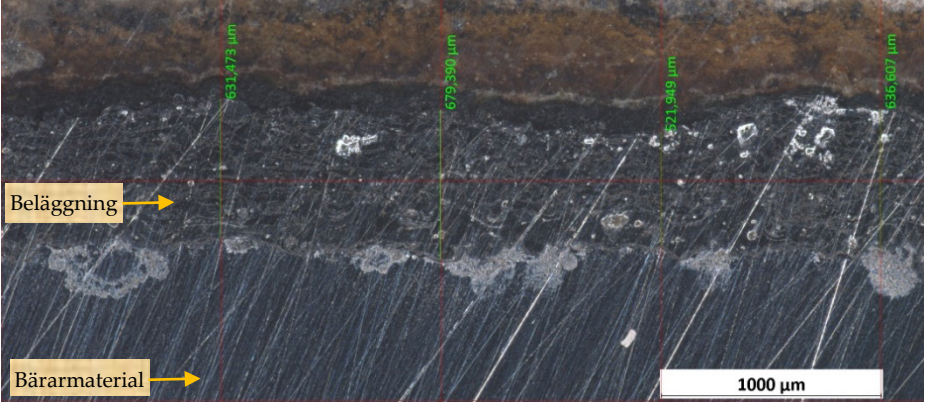
X268TA_33_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

Tabell 16 Fortsättning
Table 16 Continuation

6858TA_35_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

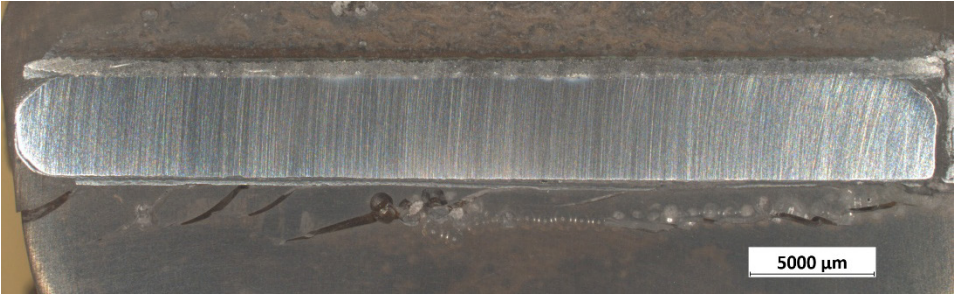
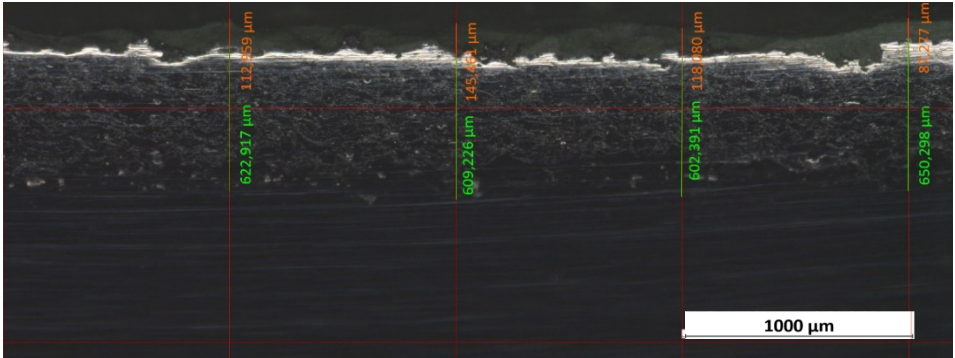
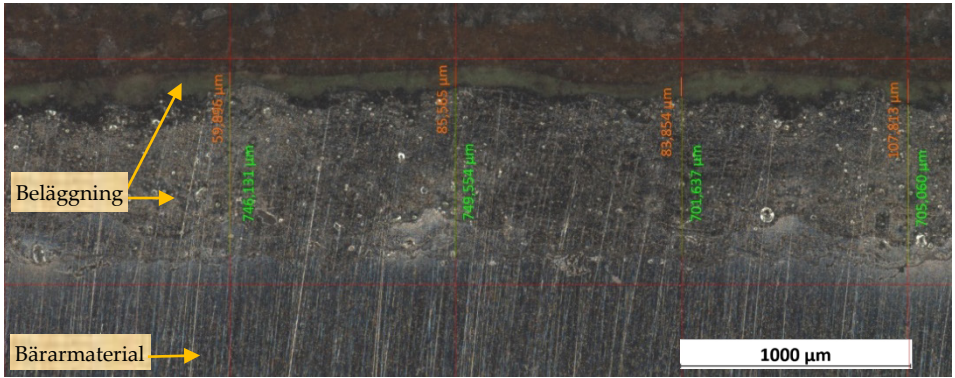
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

X268_37_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

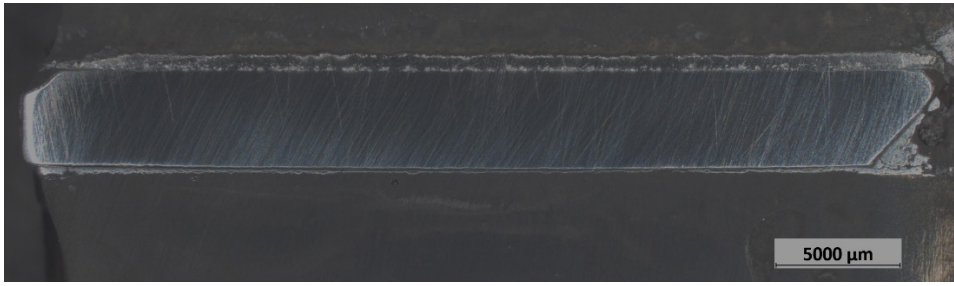
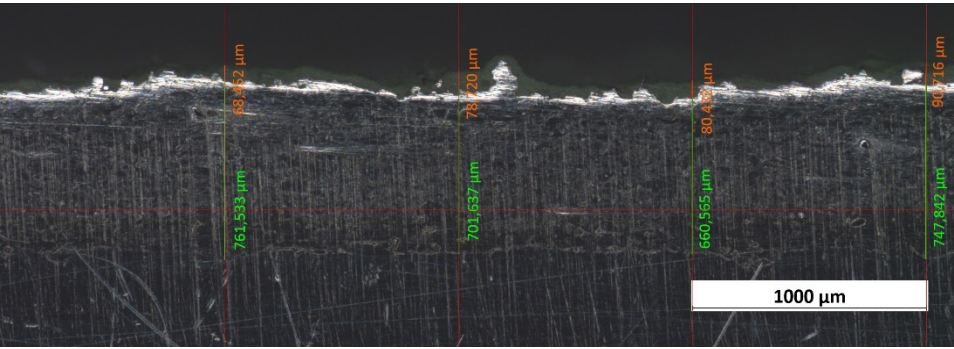
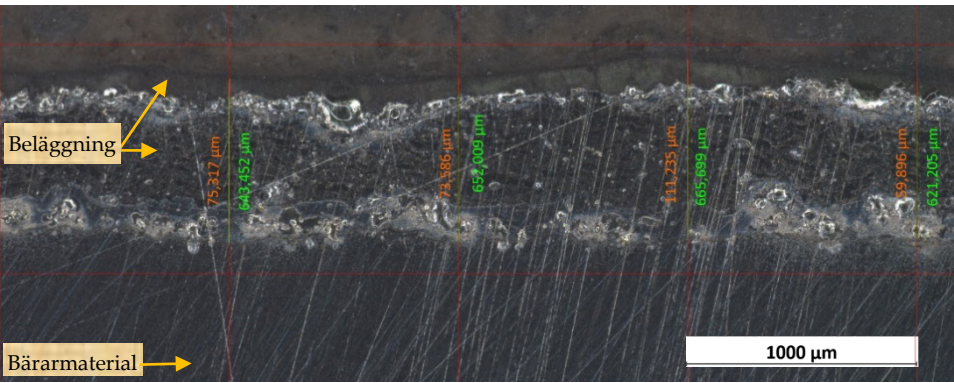
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

X268TA_39_S Efter exponering																			
Före exponering	 <table border="1"><thead><tr><th>Measurement</th><th>Value (µm)</th></tr></thead><tbody><tr><td>622.917</td><td>622.917</td></tr><tr><td>112.859</td><td>112.859</td></tr><tr><td>609.226</td><td>609.226</td></tr><tr><td>145.491</td><td>145.491</td></tr><tr><td>602.391</td><td>602.391</td></tr><tr><td>118.480</td><td>118.480</td></tr><tr><td>650.298</td><td>650.298</td></tr><tr><td>81.277</td><td>81.277</td></tr></tbody></table>	Measurement	Value (µm)	622.917	622.917	112.859	112.859	609.226	609.226	145.491	145.491	602.391	602.391	118.480	118.480	650.298	650.298	81.277	81.277
Measurement	Value (µm)																		
622.917	622.917																		
112.859	112.859																		
609.226	609.226																		
145.491	145.491																		
602.391	602.391																		
118.480	118.480																		
650.298	650.298																		
81.277	81.277																		
Efter exponering	 <table border="1"><thead><tr><th>Measurement</th><th>Value (µm)</th></tr></thead><tbody><tr><td>53.846</td><td>53.846</td></tr><tr><td>246.131</td><td>246.131</td></tr><tr><td>85.185</td><td>85.185</td></tr><tr><td>749.534</td><td>749.534</td></tr><tr><td>83.854</td><td>83.854</td></tr><tr><td>701.637</td><td>701.637</td></tr><tr><td>107.412</td><td>107.412</td></tr><tr><td>605.050</td><td>605.050</td></tr></tbody></table> Beläggning Bärarmaterial	Measurement	Value (µm)	53.846	53.846	246.131	246.131	85.185	85.185	749.534	749.534	83.854	83.854	701.637	701.637	107.412	107.412	605.050	605.050
Measurement	Value (µm)																		
53.846	53.846																		
246.131	246.131																		
85.185	85.185																		
749.534	749.534																		
83.854	83.854																		
701.637	701.637																		
107.412	107.412																		
605.050	605.050																		

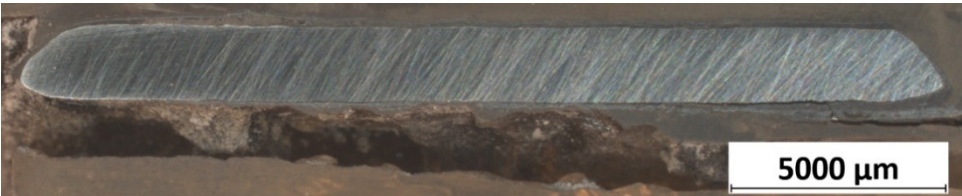
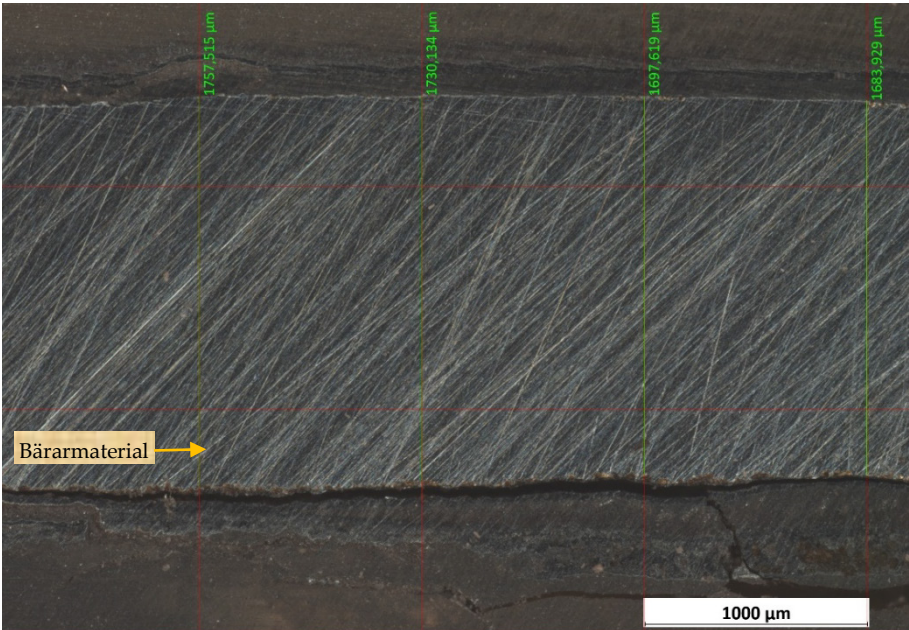
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

6858TA_41_S Efter exponering	
Före exponering	
Efter exponering	

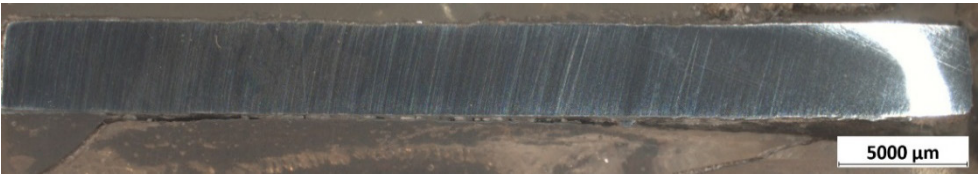
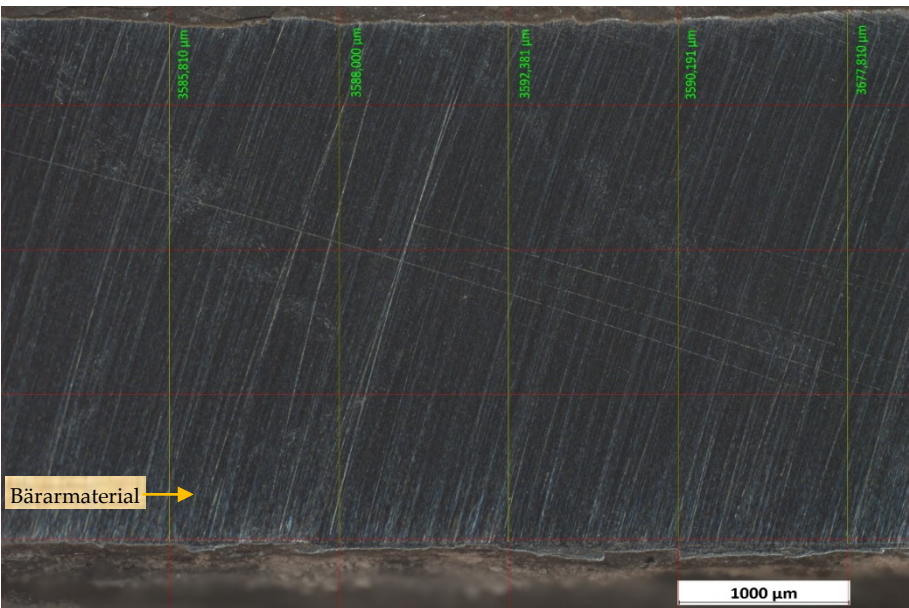
Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

13CrMo_43_S Efter exponering	
Efter exponering	

Tabell 16 Fortsättning

Table 16 Continuation

P235_47_S Efter exponering	
Efter exponering	

Resultatet från mätningarna av skiktthjockleken för prover exponerade på sonden visas i Tabell 17.

För proverna 13CrMo_43_S och P235_47_S (referensmaterial) avser mätningarna tjockleksminskning av bärmaterialet, då de var obelagda.

För proverna H4_13_S, L3_1_S, H1_17_S, L1_9_S gick det inte att fastställa en tjockleksminskning av beläggningsskikten, då de inte kunde observeras efter exponeringen eller endast i liten utsträckning. Mätning av tjockleksminskning av bärmaterialet visade på att denna var av samma storleksordning som för obelagt bärmaterial. Dessa mätningar är dock förknippade med en stor osäkerhet, då denna utvärderingsteknik ej varit ursprungligt tilltänkt och ursprunglig godstjocklek ej mätts upp specifikt för dessa prov utan fick uppskattas i efterhand från mätningar på kvarvarande oexponerade korrosionsringar av samma typ.

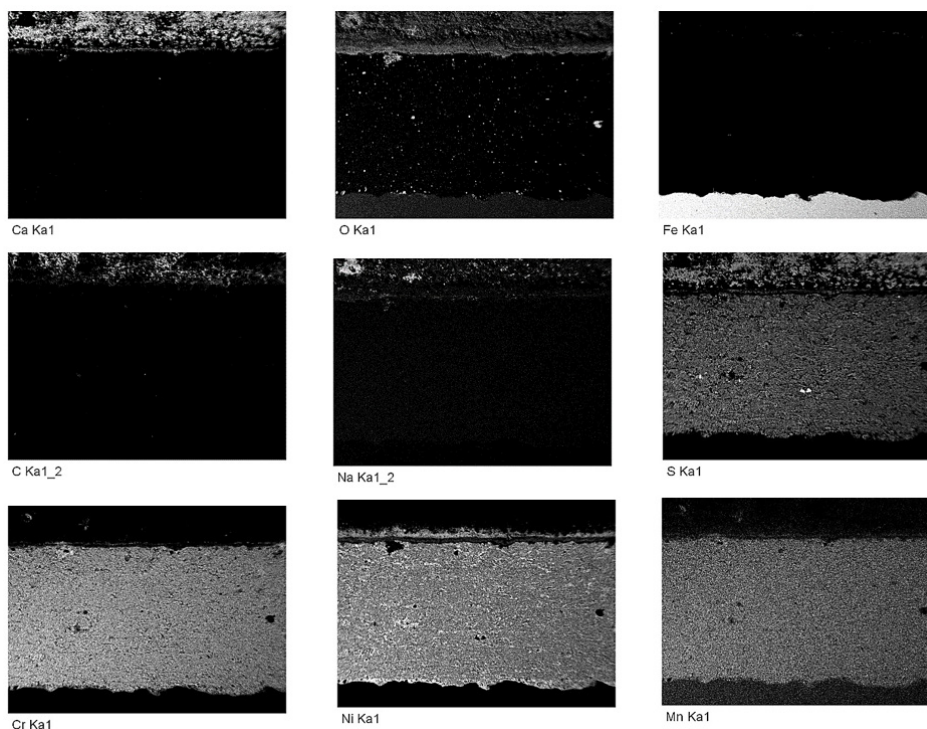
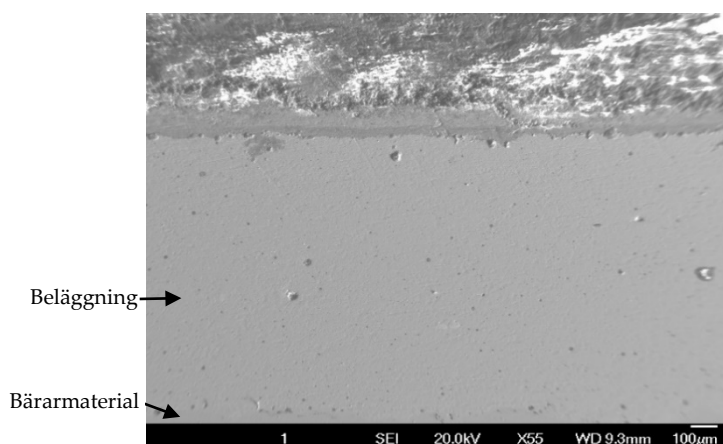
Tabell 17. Summering av tjockleksreduktion på de prover som exponerats på sond

Table 17. Summary of thickness reduction on specimens exposed on probe

Provnamn	Reduktion (µm)
686L_23_S	77
686L_25_S	90
X268_27_S	141
53606_29_S	21
53606_31_S	107
X268TA_33_S	53
6858TA_35_S	59
X268_37_S	122
X268TA_39_S	-28
6858TA_41_S	87
13CrMo_43_S	388
P235_47_S	393

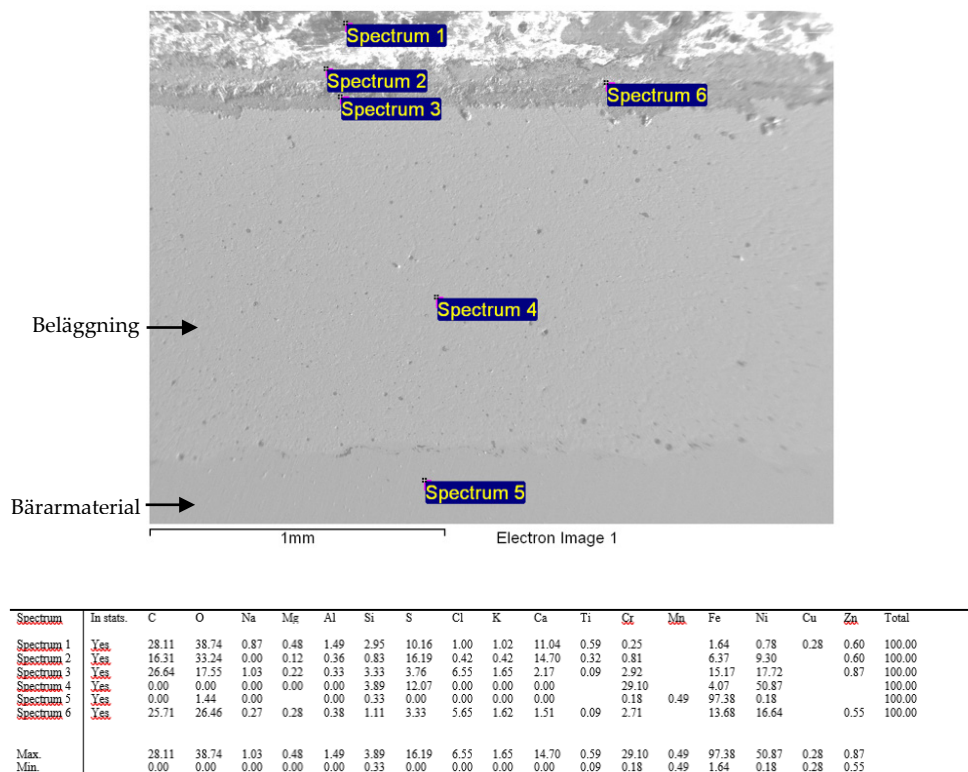
6.2.1 SEM-analys

Av de prover som exponerades ute i fält på korrosionssonden analyserades tre med SEM. Prov 53606_29_S valdes för att titta närmare på korrosionsgropar. Prov 6858TA_35_S valdes för att undersöka om det är ett oxidskikt som visas mellan beläggning och bärarmaterial, vilket ser så ut i ljusmikroskopet. Prov H4_13_S valdes för att titta närmare på det vita beläggningmaterialet. Figur 35 till Figur 40 visar bilder från SEM-analysen. Dessa analyser gav support till resultaten från den optiska mikroskopin.



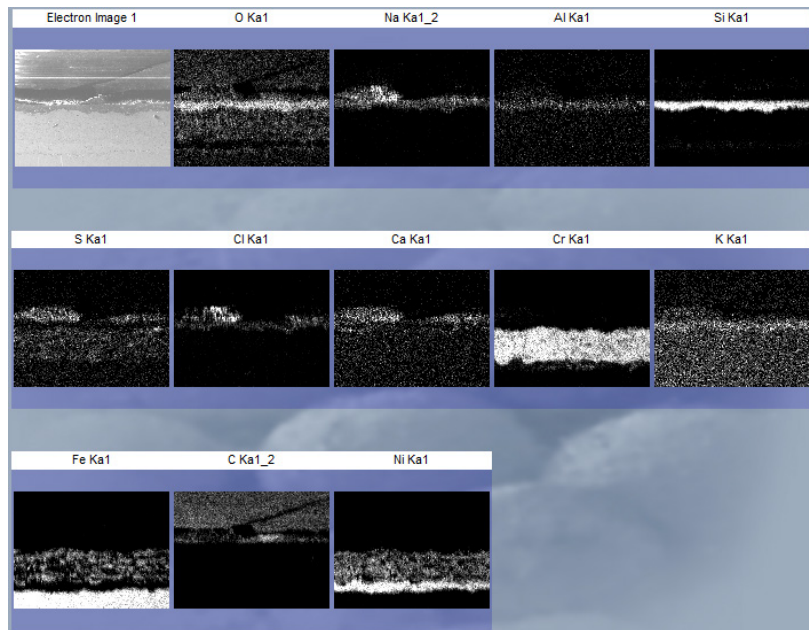
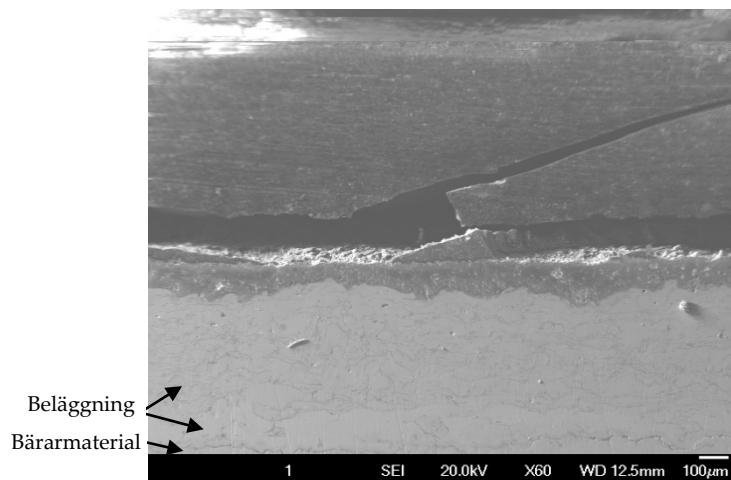
Figur 35. EDS-mappning av prov 53606_29_S visar bärarmaterialet, beläggningen och påslagsprodukter. Signalen för S är troligen felindikerad och skall istället vara Mo

Figure 35. EDS mapping of specimen 53606_29_S showing the substrate, coating and deposition products. The signal for S is probably incorrectly indicated and should be Mo



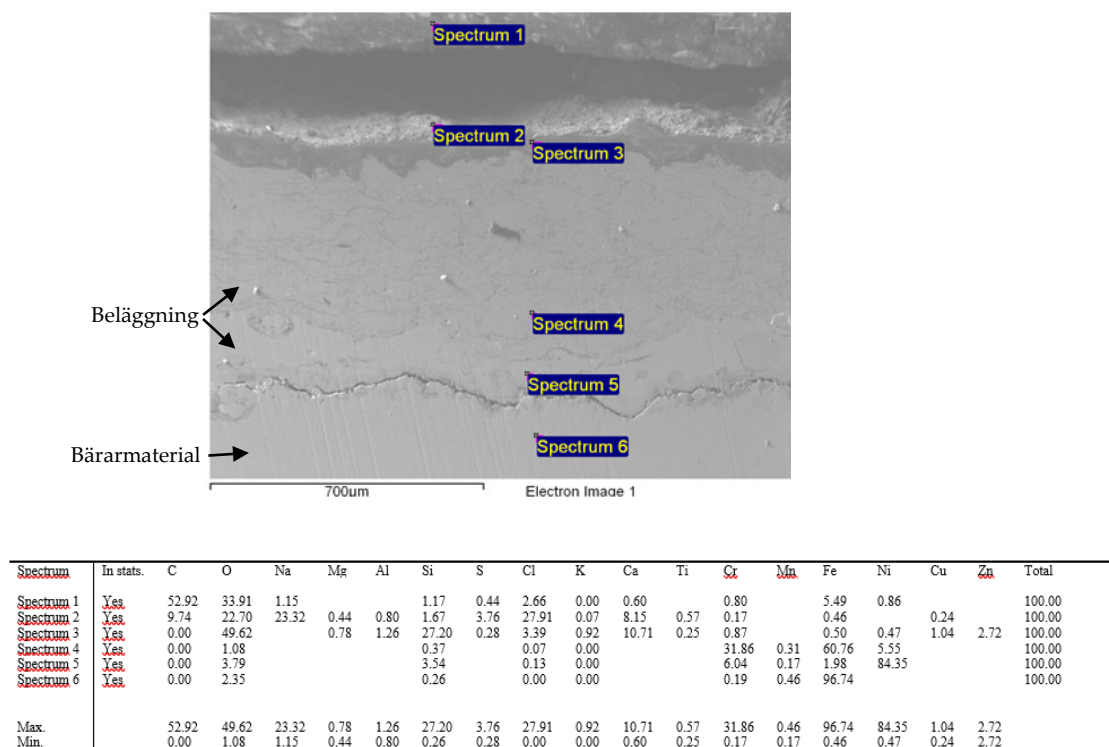
Figur 36. EDS-punktanlys av prov 53606_29_S visar bärraterialet, beläggningen och påslagsprodukter. Resultaten anges i vikt%. Signalen för S är troligen felindikerad, åtminstone för spektrum 4, och skall istället vara Mo. Värdena för ämnet blir därmed osäkra

Figure 36. EDS point analysis of specimen 53606_29_S showing the substrate, coating and deposition products. Results are given in weight%. The signal for S is probably incorrectly indicated, at least for spectrum 4, and should be Mo. Values for the element are thus uncertain



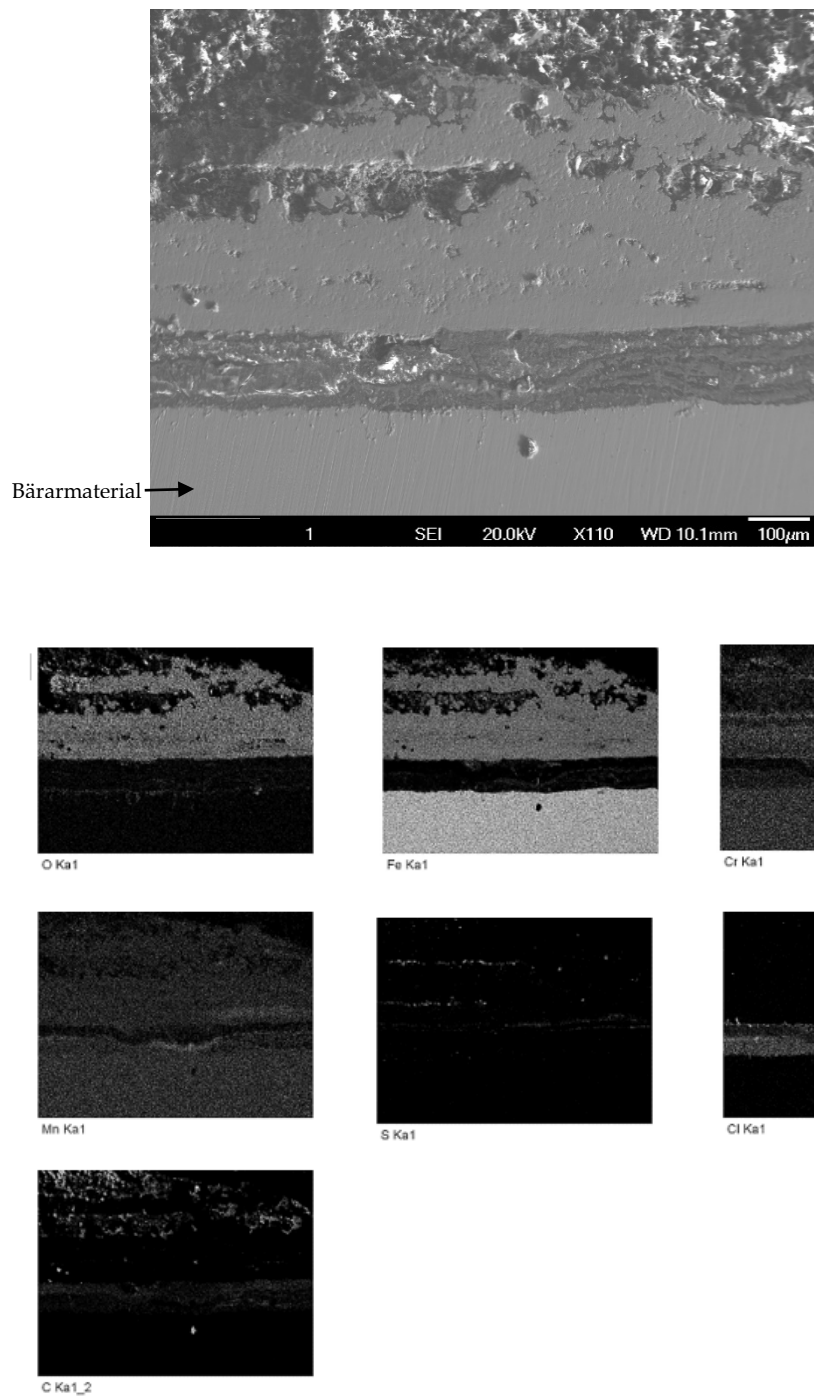
Figur 37. EDS-mappning av prov 6858TA_35_S visar bärraterialet, beläggningen och påslagsprodukter

Figure 37. EDS mapping of specimen 6858TA_35_S showing the substrate, coating and deposition products



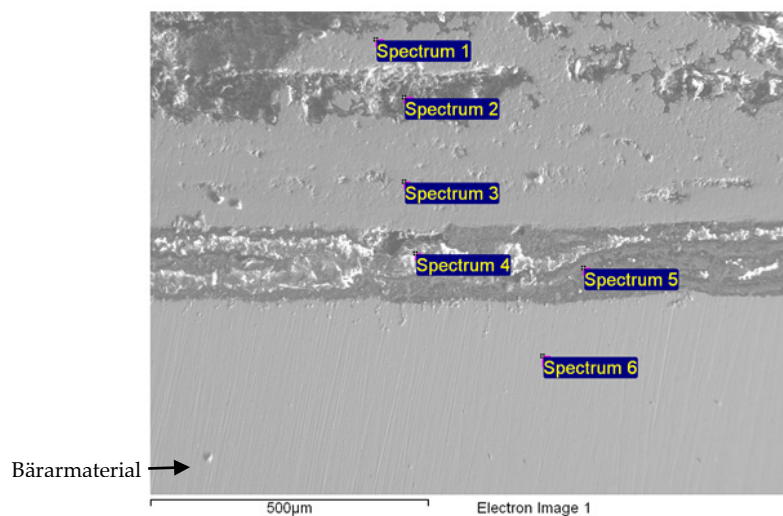
Figur 38. EDS-punktanalys av prov 6858TA_35_S visar bärarmaterialet, beläggningen och påslagsprodukter. Resultaten anges i vikt%

Figure 38. EDS point analysis of specimen 6858TA_35_S showing the substrate, coating and deposition products. Results are given in weight%



Figur 39. EDS-mappning av prov H4_13_S visar bärarmaterialet och påslagsprodukter

Figure 39. EDS mapping of specimen H4_13_S showing the substrate and deposition products



Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Br	Total
Spectrum 1	Yes	4.76	29.48		0.00	0.59	0.31	0.08	0.14	0.00	2.47	0.25	61.93				100.00
Spectrum 2	Yes	28.71	10.71	0.40	0.17	10.12	1.50	0.55	0.20	1.63	0.46	0.21	45.34				100.00
Spectrum 3	Yes	4.59	27.68		0.00	0.33	0.79	0.07	0.00	0.00	1.49		65.05				100.00
Spectrum 4	Yes	56.44	20.97		0.00	2.54		9.87	0.00	0.17	0.15	0.52	8.48			0.86	100.00
Spectrum 5	Yes	33.57	17.93		0.50	0.46	0.20	14.19	0.00	0.10	0.60	2.52	29.76	0.18			100.00
Spectrum 6	Yes	0.00	0.87		0.00	0.30		0.00	0.00	0.00	0.88	0.58	97.14		0.23		100.00
Max.		56.44	29.48	0.40	0.50	10.12	1.50	14.19	0.20	1.63	2.47	2.52	97.14	0.18	0.23	0.86	
Min.		0.00	0.87	0.40	0.00	0.30	0.20	0.00	0.00	0.00	0.15	0.21	8.48	0.18	0.23	0.86	

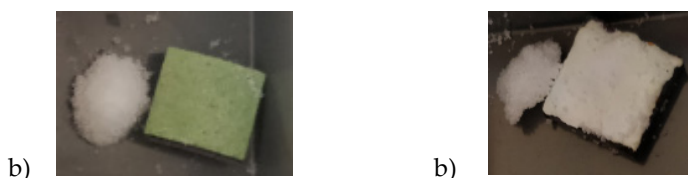
Figur 40. EDS-punktanalys av prov H4_13_S visar bärraterialet och påslagsprodukter. Resultaten anges i vikt%

Figure 40. EDS point analysis of specimen H4_13_S showing the substrate and deposition products. Results are given in weight%

6.3 LABORATORIEPROVNING

Efter laboratorieprovningen visade det sig att för vissa prover kunde det applicerade saltet mycket enkelt falla av från provkuponerna i form av en saltkaka efter exponeringen trots att de hanterades med stor försiktighet. Detta visar på att saltbeläggningen har mycket låg vidhäftning mot dessa prover.

I Figur 41 visas två exempel av dessa prover, prov 6858TA_42_L och prov H1_2_L. Övriga prover vars saltkaka föll av är X268TA_33_L och 6858TA_35_L, båda är belagda med ett grönt skikt likt prov 6858TA_42_L.



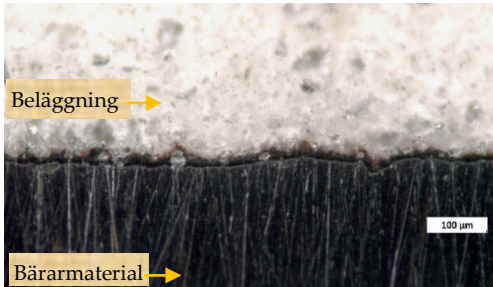
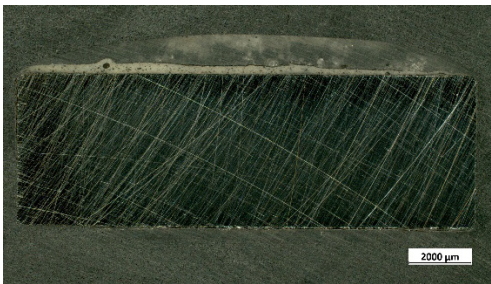
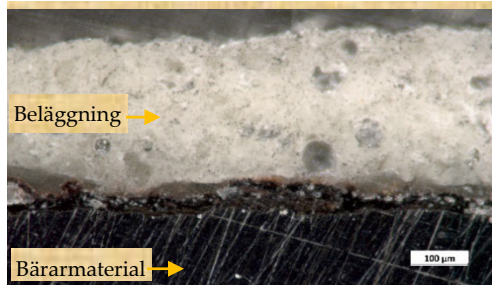
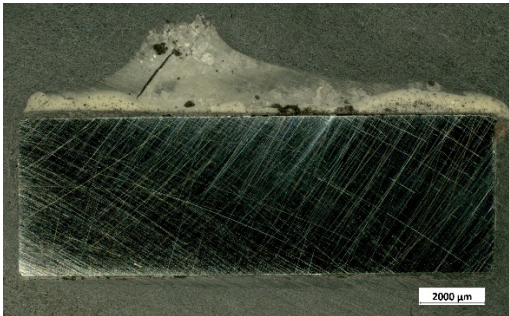
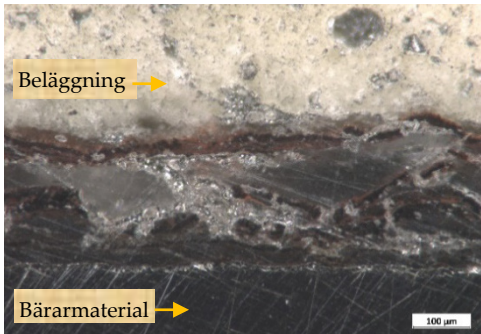
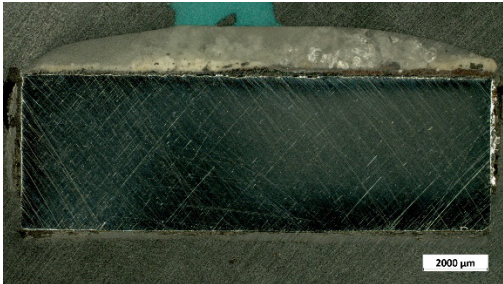
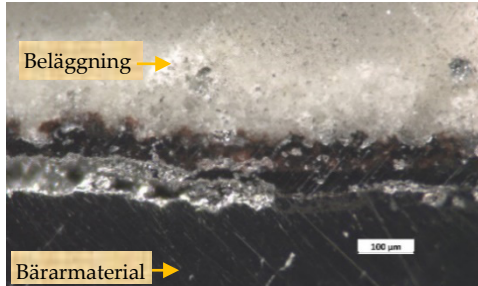
Figur 41. Saltkakan har fallit av a) prov 6858TA_42_L och b) prov H1_2_L

Figure 41. Salt deposit layer has fallen of a) specimen 6858TA_42L and b) specimen H1_2_L

I Tabell 18 visas tvärsnitt och ytan mellan prov och salt av de provkuponer som exponerades i rörugn. De prover vars provnummer är kursiverade analyserades vidare med svepelektronmikroskop (SEM).

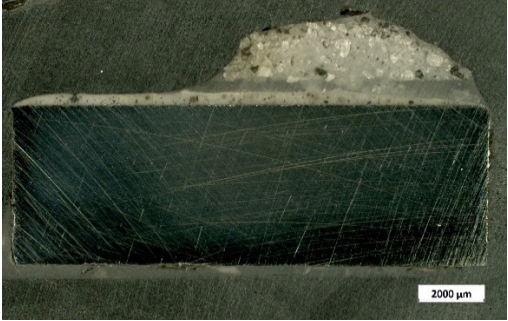
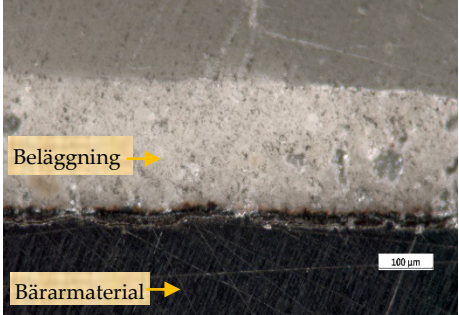
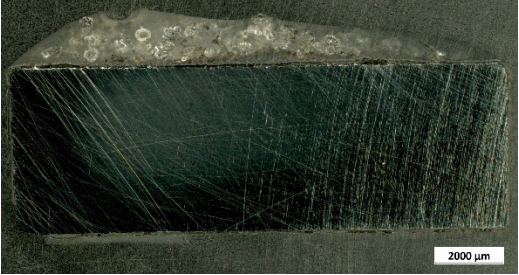
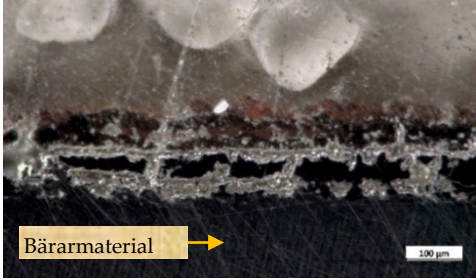
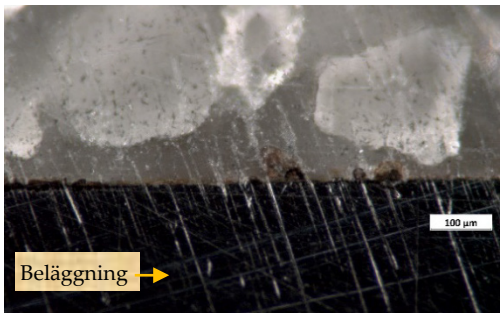
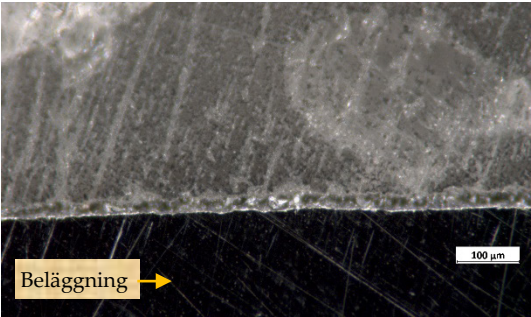
Tabell 18. Ljusoptiska mikroskopibilder på laboratorieprover. Prover med kursiverade provnummer har analyserats vidare med SEM

Table 18. Light optical microscopy images of laboratory specimens. Specimens with specimen numbers in *italic* were further analysed by SEM

Provrnr.			Kommentar
<i>H1_1_L</i>			Ganska opåverkad generellt. Lätt rödtonat.
H3_5_L			Möjlig korrosion vid gränsskiktet på minst två ställen.
H4_9_L			Ett mellanskikt av oklar karaktär finns, möjlig korrosionsprodukt.
<i>L1_13_L</i>			Korrosion på halva provet.

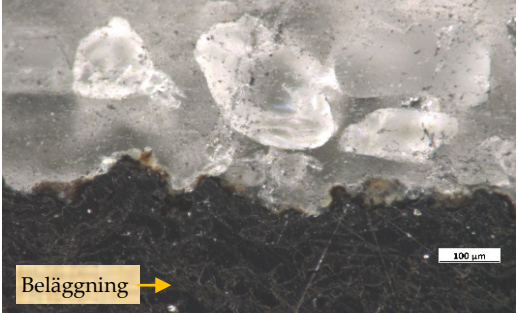
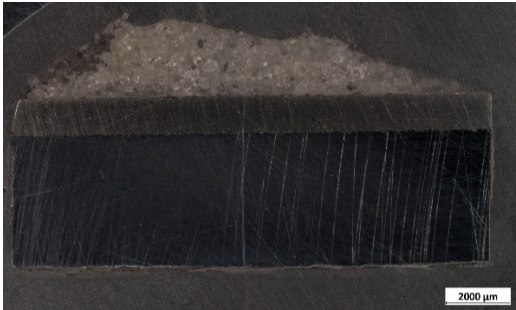
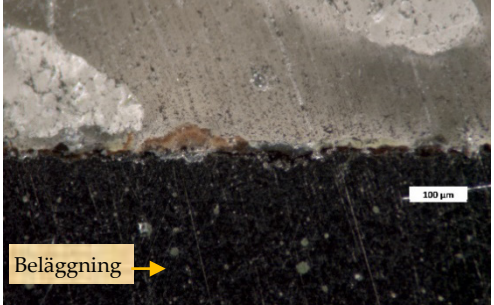
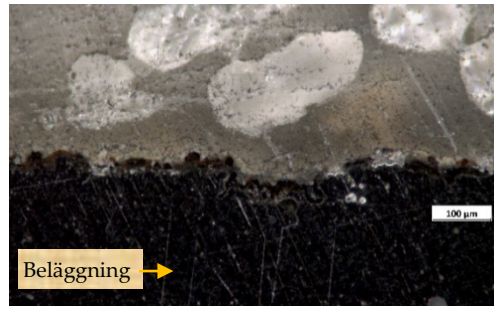
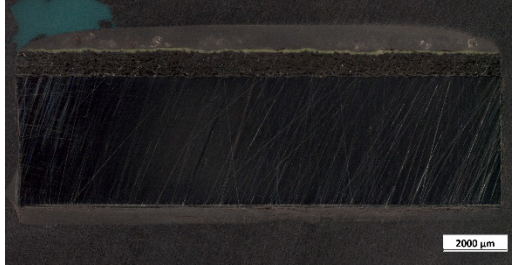
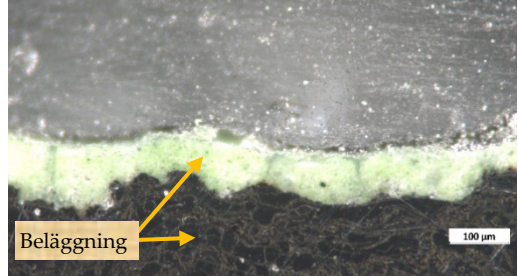
Tabell 18 Fortsättning

Table 18 Continuation

L3_17_L			Liten eventuell korrosion på halva provet.
X10_21_L			Korroderat.
686L_23_L			Antydan till korrosion.
686L_25_L			Ser bra ut.

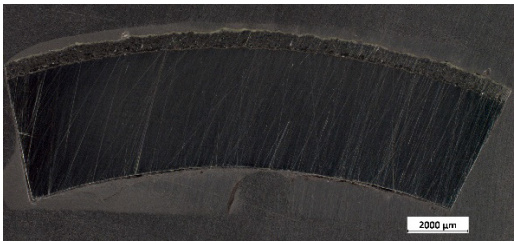
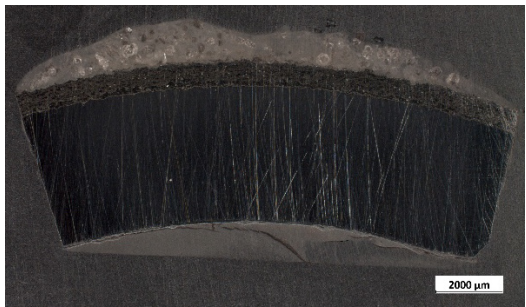
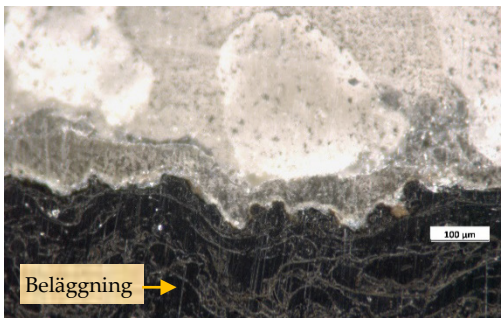
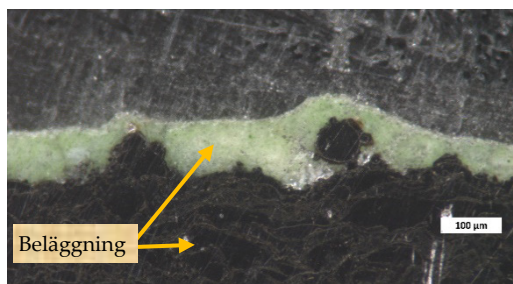
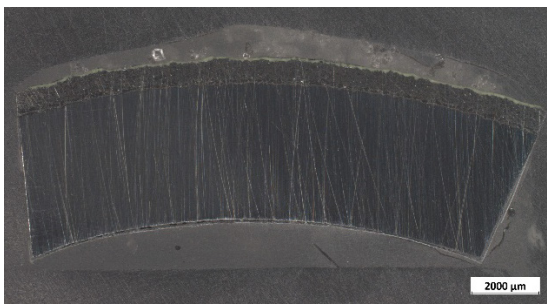
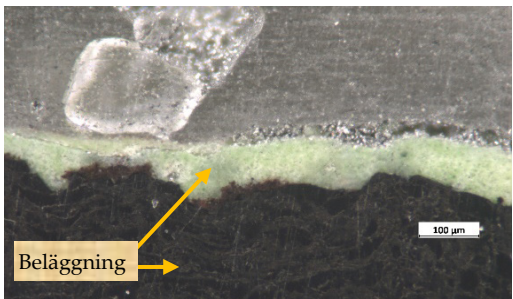
Tabell 18 Fortsättning

Table 18 Continuation

X268_27_L			Minimal korrosion på ytan.
53606_29_L			Antydan till korrosion.
53606_31_L			Antydan till korrosion.
X268TA_33_L			Tjockt, nästan heltäckande grönt skikt. Ser opåverkad ut.

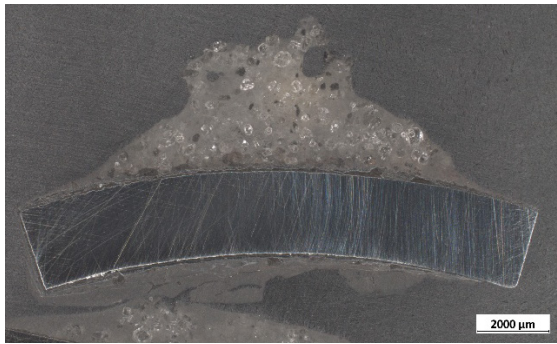
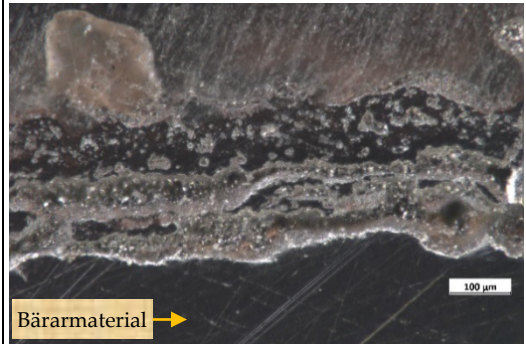
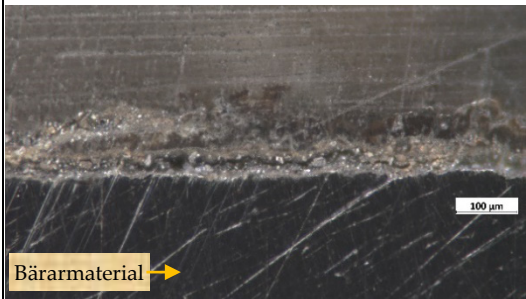
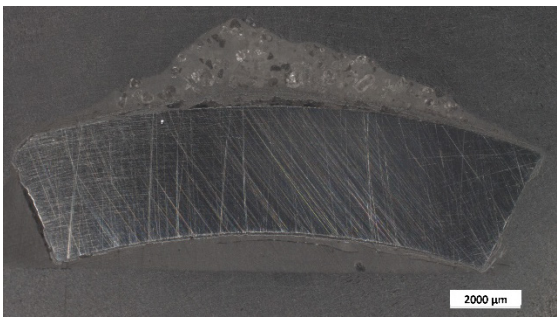
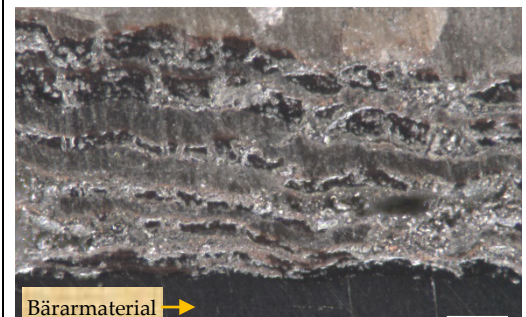
Tabell 18 Fortsättning

Table 18 Continuation

6858TA_35_L			Viss korrosion fläckvis under gröna skiktet.
X268_37_L			Nästan opåverkad.
X268TA_39_L			Nästintill ingen korrosion.
X268TA_40_L			Viss korrosion fläckvis under gröna skiktet.

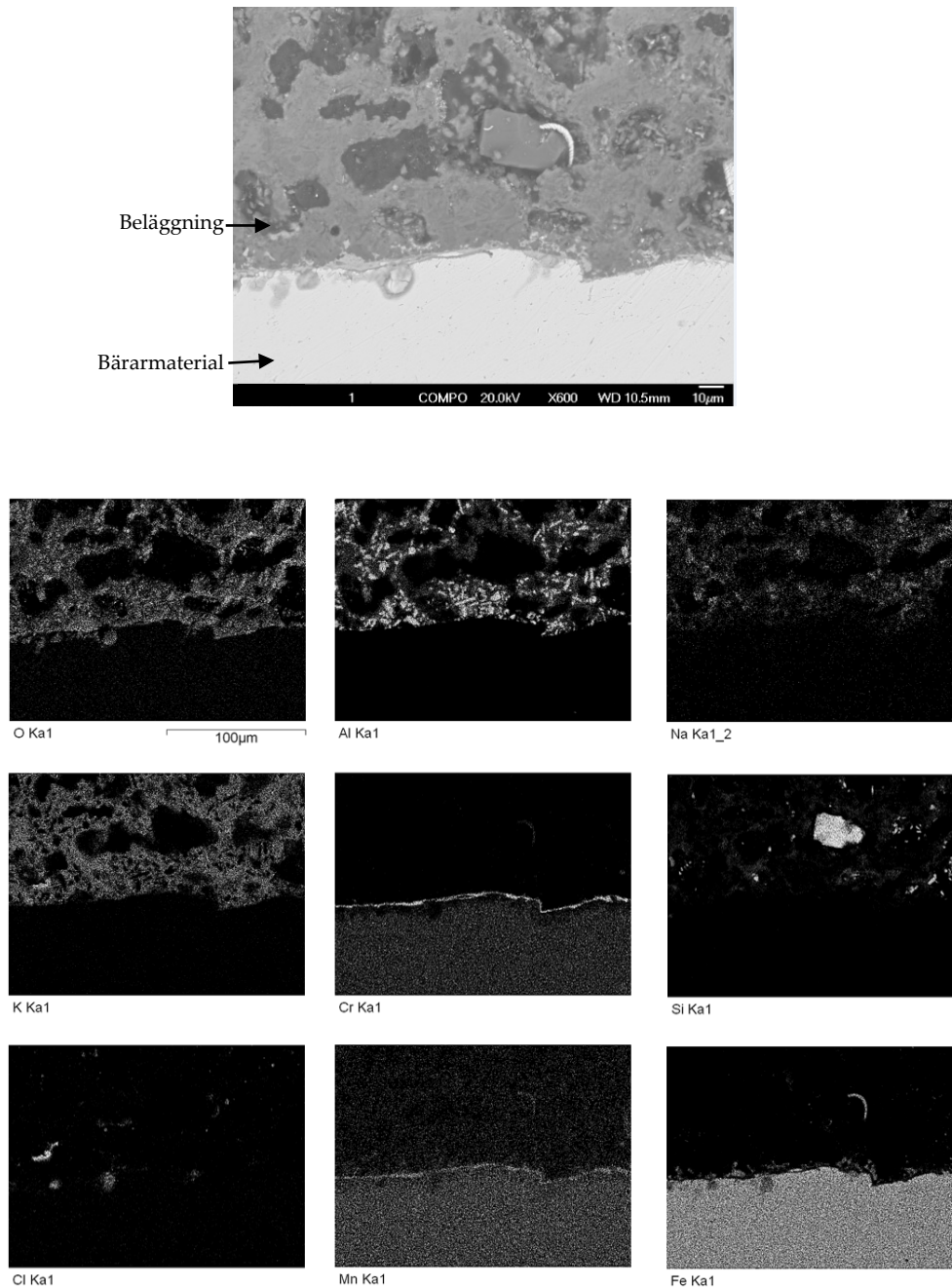
Tabell 18 Fortsättning

Table 18 Continuation

13CrMo_43_L			Jämnt korroderat. Tjockt oxidskikt.
625S_45_L			Minimal påverkan.
P235_47_L			Jämnt korroderat. Tjockt oxidskikt.

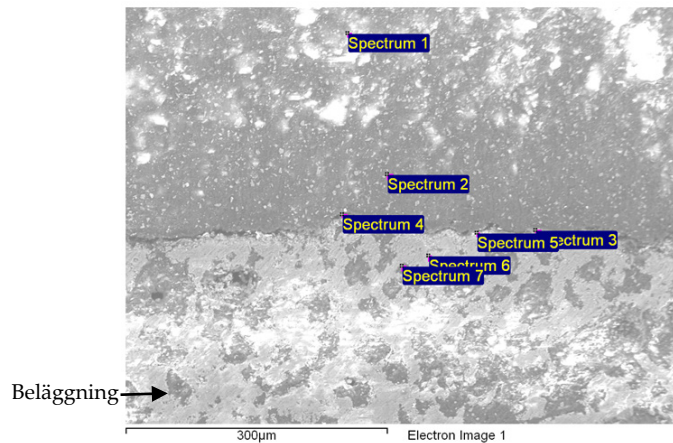
6.3.1 SEM-analys

Av de prover som exponerades i rörugnen analyserades tio med SEM. Figur 42 till Figur 61 visar bilder från SEM-analysen



Figur 42. EDS-mappning av prov H1_1_L visar bärarmaterialet och beläggningen

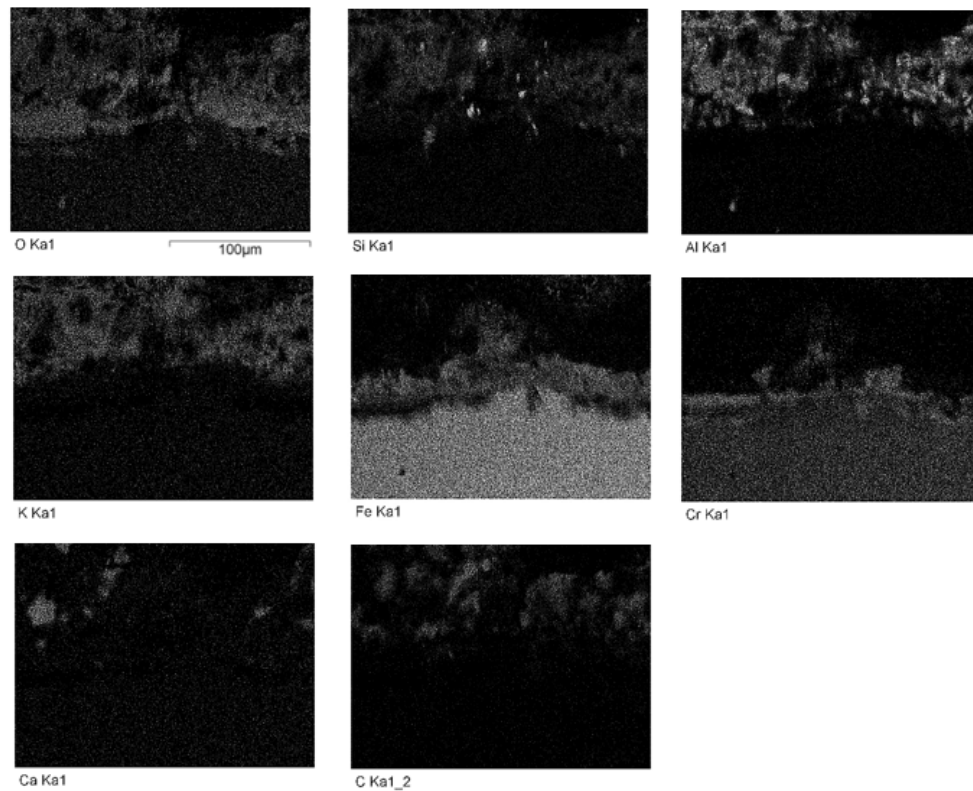
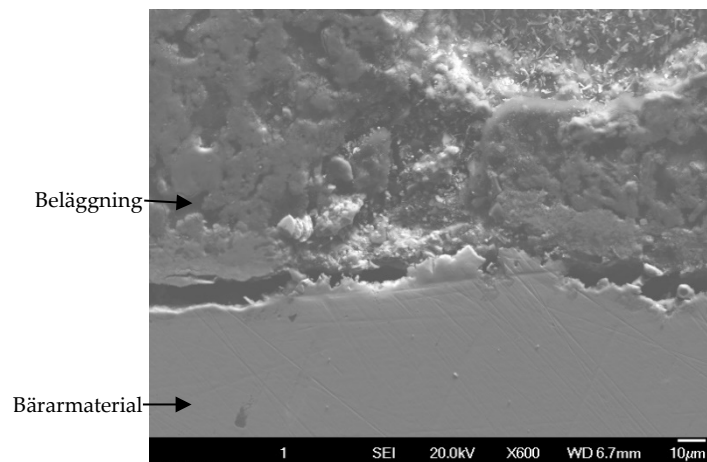
Figure 42. EDS mapping of specimen H1_1_L showing the substrate and the coating



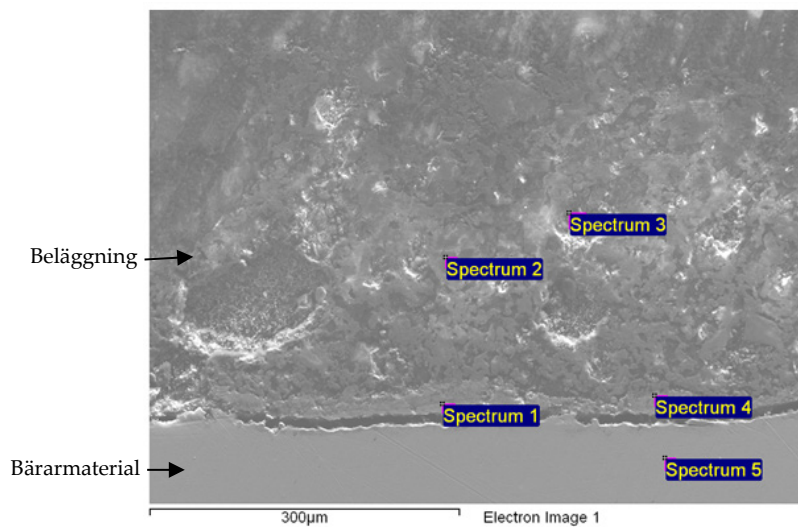
Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	Si	Cl	K	Ca	Cr	Fe	Total
Spectrum 1	Yes	67.95	27.30			2.62	1.32	0.00		0.12	0.69	100.00
Spectrum 2	Yes	65.45	28.71		0.24	2.40	1.92	0.11	0.16	0.00	1.01	100.00
Spectrum 3	Yes	44.50	12.27	0.80	5.66	16.61	3.05	3.89	6.55	1.63	5.05	100.00
Spectrum 4	Yes	52.83	15.26	0.23	0.39	6.75	0.67	0.48	0.11		23.27	100.00
Spectrum 5	Yes	32.75	12.56	0.58	0.75	10.89	0.54	1.02	0.29	2.83	37.78	100.00
Spectrum 6	Yes	6.61	43.13	5.03	9.62	21.01	2.14	12.01	0.22		0.24	100.00
Spectrum 7	Yes	38.59	39.41	6.20	7.08	4.77	1.86	1.71	0.00		0.37	100.00
Max.		67.95	43.13	6.20	9.62	21.01	3.05	12.01	6.55	2.83	37.78	
Min.		6.61	12.27	0.23	0.24	2.40	0.54	0.00	0.00	0.00	0.24	

Figur 43. EDS-punktanalys av prov H1_1_L visar beläggningen och salt (KCl). Resultaten anges i vikt%

Figure 43. EDS point analysis of specimen H1_1_L showing the coating and salt (KCl). Results are given in weight%



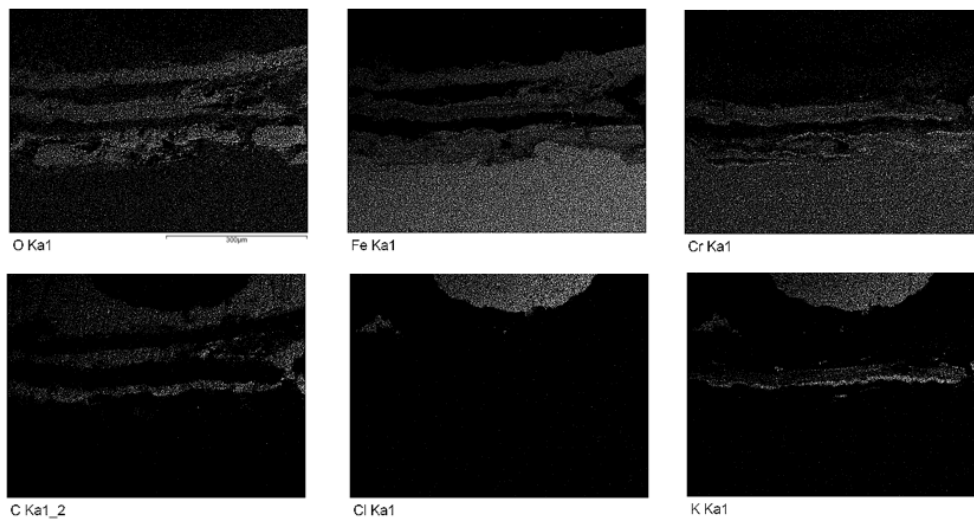
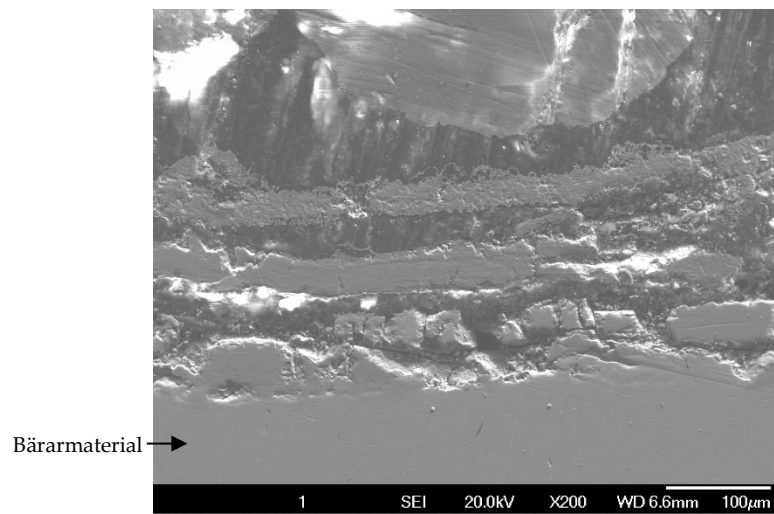
Figur 44. EDS-mappning av prov L3_17_L visar bärraterialet och beläggningen
 Figure 44. EDS mapping of specimen L3_17_L showing the substrate and coating



Spectrum	In stats.	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Mo	Total
Spectrum 1	Yes		28.80			1.95	2.32		0.14	0.16	0.48	19.10	0.44	44.68			1.93	100.00
Spectrum 2	Yes		48.21	5.26	0.13		30.86	0.35	14.53				0.37			0.28		100.00
Spectrum 3	Yes		39.13	0.50		9.36	19.36	0.51	15.18	1.51		1.11		12.22	1.12			100.00
Spectrum 4	Yes		34.02	0.25		11.33	2.85	0.37	1.65	0.28		0.49	0.27	48.49				100.00
Spectrum 5	Yes	2.61	1.34				0.41				0.26	9.24	0.43	84.27	0.27		1.17	100.00
Max.																		
Min.		2.61	1.34	0.25	0.13	1.95	0.41	0.35	0.14	0.16	0.26	0.49	0.27	0.37	0.27	0.28	1.17	

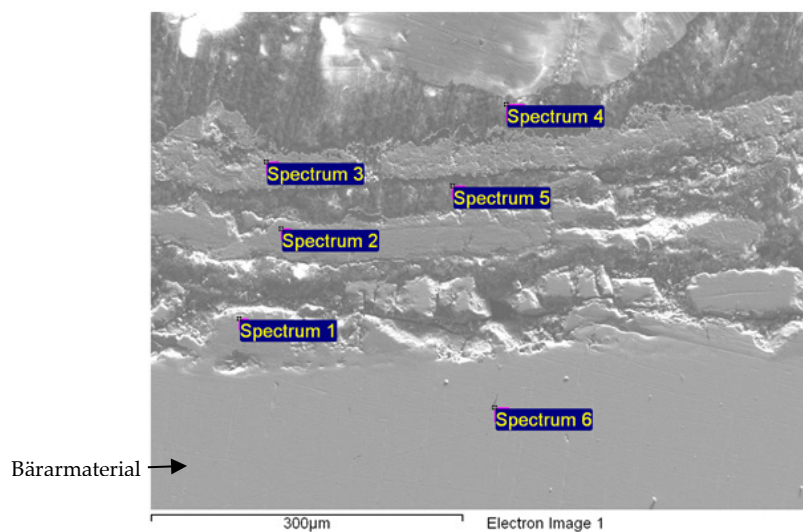
Figur 45. EDS-punktanalys av prov L3_17_L visar bärarmaterialet och beläggningen. Resultaten anges i vikt%

Figure 45. EDS point analysis of specimen L3_17_L showing the substrate and coating. Results are given in weight%



Figur 46. EDS-mappning av prov X10_21_L visar bärarmaterialet och salt (KCl)

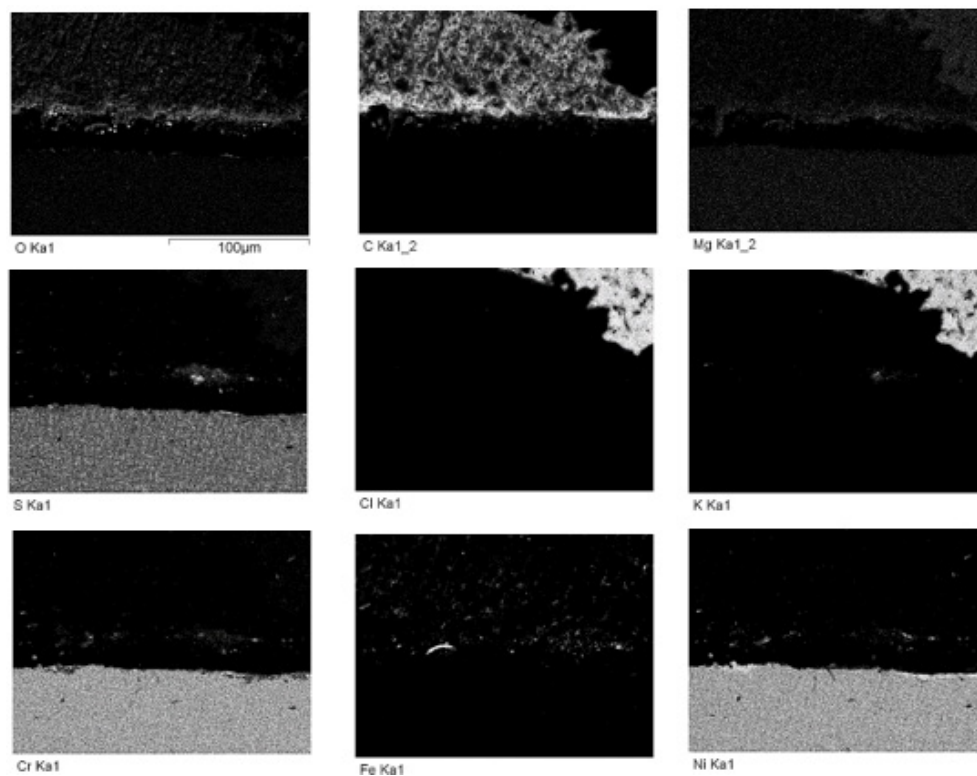
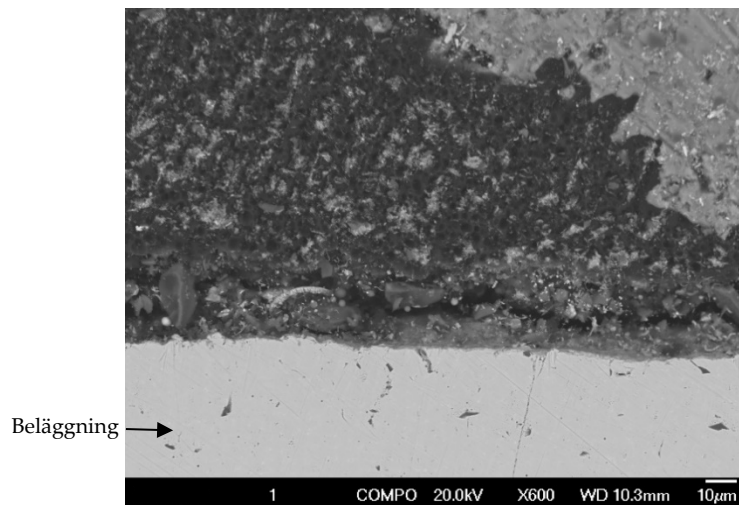
Figure 46. EDS mapping of specimen X10_21_L showing the substrate material and salt (KCl)



Spectrum	In stats.	C	O	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Mo	Total
Spectrum 1	Yes		27.38			0.23					6.14	0.31	64.71	0.49		0.74	100.00
Spectrum 2	Yes		31.85			0.71	0.39		6.71		15.63		44.32		0.39		100.00
Spectrum 3	Yes	6.22	29.40			0.36			0.18		0.26		63.59				100.00
Spectrum 4	Yes	83.97	13.04			0.20		1.14					1.66				100.00
Spectrum 5	Yes		58.42			2.66		12.17	2.24		1.74		22.76				100.00
Spectrum 6	Yes	0.00	0.91	0.00	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00	9.57	0.43	87.76			0.68	100.00
Max.		83.97	58.42	0.00	0.00	2.66	0.39	12.17	6.71	0.00	15.63	0.43	87.76	0.49	0.39	0.74	
Min.		0.00	0.91	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.31	1.66	0.49	0.39	0.68	

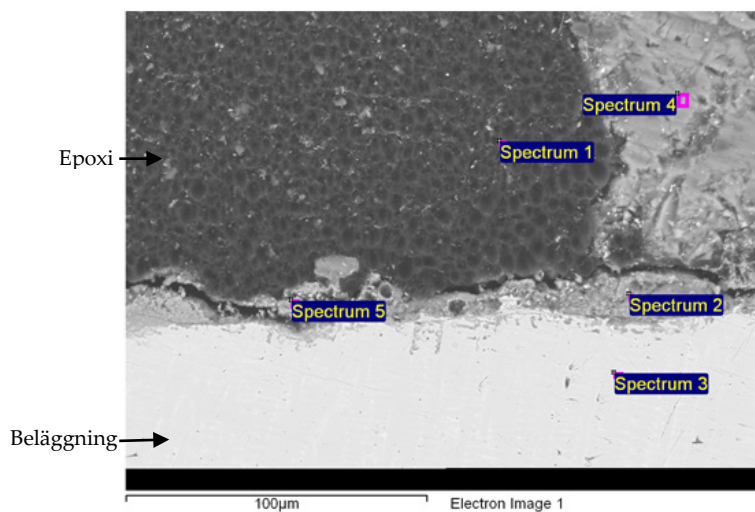
Figur 47. EDS-punktanalys av prov X10_21_L visar bärrarmaterialet och salt (KCl). Resultaten anges i vikt%

Figure 47. EDS point analysis of specimen X10_21_L showing the substrate material and salt (KCl). Results are given in weight%



Figur 48. EDS-mappning av prov 686L_25_L visar beläggningen och salt (KCl). Signalen för S är troligen felindikerad och skall istället vara Mo

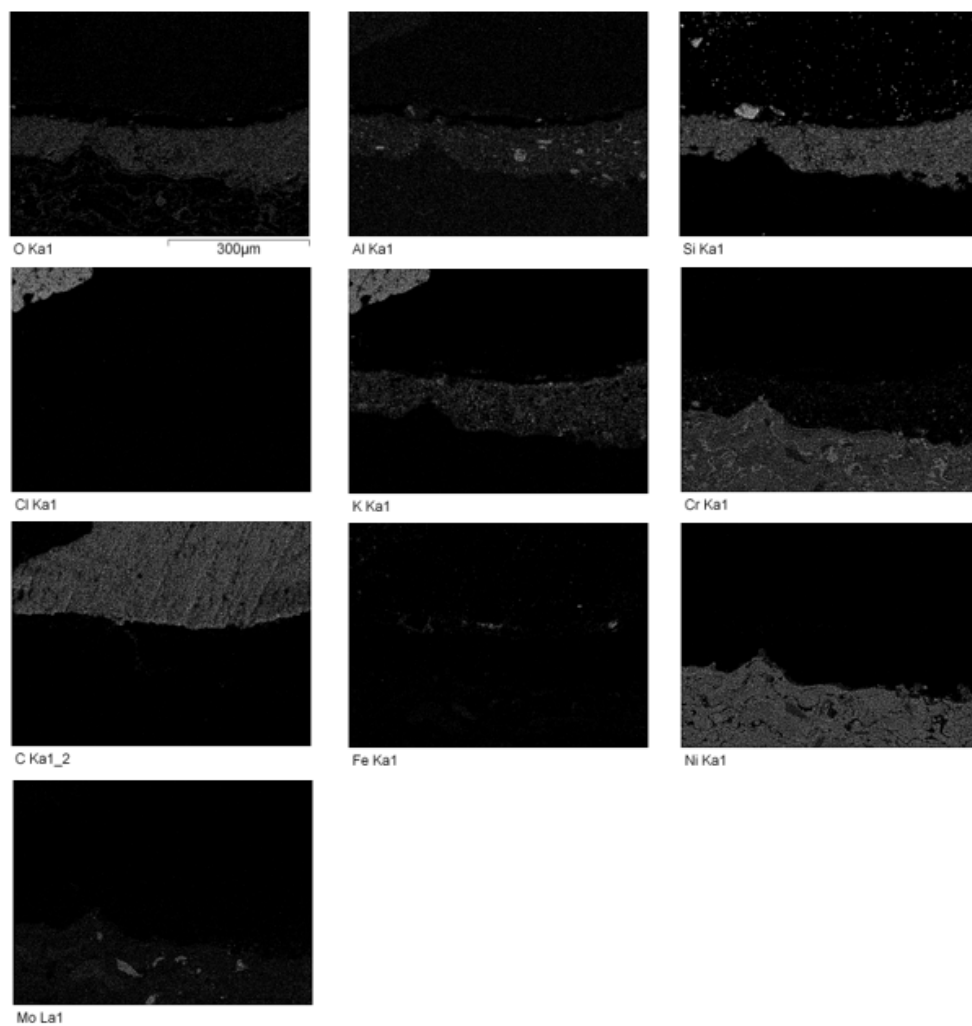
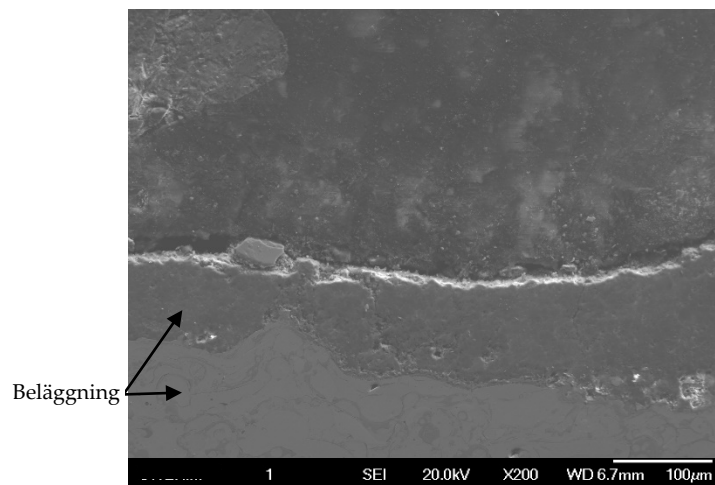
Figure 48. EDS mapping of specimen 686L_25_L showing the coating and salt (KCl). The signal for S is probably incorrectly indicated and should be Mo



Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	S	Cl	K	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Total
Spectrum 1	Yes	83.57	14.19		0.28		0.89	0.10				0.85	0.13		100.00
Spectrum 2	Yes	0.00	15.47		0.15		29.25	40.03		2.68	0.19	0.59	11.64		100.00
Spectrum 3	Yes	0.00	3.02	0.41			0.00	0.00		24.94	0.39	0.77	70.46		100.00
Spectrum 4	Yes	0.00	1.79	0.05	0.29		47.74	49.79				0.15	0.11	0.08	100.00
Spectrum 5	Yes	7.84	6.60	0.68	0.88	2.48		2.64	0.28	31.56	0.42	2.16	44.45		100.00
Max.		83.57	15.47	0.68	0.88	2.48	47.74	49.79	0.28	31.56	0.42	2.16	70.46	0.08	
Min.		0.00	1.79	0.05	0.15	2.48	0.00	0.00	0.28	2.68	0.19	0.15	0.11	0.08	

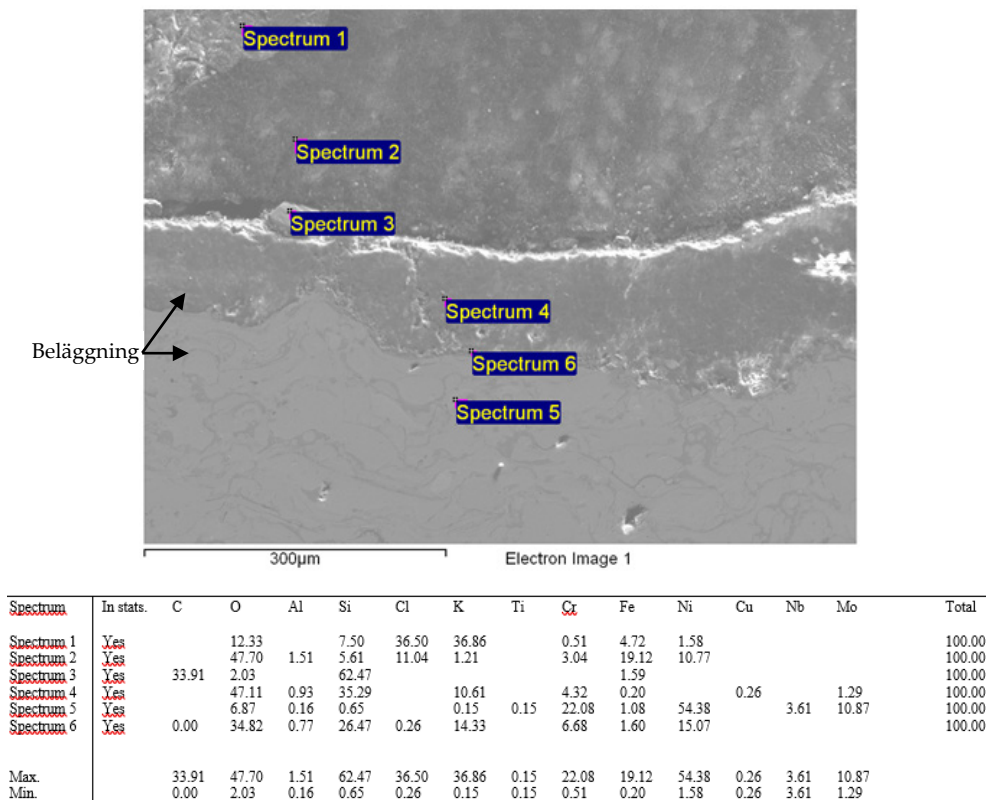
Figur 49. EDS-punktanalys av prov 686L_25_L visar beläggningen och salt (KCl). Resultaten anges i vikt%

Figure 49. EDS point analysis of specimen 686L_25_L showing the coating and salt (KCl). Results are given in weight%



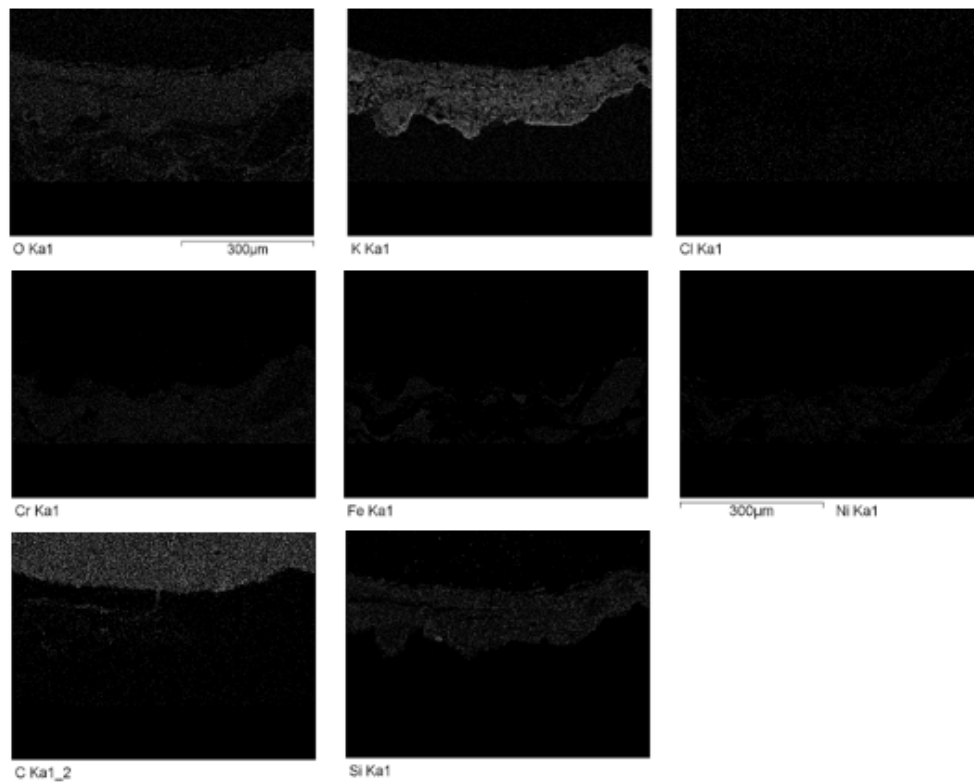
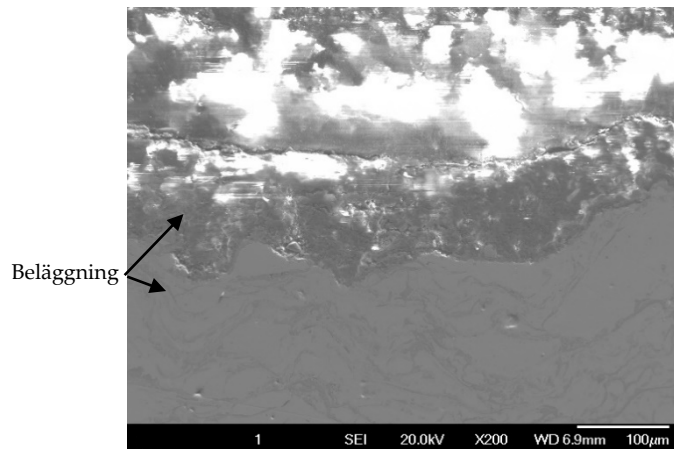
Figur 50. EDS-mappning av prov X268TA_33_L visar beläggningen och salt (KCl)

Figure 50. EDS mapping of specimen X268TA_33_L showing the coating and salt (KCl)



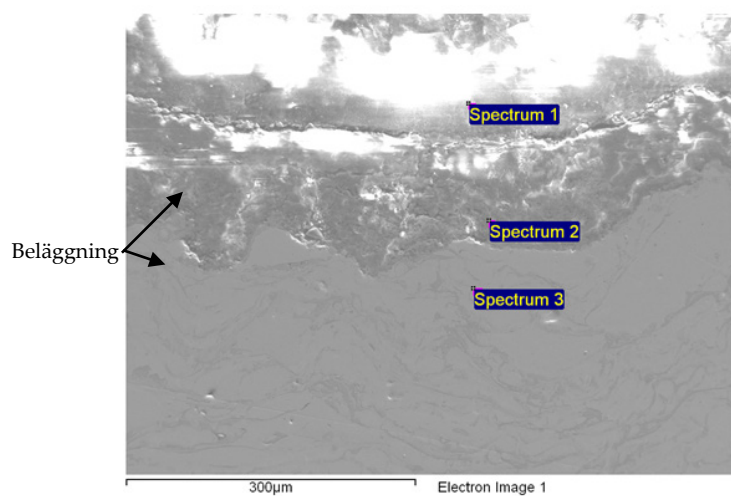
Figur 51. EDS-punktanalys av prov X268TA_33_L visar beläggningen och salt (KCl). Resultaten anges i vikt%

Figure 51. EDS point analysis of specimen X268TA_33_L showing the coating and salt (KCl). Results are given in weight%



Figur 52. EDS-mappning av prov 6858TA_35_L visar beläggningen och salt (KCl)

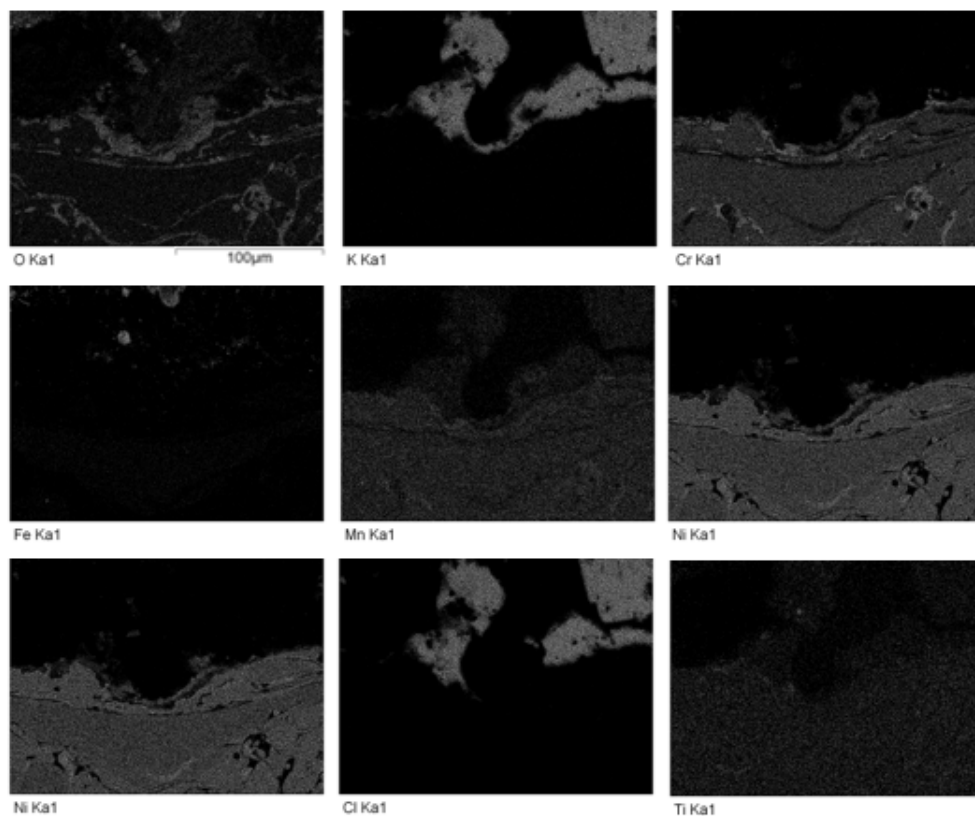
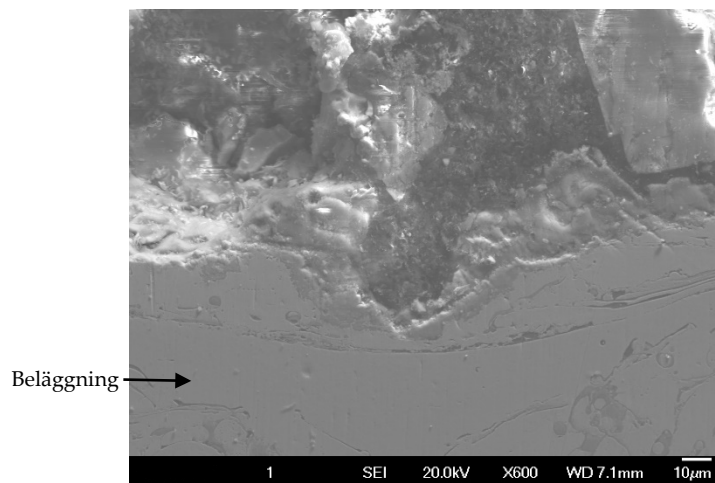
Figure 52. EDS mapping of specimen 6858TA_35_L showing the coating and salt (KCl)



Spectrum	In stats.	C	O	Al	Si	Cl	K	Ti	Cr	Fe	Ni	Nb	Mo	Total
Spectrum 1	Yes		54.25		5.50	14.14				23.68	2.42			100.00
Spectrum 2	Yes		45.81	2.26	32.73	0.15	13.00		5.21	0.84				100.00
Spectrum 3	Yes	2.72	8.01		0.46			0.35	31.56	21.71	33.27	1.11	0.81	100.00
Max.		2.72	54.25	2.26	32.73	14.14	13.00	0.35	31.56	23.68	33.27	1.11	0.81	
Min.		2.72	8.01	2.26	0.46	0.15	13.00	0.35	5.21	0.84	2.42	1.11	0.81	

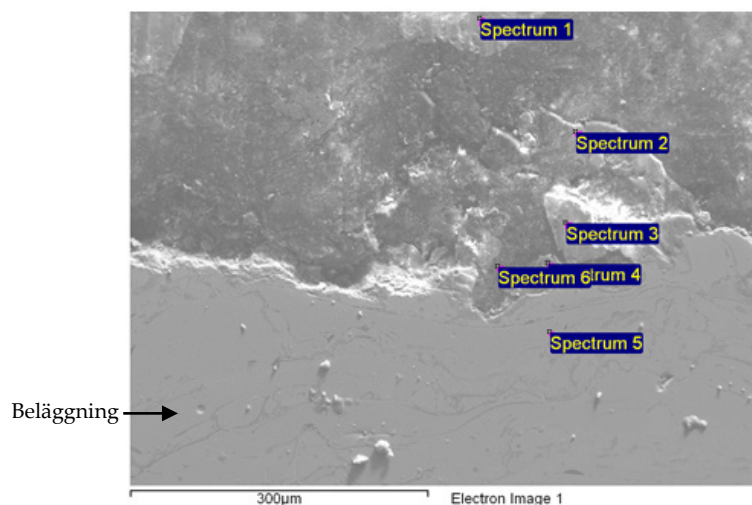
Figur 53. EDS-punktanalys av prov 6858TA_35_L visar beläggningen och salt (KCl). Resultaten anges i vikt%

Figure 53. EDS point analysis of specimen 6858TA_35_L showing the coating and salt (KCl). Results are given in weight%



Figur 54. EDS-mappning av prov X268_37_L visar beläggningen och salt (KCl)

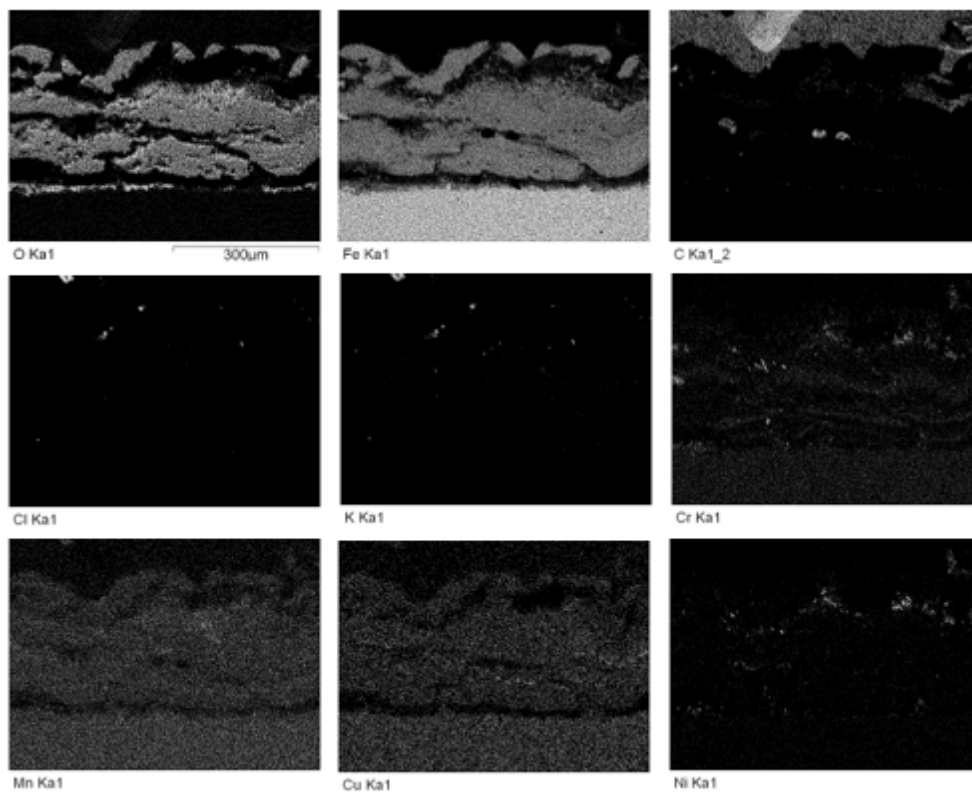
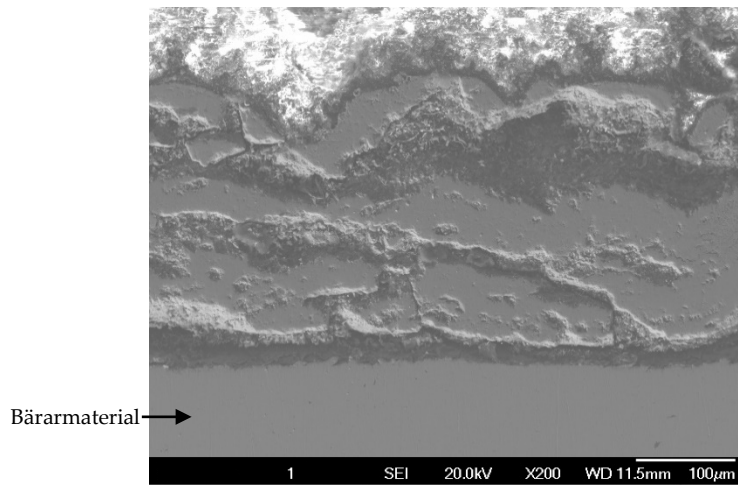
Figure 54. EDS mapping of specimen X268_37_L showing the coating and salt (KCl)



Spectrum	In stats.	B	C	O	Na	Al	Si	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Fe	Ni	Cu	Mo	Total
Spectrum 1	Yes			3.94			0.43	46.07	47.35				2.21	0.00			100.00
Spectrum 2	Yes			35.94		1.34	12.89	8.01	0.80	1.09		3.50	26.29	10.15			100.00
Spectrum 3	Yes			3.09			0.96	46.90	48.18				0.67	0.20			100.00
Spectrum 4	Yes			3.95	0.17		0.68	46.86	47.17				0.85	0.32			100.00
Spectrum 5	Yes	0.00	3.32				4.54				0.21	18.76	5.40	51.25	1.70	14.82	100.00
Spectrum 6	Yes		65.39	22.09			1.13	2.15	0.16			0.55	7.00	1.53			100.00
Max.		0.00	65.39	35.94	0.17	1.34	12.89	46.90	48.18	1.09	0.21	18.76	26.29	51.25	1.70	14.82	
Min.		0.00	3.32	3.09	0.17	1.34	0.43	2.15	0.16	1.09	0.21	0.55	0.67	0.00	1.70	14.82	

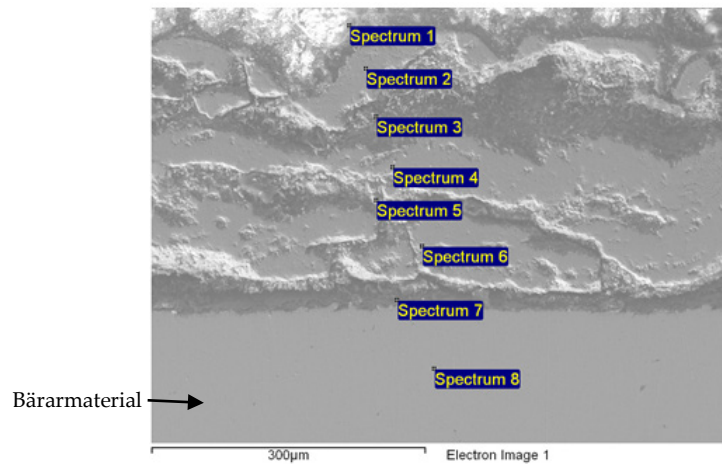
Figur 55. EDS-punktanalys av prov X268_37_L visar beläggningen och salt (KCl). Resultaten anges i vikt%

Figure 55. EDS point analysis of specimen X268_37_L showing the coating and salt (KCl). Results are given in weight%



Figur 56. EDS-mappning av prov 13CrMo_43_L visar bärraterialet och salt (KCl)

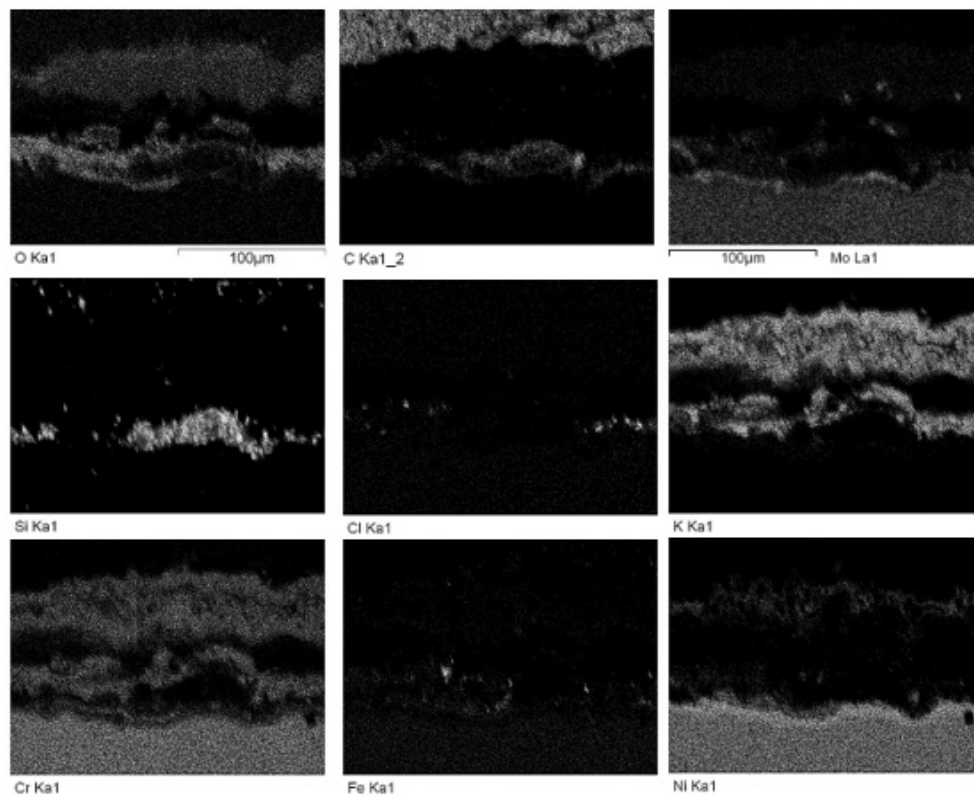
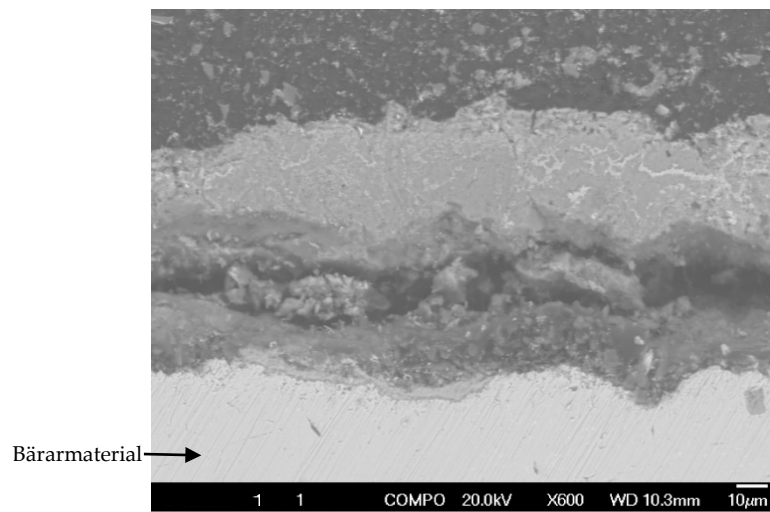
Figure 56. EDS mapping of specimen 13CrMo_43_L showing the substrate material and salt (KCl)



Spectrum	In stats.	C	O	Si	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Ni	Total
Spectrum 1	Yes	61.34	36.82	0.07	1.08	0.00	0.00		0.69		100.00
Spectrum 2	Yes	0.00	31.35		0.00	0.00		0.20	68.44		100.00
Spectrum 3	Yes	18.75	1.51	77.60	0.00	0.00	0.09		2.05		100.00
Spectrum 4	Yes	0.00	30.70	0.51	0.12	0.79	1.68	0.20	65.73	0.26	100.00
Spectrum 5	Yes	0.00	28.35	0.38	0.00	0.31	0.16	0.68	70.12		100.00
Spectrum 6	Yes	0.00	29.82		0.00	0.00	0.38	0.47	69.33		100.00
Spectrum 7	Yes	2.40	32.06	1.96	0.29	0.29	0.68	0.30	61.84	0.19	100.00
Spectrum 8	Yes	0.00	0.40	0.26	0.00	0.00	0.89	0.56	97.90		100.00
Max.		61.34	36.82	77.60	1.08	0.79	1.68	0.68	97.90	0.26	
Min.		0.00	0.40	0.07	0.00	0.00	0.00	0.20	0.69	0.19	

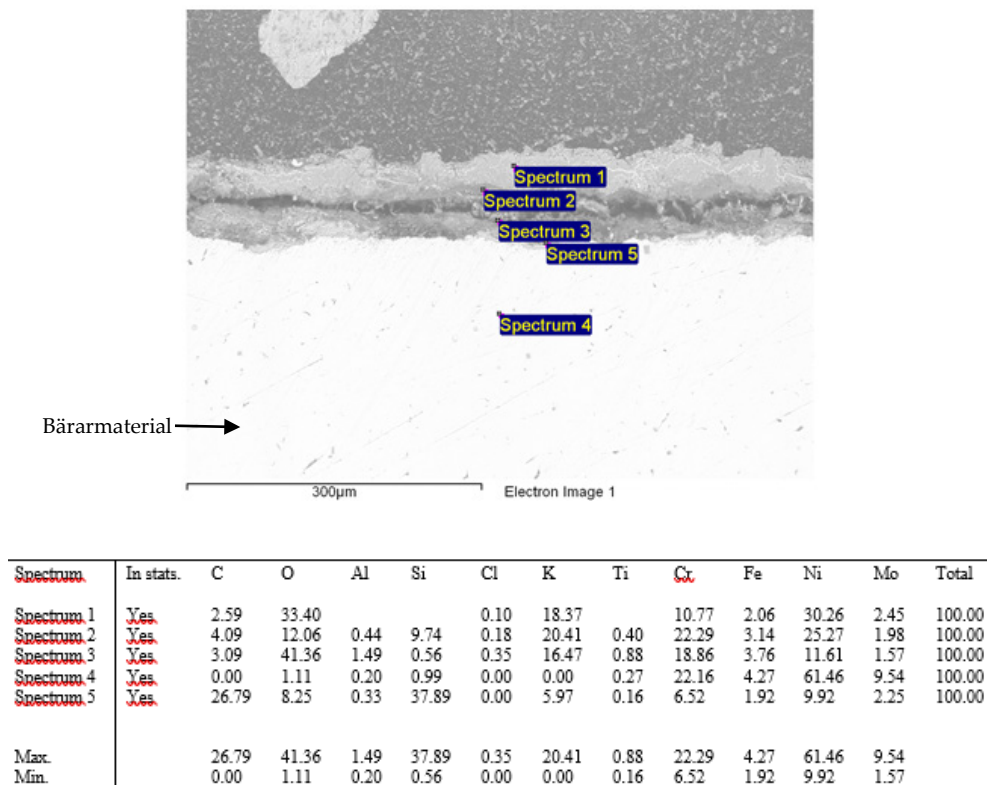
Figur 57. EDS-punktanlys av prov 13CrMo_43_L visar bärarmaterialet och korrosionsprodukter. Resultaten anges i vikt%

Figure 57. EDS point analysis of specimen 13CrMo_43_L showing the substrate material and corrosion products. Results are given in weight%



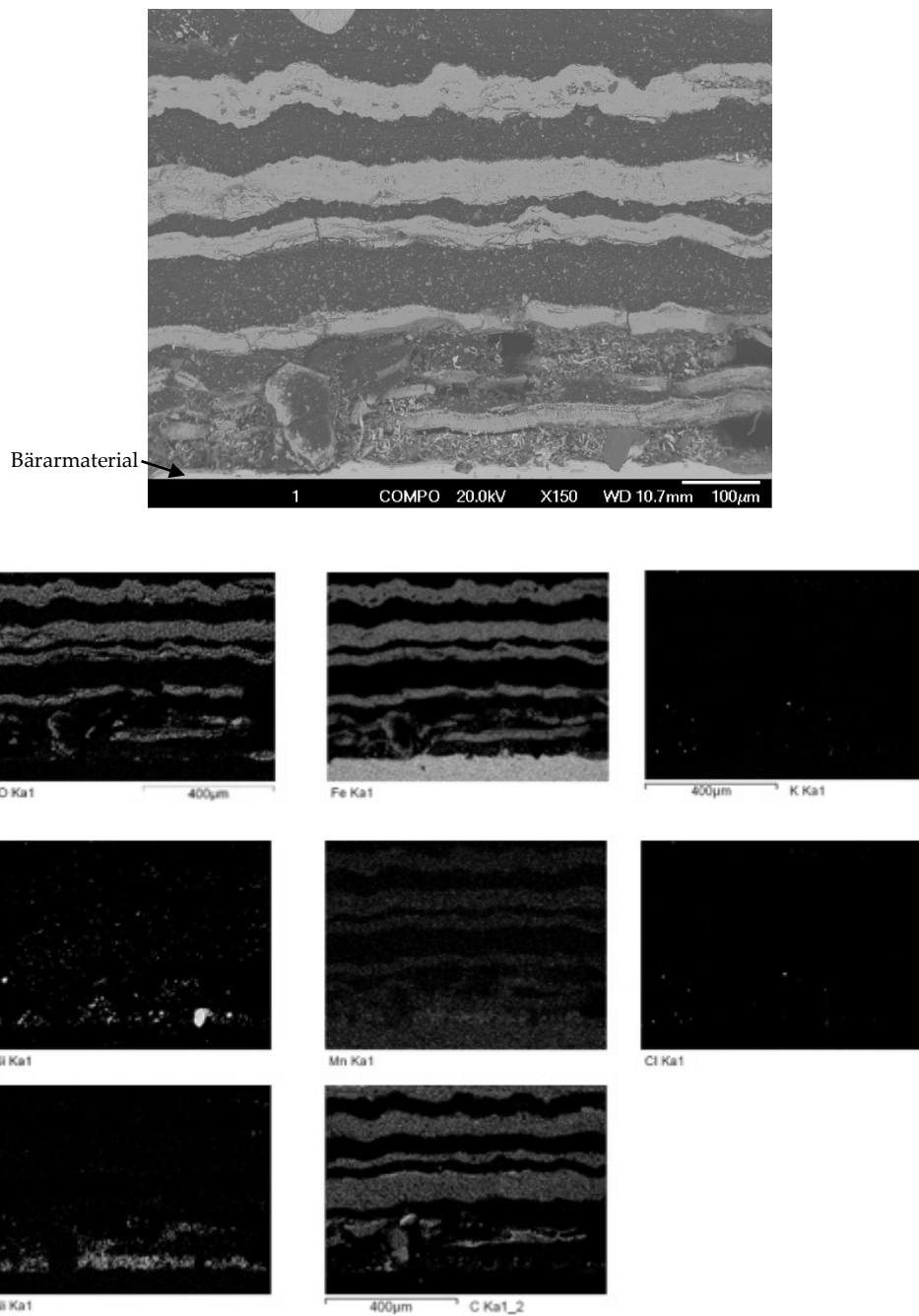
Figur 58. EDS-mappning av prov 625S_45_L visar bärarmaterialet och salt (KCl)

Figure 58. EDS mapping of specimen 625S_45_L showing the substrate material and salt (KCl)

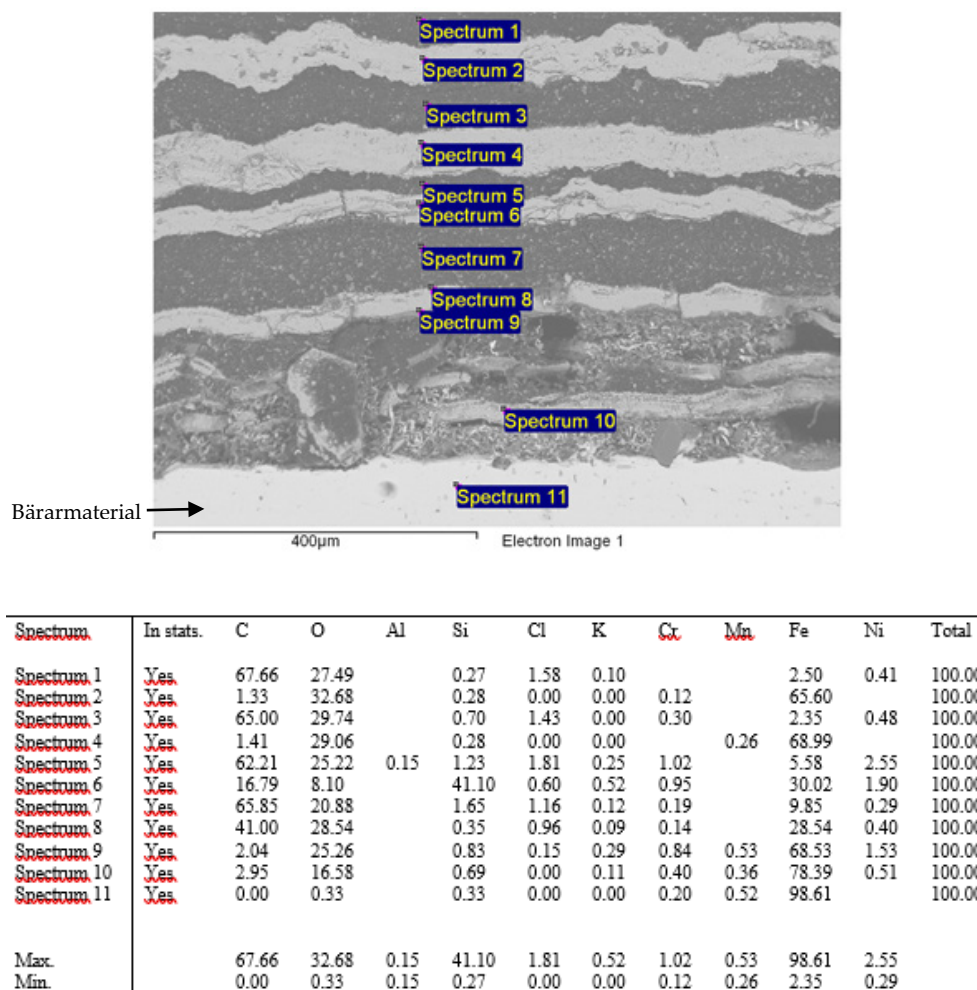


Figur 59. EDS-punktanalys av prov 625S_45_L visar bärrarmaterialet och salt (KCl). Resultaten anges i vikt%

Figure 59. EDS point analysis of specimen 625S_45_L showing the substrate material and salt (KCl). Results are given in weight%



Figur 60. EDS-mappning av prov P235_47_L visar bärraterialet och korrosionsprodukter
 Figure 60. EDS mapping of specimen P235_47_L showing the substrate material and corrosion products



Figur 61. EDS-punktanlys av prov P235_47_L visar bärrarmaterialet och korrosionsprodukter. Resultaten anges i vikt%

Figure 61. EDS point analysis of specimen P235_47_L showing the substrate material and corrosion products. Results are given in weight%

7 Analys och diskussion av resultat

7.1 FÄLTPROVER – PÅSLAG/EROSION/KORROSION

För att kunna göra en bedömning om påslaget tas resultaten av tvärsnittsbilder, påslagsmätning i Tabell 13 och förändringen av skiktjockleken efter exponeringen i pannan i Tabell 15 i beaktande, sammanfört i Tabell 19.

De prover som har fått bedömningen "samma" i Tabell 13 och där skiktet i Tabell 15 anges som "ofta sprucket eller obefintligt" antas ha ett skikt som inte utgör något direkt korrosionsskydd, dvs följande skikt; H1_5A_F, L3_15D_F, BG_12B_F och CER2_10A_F. Skiktet samt påslaget antas falla av efter hand, ungefär på samma sätt som på bärmaterialet. Därav att det blir ungefär samma resultat.

Skiktet på prov 625L_11A_F, där påslaget är ungefär samma som på referensen och där skiktet är intakt efter exponeringen, antas ha egenskaper som gör att påslaget inte fäster så bra eftersom bärmaterialet sannolikt har flagnat under exponeringen.

Skikten på prov 53606_8B_F och DGL_10A_F, har mer påslag än referensen och skikten är i stort sett intakta efter exponeringen. Skikten har flagnat mindre än bärmaterialet vilket stämmer med ett större påslag förutsatt att påslaget fäster ungefär lika bra på alla materialen. Skiktens materialförlust kan ha uppkommit under blästringen vid underhåll av pannan.

Skiktet på prov 686L_7A_F har minskat med ca 80 µm under exponeringen och har något mer påslag än bärmaterialet. Detta kan bero på att skiktet flagnar liksom bärmaterialet men inte lika ofta, därav hinner det bygga på mer påslag. Samma resonemang kan även gälla för prov X268TA_14C_F och X268_8A_F som tappat skikt under exponeringen, ca 150 µm, och som har mer påslag än referensen.

Ca 10 µm av skiktet (eller så är det påslag) på prov H4_5B_F finns bitvis kvar efter exponering. Det har då flagnat ca 740 µm men har mer påslag än bärmaterialet. Detta tyder på att mycket av skiktet föll av i början av exponeringen och att det kvarvarande skiktet har skyddat materialet från korrosion och flagnings vilket lett till att ett tjockt påslag bildats. En möjlig förklaring skulle kunna vara att element i skiktet gått in i bärmaterialet med resultatet att bärmaterialet blivit mer korrosionsresistent. Dock visar inte SEM analys någon modifiering av bärmaterialet som har nära kontakt med skiktet (Figur 31 och Figur 32).

Det enda skikt som har mindre påslag än bärmaterialet, X268_15C_F har en skiktförlust på ca 70 µm. Det kan förklaras på några olika sätt; 1. Materialet är mjukt och mycket blästras bort vid pannunderhållet samt att materialet repellerar påslag. 2. Skiktet har flagnat senare än bärmaterialet och på så sätt inte hunnit bygga lika mycket påslag.

I Tabell 13 hittas information om påslag till alla skikten efter exponering i pannan. Det är dock svårt att dra några slutsatser om de skikt där vi inte har någon information om skiktet efter exponeringen. Generellt kan tänkas att de skikt som har mer påslag än bärmaterialet flagnar mindre och därmed har ett bättre

korrosionsskydd. De skikt som har mindre påslag än bärmaterialet kan antingen flagna mer och därmed ha ett sämre korrosionsskydd än bärmaterialet, alternativt ha en yta som gör att påslaget inte fäster.

Tabell 19. Påslagskillnaden mellan referens och skikt (från Tabell 13), skiktjockleken efter exponering i pannan (från Tabell 15) samt skiktjockleksskillnaden (efter exponeringen minus före exponeringen)

Table 19. Difference in deposit between reference and coating (from Table 13), coating thickness after exposure in the boiler (from Table 15) as well as difference in coating thickness (after exposure minus before exposure)

Prov	Påslagskillnad ref-skikt	Skiktjocklek efter exponering (µm)	Skiktjockleksskillnad (µm)
H1_5A_F	~Samma	Sprucket + obefintligt	580
L3_15D_F	~Samma	Sprucket + obefintligt	520
BG_12B_F	~Samma	Sprucket + obefintligt	215
CER2_10A_F	~Samma	Sprucket + obefintligt	80
625U_9A1_F	Något mer på skikt	2270	10
625L_11A_F	~Samma	1210	~0
686L_7A_F	Något mer på skikt	1300	50
H4_5B_F	Mer på skiktet	10 µm men ofta sprucket + obefintligt	740
53606_8B_F	Mer på skiktet	1070	30
X268TA_14C_F	Mer på skiktet	610	160
DGL_10A_F	Mer på skiktet	60	20
X268_8A_F	Mer på skiktet	740	150
X268_15C_F	Något mer på ref	780	70

Figur 28 visar tydligt vilka skikt som fungerat bäst i pannan. 625L_11A_F är helt intakt följt av 625U_9A1_F. Dock är det bara 10 µm skillnad i avverkning som uppmätts på 625U_9A1_F. Detta skulle kunna bero på mätfel eftersom skiktjockleken varierade mycket och det fanns bara några få toppar att mäta på. Därefter kommer skikten 53606_8B_F och 686L_7A_F med en avverkning på 30 resp. 80 µm, att jämföras med bärmaterialet med en avverkning på 210 µm. Två prov med skikten X268 (X268_8A_F och X268_15C_F) har exponerats, det ena har flagnat 150 µm och det andra 70 µm.

Prov X268TA_14C_F består av samma material som X268_8A_F och X268_15C_F men här har även ett skikt med Tube Armor lagts på X268 materialet. Avverkningen ligger i samma storleksordning med eller utan Tube Armor, d.v.s. att Tube Armor verkar inte skydda bättre än X268.

DGL_10A_F består av två olika skikt. Det översta ser ut att ha försvunnit helt men ett kontinuerligt lager av bindsiktet sitter kvar och skyddar materialet. På CER2_10A_F har två lager av ett keramiskt skikt lagts. Båda lagren är helt borta på många ställen. Även det keramiska skiktet BG_12B_F har klarat sig dåligt och är helt borta på många ställen. Även de vita skikten (H1_5A_F, H4_5B_F och L3_15D_F) har fallit bort helt och mätningar visar att avverkningen på bärmaterialet är minst lika stor som om inget skikt hade varit pålagt innan exponeringen.

7.2 KORROSIONSSONDSPROVER – PÅSLAG/EROSION/KORROSION

Korrosionssondsprövningen är gjord med en metalltemperatur av ca 530 °C, vilket får anses vara en mycket hög metalltemperatur vid avfallsförbränning. Resultaten från Tabell 17 visar vid en första anblick på en stor spridning. Resultaten från prover för vilka inget beläggningsskikt kunnat identifieras efter provningen (H4_13_S, L3_1_S, H1_17_S, L1_9_S) har så pass stor osäkerhet i materialavverkningen att dessa prover bör bortses ifrån. Orsaken till att något kvarvarande beläggningsskikt ej kunnat identifieras är oklar. Det kan vara att korrosion från sidorna på de smala ringarna propagerat in under beläggningsskikten och fått dessa att släppa från ytan. Bilden av exponerat material av H4_13_S i Tabell 16 ger visst stöd för detta, då det visuellt ser ut att finnas oxid under ett vitaktigt skikt som skulle kunna vara beläggningsskiktet. För övriga beläggningar kan det vara relevant att titta på medelvärde av dubbelproverna för att få mer representativa resultat. Dessa resultat är sammanfattade i Tabell 20. Tabellen innehåller också ett spridningsmått definierat som $(\text{max-värde} - \text{min-värde})/2$ när dubbelprov exponerats. Även tjockleksreduktionen för obelagda ringar är tabellerad. För dessa behöver det dock has i åtanke att viss korrosion även sker på ringens insida, även om den inte är lika utsatt för korrosiv beläggning.

Värdena i Tabell 20 visar en relativt stor variation i spridningsmättet. Det är dock rimligt att anta att osäkerheten och spridningen är relativt materialoberoende och att den stora variationen i detta fall snarare är ett resultat av det lilla statistiska underlaget per material. Det är då rimligt att för samtliga material då utgå ifrån det största spridningsmättet, vilket avrundat blir $\pm 50 \mu\text{m}$. Detta ger då att det är svårt att dra några säkra slutsatser om skillnader mellan dessa beläggningar. Det finns dock en tydlig indikation på att beläggning med Tube Armor på X268 ger en positiv effekt. För samtliga beläggningar fås en avsevärt lägre korrosionshastighet, 1.5-15 gånger, jämfört med 13CrMo4-5 och P235GH (referensmaterial). Här har de obelagda ringarna antagits korrodera lika mycket på insidan som på utsidan, samtidigt som den antagna korrosionen på insidan bortsetts ifrån, vilket ger ett konservativt värde.

Tabell 20. Tjockleksreduktion av prover som exponerats på sond under 1152 h

Table 20. Thickness reduction of specimens exposed on probe for 1152 h

Provnamn	Medelreduktion (μm)	Spridningsmått (μm) (max-värde – min-värde)/2
686L_23_S, 686L_25_S	83.5	± 6.5
X268_27_S, X268_37_S	131.5	± 9.5
X268TA_33_S, X268TA_39_S	12.5	± 40.5
53606_29_S, 53606_31_S	64	± 43
6858TA_35_S, 6858TA_41_S	73	± 14
13CrMo_43_S	388	-
P235_47_S	393	-

Det framgår relativt väl av Figur 9 och Figur 10 att beläggning med Tube Armor minskar mängden kvarsittande påslag. Beläggningarna med Tube Armor är gröna i bilden före exponering och dessa har synbart mindre påslag efter exponering.

7.3 LABORATORIEPROVER – KORROSION

Laboratorieproverna visar att alla varianterna av Calde Seal (L1, L3, H1, H3, H4) har god förmåga att motverka korrosion från KCl vid den höga temperaturen (600 °C) i försöken. I synnerhet proverna H1_1_L och L3_17_L uppvisar mycket lite korrosion, medan obelagt bärarmaterial (X10CrMoVNb9-1) uppvisar ett förhållandevis starkt korrosionsangrepp.

Övriga provade beläggningar uppvisar inget eller minimalt korrosionsangrepp.

Materialen 13CrMo4-5 och P235GH (referensmaterial) uppvisar ett kraftigt korrosionsangrepp. Ett solitt obelagt prov av Alloy 625 uppvisar endast minimal påverkan.

Efter laboratorieprovningen visade det sig att för vissa prover kunde det applicerade saltet mycket enkelt falla av från provkuponerna i form av en saltkaka. Detta skedde för prover med Tube Armor och Calde Seal H1. Detta visar på att saltbeläggningen har mycket låg vidhäftning mot dessa prover. Det visar också på att saltet inte alls eller endast i mycket liten utsträckning reagerar med beläggningarnas yttersta lager. Detta framgick också av att ytorna såg opåverkade ut efter att saltkakan fallit av.

Att en saltkaka av KCl har mycket låg vidhäftning ger en viss indikation av att påslag där den korrosiva substansen huvudsakligen är KCl också bör ha låg vidhäftning. Detta gäller exempelvis vid viss biobränsleeldning och resultaten indikerar därmed att Tube Armor och Calde Seal H1 bör resultera i mindre påslag totalt sett, genom att det lättare kan avlägsnas med regelbunden sotblåsning.

7.4 FÄLT-, SOND- OCH LABORATORIEEXPONERINGARNA SAMMANTAGET

Den samlade bilden av fält-, korrosionssond- och laboratorieexponeringarna sammantaget är att det finns goda förutsättningar att med avancerade beläggningar uppnå avsevärt bättre korrosionsegenskaper än vad referensmaterialet P235GH har. Det visar också på att det finns potential för att öka materialtemperaturen vid både avfallsförbränning och förbränning av biobränsle med högt KCl-innehåll genom att använda avancerade beläggningar.

Påsvets med Alloy 625 är en idag vanlig metod för korrosionsskydd genom beläggning. Det blir då relevant att jämföra inte bara med referensmaterialet utan också med detta material. I fältprovningen ingick prover av Alloy 625 belagd med metoden WSI Unifuse, som är en MIG-baserad metod. Dessa prover visade på mycket låg avverkning och likaså gjorde Alloy 625 belagt med metoden LaserClad. Då dessa prov uppvisade så pass låg avverkning, så blir det inte möjligt att påvisa att något material skulle vara bättre med de osäkerheter som finns i provningen. Beläggningarna Eutalloy RW 53606 och Hybrid DGL + CER uppvisade marginellt högre avverkning, men resultaten är med hänsyn till osäkerheterna jämförbara

med Alloy 625. Det kan här vara värt att framhålla att beläggningen Hybrid DGL + CER endast har en ursprungstjocklek om 80 µm, vilket innebär att materialåtgången för tillverkning av beläggningen är mycket liten.

Vid provning med korrosionssond ingick inte Alloy 625 i försöksmatrisen, då det prioriterades att använda det begränsade antalet provplatser till nya beläggningstyper. I försöksmatrisen ingick däremot en beläggning av det närbesläktade materialet Alloy 686 belagt med metoden LaserClad. I fältprovning uppvisade det marginellt högre avverkning jämfört med Alloy 625. Antas samma gälla på korrosionssonden, så kan man sluta sig till att beläggningen X268 med ett Tube Armor skikt är minst jämförbar med Alloy 625. Detta då den trots den höga temperaturen uppvisar mycket låg avverkning. Vid den lägre temperaturen i fältprovningen var den däremot inte lika bra, vilket gör att resultatet inte är entydigt.

Vid laboratorieprovningen uppvisade samtliga beläggningar mycket goda egenskaper och visade på potentialen att öka materialtemperaturen vid förbränning av biobränsle med hjälp av beläggningar som ett alternativ till att använda höglegerade tubmaterial. Signifikanta skillnader kunde inte påvisas mellan legeringarna eller jämfört med solid Alloy 625. Jämfört med referensmaterialet var avverkningen signifikant lägre.

8 Slutsatser

Projektet har utvärderat prestandan hos ett stort antal avancerade metalliska och keramiska beläggningar genom fältförsök, provning med korrosionssond och laboratorieprovning. Följande slutsatser har dragits:

- Den totala korrosionen vid fältförsöket har varit låg för både de provade beläggningarna och för referensmaterialet P235GH. För referensmaterialet var den i snitt 0,15 mm per kalenderår.
- Den låga korrosionshastigheten har gjort att det har varit mättekniskt svårt att uppnå hög noggrannhet i mätningarna av materialförlust på grund av korrosion, vilket har bidragit till spridningen i resultaten.
- Det har i fältförsöken visats att mycket låga korrosionshastigheter kan uppnås med metalliska beläggningar, varvid Alloy 625 belagd med metoden LaserClad visat bäst prestanda.
- De keramiska beläggningarna var huvudsakligen skadade efter uttag av fältprover, vilket kan ha orsakats av blästringen vid det årliga revisionsstoppet under provningsperioden.
- En av de provade metalliska beläggningarna erhöll en i förhållande till referensmaterial mycket låg korrosionshastighet vid sondprov.
- En keramisk beläggning visades vid sondprov ge upphov till en minskad uppbyggnad av påslag.
- Samtliga provade beläggningar fick en i förhållande till referensmaterial låg korrosionshastighet vid laboratieförsök.
- Keramiska beläggningar visades vid laboratieförsök ge upphov till låg vidhäftning av ett med KCl simulerat påslag.

9 Måluppfyllnad

Projektets mål var att utvärdera ett antal avancerade beläggningar, inklusive specialemaljer, som en väg mot att minska erosion, avlagring och korrosionshastigheten av överhettartuber.

Projektet hade följande delmål:

- A. *Finna en beläggning som ger 100% bättre korrosionsresistens/livslängd på panntuber, enligt utvärdering från fältförsök genom jämförelse med samtidigt exponerat referensprov.*
- B. *Finna en beläggning som fungerar vid en materialtemperatur av 525 °C i avfallspannor enligt utvärdering med sondförsök och jämförelse med referensprov.*
- C. *Finna en beläggning som fungerar vid en materialtemperatur av 600 °C i biopannor, enligt utvärdering med labbförsök och jämförelse med referensprov.*

Det bedöms att projektets måluppfyllnad generellt är god.

Projektet har utvärderat prestandan hos ett stort antal avancerade beläggningar, inklusive keramiska specialemaljer. De utvärderade beläggningarna är både sådana som är state-of-the-art idag och sådana som är under utveckling hos marknadsledande aktörer. Det har visats att bland de provade beläggningarna finns sådana som i provningen har uppvisat försumbar påverkan av erosion och korrosion, samt en minskad uppbyggnad av avlagring, dvs. påslag.

Delmål 1 har uppfyllts, då ett antal beläggningar (utöver den sedan tidigare vanligt förekommande Alloy 625 påsvetsad med MIG-teknik) vid ett långtids fältförsök har visat sig ge mycket låg korrosionshastighet, vilken är mångdubbelt lägre än korrosionshastigheten för referensmaterialet.

Delmål 2 har uppfyllts, då det genom sondförsök vid 530 °C visats att ett flertal av de provade beläggningarna får en låg och minst ett får en mycket låg korrosionshastighet, vilken är mångdubbelt lägre än korrosionshastigheten för referensmaterialet.

Delmål 3 har uppfyllts, då det genom laboratorieprovning i en miljö simulerande den hos en biopanna visats att i stort sett samtliga av de provade avancerade beläggningarna får en mycket låg korrosionshastighet vid 600 °C, vilken är mångdubbelt lägre än korrosionshastigheten för referensmaterialet.

10 Rekommendationer

Det har i fältförsöken visats att mycket låga korrosionshastigheter kan uppnås med metalliska beläggningar, varvid Alloy 625 belagd med metoden LaserClad visat bäst prestanda. Även den mer vanligt förekommande beläggningstypen Alloy 625 belagd med metoden WSI Unifuse uppvisade mycket god prestanda. Det har samtidigt i försök med korrosionssond påvisats att ett toppskikt med den keramiska beläggningen Tube Armor kunde minska mängden påslag synbart och med laboratorieförsök har det indikerats att den skulle medföra sänkt vidhäftning för påslaget. Tube Armor var dock bara lagd på andra beläggningstyper än Alloy 625. Det rekommenderas därför att utvärdera om ett toppskikt av Tube Armor på Alloy 625 kan resultera i en kombination av mycket låg korrosionshastighet och minskad mängd påslag. Vidare rekommenderas det att utvärdera detta både för Alloy 625 belagd med metoden LaserClad och med metoden WSI Unifuse.

De keramiska skikten av CaldeSeal visade indikation på att vara känsliga för hantering vid insättning av prover vid fältförsök. De föreföll också ha varit känsliga för kanteffekter vid beläggning på för små ytor såsom smala ringar vid korrosionssondsförsök. Det bedöms också att de varit känsliga för blästring vid årligt revisionsunderhåll. Samtidigt visade dessa skikt på gott korrosionsskydd i laboratorieförsök. Det rekommenderas därför att de utvärderas på nytt i fält med ett annat försöksupplägg där de beläggs på plats i pannan på större områden och på provytor med geometrier som inte förväntas ge upphov till negativa och för de tilltänkta applikationerna orealistiska kanteffekter. Vid sådan provning rekommenderas det också att tjockleken av underliggande provmaterial noggrant mätts upp, så materialförlusten för detta kan bestämmas efter exponeringen, då det visat sig svårt att göra en bedömning utifrån materialförlust hos själva beläggningen. Utvärderingen bör göras vid första revisionstillfället, så att exponering ej kommer att ske av ytor där beläggningen utsatts för blästring. Vid användning av dessa beläggningar i faktisk drift rekommenderas att de förnyas efter varje blästringstillfälle.

Bilaga A: Appendix

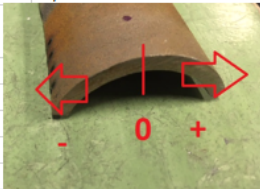
PROV 686L_7A_F

Mätning av rör 2017-11-16					
DM		Mätinstrument	BX62113		
7P02312	Beläggning		625		
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan				
	Rör 1	6 spår	total längd	530 mm	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår		
	Referensyta 1				35
20	4,18	4,16	4,08		
	Beläggning 1				
45	5,48	5,44	5,40		
80	5,38	5,52	5,42		
130	5,48	5,50	5,40		
180	5,48	5,50	5,42		
230	5,48	5,44	5,48		
300	5,46	5,44	5,38		
	Referensyta 2				
380	4,16	4,10	3,90		
425	4,14	4,02	3,94		
475	4,24	4,22	4,02		
tjock och röd position tittades på i tvärsnitt					
tjock och blå position skrapades av och mättes efter exponering					

Beräkning skikt:				
	Rör 1	6 spår	total längd	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Referensyta 1			
20	4,18	4,16	4,08	
	Referensyta 2			
380	4,16	4,1	3,9	
425	4,14	4,02	3,94	
475	4,24	4,22	4,02	
	4,18	4,125	3,985	
	Beläggning 1			
45	5,48	5,44	5,4	
80	5,38	5,52	5,42	
130	5,48	5,5	5,4	
180	5,48	5,5	5,42	
230	5,48	5,44	5,48	
300	5,46	5,44	5,38	
	5,46	5,473333333	5,416666667	
				medel
skikt	1,28	1,348333333	1,431666667	1,353333333

	Rör 1	6 spår	total längd	530 mm						
	efter pannan									
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	0 grader avskrapat						
	Referensyta 1									
20	4,18	4,18	4,02	3,98			4,18	4,16	4,08	
	Beläggning 1									
45	6,3	5,96	6,12				5,48	5,44	5,4	
80	7,5	6,02	7,14				5,38	5,52	5,42	
130	7,18	6,02	6,72				5,48	5,5	5,4	
180	8,52	6,28	6,94				5,48	5,5	5,42	
230	6,8	6,44	6,5				5,48	5,44	5,48	
300	7,5	6,32	6,8				5,46	5,44	5,38	
	Referensyta 2									
380	4,3	4,94	5,84				4,16	4,1	3,9	
425	5,66	4,36	5,66				4,14	4,02	3,94	
475	4,28	4,16	4,02				4,24	4,22	4,02	
	skillnad									
	efter-innan pannan									
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår							
20	0	0,02	-0,06							
45	0,82	0,52	0,72							
80	2,12	0,5	1,72							
130	1,7	0,52	1,32							
180	3,04	0,78	1,52							
230	1,32	1	1,02							
300	2,04	0,88	1,42							
380	0,14	0,84	1,94							
425	1,52	0,34	1,72							
475	0,04	-0,06	0							

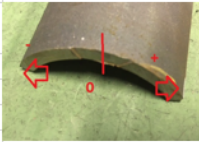
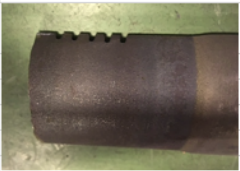
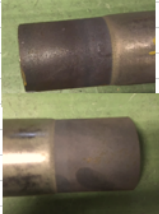
PROV X268_8A_F

Mätning av rör			
2017-11-16			
DM		Mätinstrument	BX62113
7P02312	Beläggning	65/66	
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan		
	Rör 1		total längd 375
mm	-30 grader från högst spår Referensyta 1	0 grader	+30 grader från högst spår
15	4,10	4,16	4,06
35	4,06	4,16	4,04
	Beläggning 1		
100	4,98	4,92	4,92
150	4,98	4,98	4,94
200	5,00	5,00	4,96
250	5,02	4,96	5,02
300	5,02	4,98	5,04
	Referensyta 2		
360	4,04	4,14	4,10
tjock och röd position tittades på i tvärsnitt			
tjock och blå position skrapades av och mättes efter exponering			
Beläggning 1 är första ytan efter referensytan sett från spåret högst upp på röret			

Beräkning av skiktjocklek:			
	Rör 1	4 spår	total längd
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår
	Referensyta 1		
15	4,1	4,16	4,06
35	4,06	4,16	4,04
	Referensyta 2		
360	4,04	4,14	4,1
	4,066666667	4,153333333	4,066666667
	Beläggning 1		
100	4,98	4,92	4,92
150	4,98	4,98	4,94
200	5	5	4,96
250	5,02	4,96	5,02
300	5,02	4,98	5,04
	5	4,968	4,976
			medel
skikt	0,933333333	0,814666667	0,909333333
			0,885777778

	efter pannan					innan pannan				
mm	-30 grader	0 grader	+30 grader från högst spår			-30 grader	0 grader	+30 grader från högst spår		
	Referensyta 1		0 grader avskrapad			Referensyta 1				
15	5,1	5,18	4,06	3,95		4,1	4,16	4,06		
35	4,06	4,06	4,04			4,06	4,16	4,04		
	Beläggning 1					Beläggning 1				
100	9,16	6,44	6			4,98	4,92	4,92		
150	9	10,88	6,08			4,98	4,98	4,94		
200	5,74	6,64	6,18			5	5	4,96		
250	5,5	6,3	6,5			5,02	4,96	5,02		
300	6,34	6,44	6,8			5,02	4,98	5,04		
	Referensyta 2					Referensyta 2				
360	5,3	5,64	5,38			4,04	4,14	4,1		
tjock och röd position tittades på i tvärsnitt						skillnad				
						efter - innan pannan				
					mm	-30 grader	0 grader	+30 grader från högst spår		
					15	1	1,02	0		
					35	0	-0,1	0		
					100	4,18	1,52	1,08		
					150	4,02	5,9	1,14		
					200	0,74	1,64	1,22		
					250	0,48	1,34	1,48		
					300	1,32	1,46	1,76		
					360	1,26	1,5	1,28		

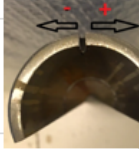
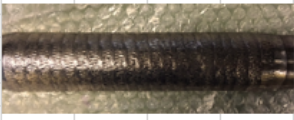
PROV 53606_8B_F

Mätning av rör 2017-11-16				
DM		Mätinstrument	BX62113	
7P02312	Beläggning	53606		
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan			
	Rör 1			395
				Ytans tot.längd mm
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Beläggning 1			
100	5,22	5,22	5,20	
150	5,20	5,18	5,22	
200	5,24	5,16	5,22	
250	5,28	5,16	5,24	
300	5,20	5,18	5,22	
	Referensyta 1			
15	4,10	4,14	4,18	
35	4,08	4,08	4,16	
	Referensyta 2			
360	4,10	4,12	4,08	
380	4,10	4,10	4,08	
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan sett från spåret högst upp på röret			
	Bilden visar även rör nr 2 som är röret med störst vinkel			
	tjock och röd position tittades på i tvärsnitt			
	tjock och blå position skrapades av och mättes efter exponering			

Beräkning skiktthjocklek:				
	Rör 1	5 spår	total längd	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Beläggning 1			
100	5,22	5,22	5,2	
150	5,2	5,18	5,22	
200	5,24	5,16	5,22	
250	5,28	5,16	5,24	
300	5,2	5,18	5,22	
	5,228	5,18	5,22	
	Referensyta 1			
15	4,1	4,14	4,18	
35	4,08	4,08	4,16	
	Referensyta 2			
360	4,1	4,12	4,08	
380	4,1	4,1	4,08	
	4,095	4,11	4,125	
			medel	
skikt	1,133	1,07	1,095	1,099333333

2019-05-17									
Plats	8B								
	Rör 1	5 spår	total längd	395					
	efter pannan				innan pannan				
mm	-30 grader	0 grader	+30 grader	0 grader avskrapat	-30 grader	0 grader	+30 grader från högst spår		
	Beläggning 1				Beläggning 1				
100	5,62	5,82	6,34		5,22	5,22	5,2		
150	7,62	6,02	6,26		5,2	5,18	5,22		
200	7,52	5,84	6,22		5,24	5,16	5,22		
250	7,9	5,9	6,3		5,28	5,16	5,24		
300	6,82	6,34	6,24		5,2	5,18	5,22		
	Referensyta 1				Referensyta 1				
15	4,1	4,48	4,88	3,98	4,1	4,14	4,18		
35	4,08	3,86	4,16		4,08	4,08	4,16		
	Referensyta 2				Referensyta 2				
360	4,1	4,12	4,08		4,1	4,12	4,08		
380	4,24	4,6	4,9		4,1	4,1	4,08		
tjock och röd position tittades på i tvärsnitt									
	efter-innan pannan								
	skillnad								
mm	-30 grader	0 grader	+30 grader från högst spår						
100	0,4	0,6	1,14						
150	2,42	0,84	1,04						
200	2,28	0,68	1						
250	2,62	0,74	1,06						
300	1,62	1,16	1,02						
15	0	0,34	0,7						
35	0	-0,22	0						
360	0	0	0						
380	0,14	0,5	0,82						

PROV 9A 625U_9A1_F OCH 625U_9A2_F

Mätning av rör 2017-11-16									
DM		Mätinstru	BX62113						
7P02312	Beläggning	625							Bilderna visar även rör n
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan sett från spåret högst upp på röret. Detta spår anges som 0 grader								
	Rör 1	3 spår	total längd	725 mm					
				Ytans tot.längd mm					
	referensyta 1			100					
	-30 grader från högst sp	0 grader	+30 grader från högst spår						
25 mm	3,98	4,18	4,06						
50 mm	4,10	4,12	4,10						
75 mm	4,10	4,14	4,14						
	Beläggning 1 #1/625			215					
145 mm	6,06	6,22	6,28						
200 mm	6,18	6,42	6,30						
255 mm	6,48	6,38	6,48						
300 mm	6,48	6,56	6,68						
	Referensyta 2			100					
340 mm	4,10	4,10	4,10						
365 mm	3,98	4,10	4,06						
390 mm	4,06	4,12	4,16						
	Beläggning 2 #2/625			210					
445 mm	6,28	6,30	6,38						
490 mm	6,14	6,34	6,38						
535 mm	6,28	6,44	6,46						
570 mm	6,32	6,38	6,50						
	Referensyta 3			100					
640 mm	4,12	4,08	4,02						
670 mm	4,16	4,12	4,00						
700 mm	4,02	4,08	4,00						

Beräkning skikt:			
	Rör 1	3 spår	total längd
	referensyta 1		
	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår
25 mm	3,98	4,18	4,06
50 mm	4,1	4,12	4,1
75 mm	4,1	4,14	4,14
	Referensyta 2		
340 mm	4,1	4,1	4,1
365 mm	3,98	4,1	4,06
390 mm	4,06	4,12	4,16
	4,053333333	4,126667	4,103333333
	Beläggning 1 #1/625		
145 mm	6,06	6,22	6,28
200 mm	6,18	6,42	6,3
255 mm	6,48	6,38	6,48
300 mm	6,48	6,56	6,68
	6,3	6,395	6,435
			medel
Skikt:	2,246666667	2,268333	2,331666667 2,282222222
	Beläggning 2 #2/625		
445 mm	6,28	6,3	6,38
490 mm	6,14	6,34	6,38
535 mm	6,28	6,44	6,46
570 mm	6,32	6,38	6,5
	6,255	6,365	6,43
	Referensyta 3		
640 mm	4,12	4,08	4,02
670 mm	4,16	4,12	4
700 mm	4,02	4,08	4
	Referensyta 2		
340 mm	4,1	4,1	4,1
365 mm	3,98	4,1	4,06
390 mm	4,06	4,12	4,16
	4,073333333	4,1	4,056666667
			medel
Skikt	2,181666667	2,265	2,373333333 2,273333333

PROV CER2_10A_F OCH DGL_10A_F

Mätning av rör 2017-11-16			
DM			
7P02312	Beläggning	Mätinstrument	BX62113
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan 1 Röränd	1000	Börjar mäta från spåret. Referensyta 1 är på bilden
	Rör SBB Energy	0 grader	+30 grader från högst spår
	Beläggning 1 DGL+CER		
250	4,04	4,04	4,02
300	4,06	4,04	4,06
350	4,08	4,08	4,04
400	4,04	4,08	4,02
	Beläggning 2 CERx2		
600	4,08	4,08	4,04
650	4,06	4,06	4,04
700	4,02	4,04	4,00
750	4,02	4,02	4,00
	Referensyta 1		
50	4,00	4,00	3,94
150	3,98	3,98	4,96
	Referensyta 2		
480	3,94	4,00	3,96
530	3,96	4,00	3,94
	Referensyta 3 (3 spår)		
850	3,96	3,94	3,96
950	3,94	3,92	3,96

tjock och röd position tittades på i tvärsnitt
blå och tjock visar position på refmätning efter expo

2019-05-17									
		Plats 10A							
	Rör SBB Energy	0 grader	0 grader	efter-innan	avskrapad efter pannan				
	Beläggning 1 DGL+CER	efter pannan	innan pannan	skillnad	0grader				
	250	5,1	4,04	1,06					
	300	7,12	4,04	3,08					
	350	7,72	4,08	3,64					
	400	5,08	4,08	1					
	Beläggning 2 CERx2								
	600	4,78	4,08	0,7					
	650	4,82	4,06	0,76					
	700	4,76	4,04	0,72					
	750	4,56	4,02	0,54					
	Referensyta 1								
	50	4,22	4	0,22					
	150	3,9	3,98	-0,08	3,85				
	Referensyta 2								
	480	4	4	0					
	530	4	4	0					
	Referensyta 3(3 spår)								
	850	3,94	3,94	0	3,8				
	950	4,4	3,92	0,48					
	tjock och röd position tittades på i tvärnitt								

uträkning medelvärde för skiktthjockleksbestämning					
	Rör SBB Enegr	0 grader	+30 grader från högst spår		
Beläggning 1 DGL+CER					
250	4,04	4,04	4,02		
300	4,06	4,04	4,06		
350	4,08	4,08	4,04		
400	4,04	4,08	4,02		
	4,055	4,06	4,035		
Beläggning 2 CERx2					
600	4,08	4,08	4,04		
650	4,06	4,06	4,04		
700	4,02	4,04	4		
750	4,02	4,02	4		
	4,045	4,05	4,02		
Referensyta 1					
50	4	4	3,94		
150	3,98	3,98	3,96		
Referensyta 2					
480	3,94	4	3,96		
530	3,96	4	3,94		
	3,97	3,995	3,95		
				medel	
DGL+CER tjocklek	0,085	0,065	0,085	0,078333	
Referensyta 2					
480	3,94	4	3,96		
530	3,96	4	3,94		
referensyta 3					
850	3,96	3,94	3,96		
950	3,94	3,92	3,96		
	3,95	3,965	3,955		
				medel	
CERx2 tjocklek	0,095	0,085	0,065	0,081667	

PROV 625L_11A_F

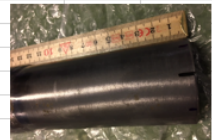
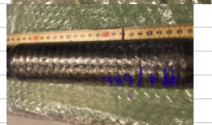
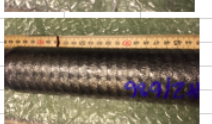
Mätning av rör	11A				
2017-11-16					
DM	Mätinstrument	BX62113			Bilderna visar i
7P02312	Beläggning	625			
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan sett från spåret högst upp på röret. Detta spår anges som 0 grader				
	Rör 1	3 spår	total längd	800 mm	
	referensyta 1			Ytans tot.längd mm	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	100	
15	4,04	4,10	4,20	215	
	Beläggning 1				
50	5,44	5,32	5,46		
100	5,24	5,22	5,34		
150	5,24	5,28	5,38		
200	5,34	5,28	5,48		
250	5,22	5,14	5,38		
	Referensyta 2			100	
280	3,96	3,88	4,06		
310	4,04	3,96	4,12		
330	4,00	4,06	4,04		
	Beläggning 2			210	
360	5,36	5,22	5,36		
400	5,16	5,20	5,30		
450	5,26	5,22	5,40		
500	5,28	5,28	5,46		
550	5,34	5,28	5,32		
	Referensyta 3			100	
620	4,08	4,08	4,24		
650	4,12	4,14	4,20		
700	4,14	4,10	4,16		
750	4,16	4,04	4,20		
blå och tjock visar position på ref mätning efter exponering					
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan sett från spåret högst upp på röret				

Beräkning skikt				
	Rör 1	3 spår	total längd	
	referensyta 1			
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
15	4,04	4,1	4,2	
	Referensyta 2			
280	3,96	3,88	4,06	
310	4,04	3,96	4,12	
330	4	4,06	4,04	
	4,01	4	4,105	
	Beläggning 1			
50	5,44	5,32	5,46	
100	5,24	5,22	5,34	
150	5,24	5,28	5,38	
200	5,34	5,28	5,48	
250	5,22	5,14	5,38	
	5,296	5,248	5,408	
				medel
skikt	1,286	1,248	1,303	1,279

	Referensyta 3				
620	4,08	4,08	4,24		
650	4,12	4,14	4,2		
700	4,14	4,1	4,16		
750	4,16	4,04	4,2		
	Referensyta 2				
280	3,96	3,88	4,06		1,279
310	4,04	3,96	4,12		1,21123
330	4	4,06	4,04		1,245115
	4,071428571	4,037142857	4,145714286		
	Beläggning 2				
360	5,36	5,22	5,36		
400	5,16	5,2	5,3		
450	5,26	5,22	5,4		
500	5,28	5,28	5,46		
550	5,34	5,28	5,32		
	5,28	5,24	5,368		
				medel	
Skikt	1,208571429	1,202857143	1,222285714	1,211238095	

	innan pannan	efter pannan	skillnad	avskrapad efter pannan
mm	0 grader	0 grader		
15	4,10	3,81	-0,29	
50	5,32	6,05	0,73	
100	5,22	5,92	0,7	
150	5,28	6,3	1,02	
200	5,28	5,6	0,32	
250	5,14	5,88	0,74	
280	3,88	4,6	0,72	
310	3,96	5,2	1,24	
330	4,06	4,48	0,42	3,56
360	5,22	5,82	0,6	
400	5,20	6,08	0,88	
450	5,22	5,71	0,49	
500	5,28	5,78	0,5	
550	5,28	6,1	0,82	
620	4,08	4,61	0,53	
650	4,14	4,72	0,58	
700	4,10	5,11	1,01	
750	4,04	6,11	2,07	

PROV 686U_11B1_F OCH 686U_11B2_F

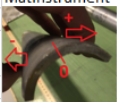
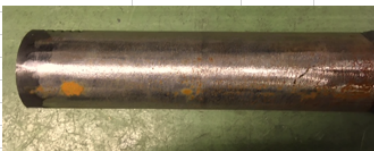
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan sett från spåret högst upp på röret							
	Bilden visar även rör nr 2 som är röret med störst vinkel							
	Rör 2	2 spår	total längd	725 mm		Ytans tot.längd mm		
	referensyta 1					105		
	-60 grader	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från	+60 grader			
25 mm	4,26	4,28	4,24	4,22	4,30			
50 mm	4,28	4,26	4,22	4,16	4,14			
75 mm	4,22	4,26	4,26	4,20	4,06			
	Beläggning 1 #1/686							
150 mm	6,58	6,58	6,36	6,54	6,34			
200 mm	6,80	6,52	6,50	6,48	6,36			
250 mm	6,64	6,54	6,54	6,42	6,36			
295 mm	6,69	6,74	6,74	6,64	6,66			
	Referensyta 2							
340 mm	4,24	4,22	4,26	4,36	4,30			
365 mm	4,22	4,24	4,24	4,28	4,14			
390 mm	4,22	4,24	4,28	4,22	4,22			
	Beläggning 2 #2/686							
450 mm	6,64	6,50	6,34	6,40	6,38			
495 mm	6,86	6,62	6,50	6,56	6,48			
530 mm	6,66	6,58	6,52	6,42	6,44			
575 mm	6,86	6,72	6,50	6,54	6,48			
	Referensyta 3							
640 mm	4,10	4,22	4,34	4,36	4,34			
670 mm	4,26	4,20	4,32	4,50	4,32			
700 mm	4,24	4,18	4,28	4,32	4,36			

Beräkning skiktjocklek:				
	Rör 1	2 spår	total längd	
	referensyta 1			
	-30 grader från högst	0 grader	+30 grader från högst spår	
25 mm	3,95	3,98	3,96	
50 mm	4,02	4,02	3,98	
75 mm	3,94	3,98	3,94	
	Referensyta 2			
340 mm	3,92	3,84	3,8	
365 mm	3,9	3,88	3,92	
390 mm	3,96	3,92	3,82	
	3,948333333	3,936666667	3,903333333	
	Beläggning 1 #2/686			
150 mm	6,26	6,28	6,24	
200 mm	6,1	6,16	6,12	
250 mm	6,32	6,1	6,12	
300 mm	6,08	6,12	5,9	
	6,19	6,165	6,095	
				medel
skikt	2,241666667	2,228333333	2,191666667	2,220555556

	Beläggning 2 #1/686			
455 mm	6,14	6,18	6,36	
495 mm	6,16	6,2	6,2	
530 mm	6,36	6,3	5,98	
575 mm	6,04	6,16	6,16	
	6,175	6,21	6,175	
	Referensyta 3			
640 mm	3,94	3,98	3,94	
670 mm	3,94	4,02	3,96	
700 mm	3,94	3,94	4	
	Referensyta 2			
340 mm	3,92	3,84	3,8	
365 mm	3,9	3,88	3,92	
390 mm	3,96	3,92	3,82	
	3,933333333	3,93	3,906666667	
				medel
skikt	2,241666667	2,28	2,268333333	2,263333333

2019-05-17	Plats	11B		
		2 spår		
	Rör 2	total längd	725 mm	
				efter - innan
referensyta 1		efter pannan	innan pannan	skillnad
		0 grader	0 grader	
25 mm		4,02	4,24	-0,22
50 mm		4,02	4,22	-0,2
75 mm		4,1	4,26	-0,16
Beläggning 1 #1/686				
150 mm		6,76	6,36	0,4
200 mm		6,72	6,5	0,22
250 mm		7,02	6,54	0,48
295 mm		7,04	6,74	0,3
Referensyta 2				
340 mm		3,96	4,26	-0,3
365 mm		4,12	4,24	-0,12
390 mm		4,72	4,28	0,44
Beläggning 2 #2/686				
450 mm		6,74	6,34	0,4
495 mm		7	6,5	0,5
530 mm		7,04	6,52	0,52
575 mm		7,12	6,5	0,62
Referensyta 3				
640 mm		4,72	4,34	0,38
670 mm		3,84	4,32	-0,48
700 mm		3,74	4,28	-0,54

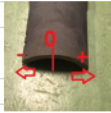
PROV 686L_11C_F

Mätning av rör 2017-11-16					
DM		Mätinstrument	BX62113		
7P02312	Beläggning		625		
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan				
	Rör 1	5 spår	total längd	495 mm	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår		
	Beläggning 1				
50	5,28	5,56	5,46		
100	5,44	5,66	5,56		
150	5,38	5,56	5,38		
200	5,36	5,54	5,38		
250	5,40	5,66	5,38		
300	5,36	5,64	5,44		
	Referensyta 2				
330	4,10	4,36	4,28		
390	4,08	4,36	4,22		
460	4,02	4,32	4,10		
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan				

Beräkning skikt:				
	Rör 1	5 spår	total längd	495 mm
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Beläggning 1			
50	5,28	5,56	5,46	
100	5,44	5,66	5,56	
150	5,38	5,56	5,38	
200	5,36	5,54	5,38	
250	5,4	5,66	5,38	
300	5,36	5,64	5,44	
	5,37	5,603333333	5,433333333	
	Referensyta 2			
330	4,1	4,36	4,28	
390	4,08	4,36	4,22	
460	4,02	4,32	4,1	
	4,066666667	4,346666667	4,2	
			medel	
skikt	1,303333333	1,256666667	1,233333333	1,264444444

2019-05-17													
Plats	11C												
	Rör 1	5 spår	total längd	495 mm					Rör 1	5 spår	total längd	495 mm	
		efter pannan								innan pannan			
mm	-30 grade	0 grader	+30 grader från högst spår		all		mm	-30 grade	0 grader	+30 grader från högst spår			
	Beläggning 1							Beläggning 1					
50	5,74	5,74	5,36				50	5,28	5,56	5,46			
100	7,7	6,16	5,66				100	5,44	5,66	5,56			
150	5,56	6,14	5,38				150	5,38	5,56	5,38			
200	5,6	5,52	6,8				200	5,36	5,54	5,38			
250	5,4	5,66	6,02				250	5,4	5,66	5,38			
300	5,6	5,7	5,44				300	5,36	5,64	5,44			
	Referensyta 2							Referensyta 2					
330	5,6	4,5	4,62				330	4,1	4,36	4,28			
390	4,9	4,36	4,94				390	4,08	4,36	4,22			
460	4,02	4,32	3,9				460	4,02	4,32	4,1			
		efter - innan pannan											
mm	skillnad	-30 grade	0 grader	+30 grader från högst spår									
50		0,46	0,18	-0,1									
100		2,26	0,5	0,1									
150		0,18	0,58	0									
200		0,24	-0,02	1,42									
250		0	0	0,64									
300		0,24	0,06	0									
330		1,5	0,14	0,34									
390		0,82	0	0,72									
460		0	0	-0,2									

PROV 53606_12A_F

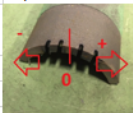
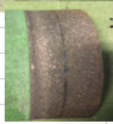
Mätning av rör 2017-11-16				
DM		Mätinstrument	BX62113	
7P02312	Beläggning	53606		
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan			
	Rör 1	2 spår	total längd	400
				Ytans tot.längd mm
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Referensyta 1			
15	4,10	4,16	4,12	
35	4,12	4,14	4,12	
	Beläggning 1			
80	5,24	5,24	5,22	
150	5,18	5,22	5,22	
240	5,24	5,28	5,20	
310	5,22	5,22	5,24	
	Referensyta 2			
360	4,12	4,12	4,14	
390	4,12	4,10	4,10	
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan			

Beräkning skiktjocklek:				
	Rör 1	2 spår	total längd	400
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Referensyta 1			
15	4,1	4,16	4,12	
35	4,12	4,14	4,12	
	Referensyta 2			
360	4,12	4,12	4,14	
390	4,12	4,1	4,1	
	4,115	4,13	4,12	
	Beläggning 1			
80	5,24	5,24	5,22	
150	5,18	5,22	5,22	
240	5,24	5,28	5,2	
310	5,22	5,22	5,24	
	5,22	5,24	5,22	
			medel	
skikt:	1,105	1,11	1,1	1,105

2019-05-17											
Plats	12A										
	Rör 1	2 spår	total längd	400			Rör 1	2 spår	total längd	400	
	efter pannan						innan pannan				
mm	-30 grader 0 grader		+30 grader från högst spår			mm	-30 grader 0 grader		+30 grader från högst spår		
	Referensyta 1						Referensyta 1				
15	4,1	4,16	4,12			15	4,1	4,16	4,12		
35	4,56	4,14	4,3			35	4,12	4,14	4,12		
	Beläggning 1						Beläggning 1				
80	6,18	5,66	6,84			80	5,24	5,24	5,22		
150	6,3	5,82	7,2			150	5,18	5,22	5,22		
240	6,5	6,04	9,22			240	5,24	5,28	5,2		
310	6,38	6,08	5,56			310	5,22	5,22	5,24		
	Referensyta 2						Referensyta 2				
360	4,12	4,12	4,38			360	4,12	4,12	4,14		
390	4,12	4,1	4,28			390	4,12	4,1	4,1		
	skillnad										
	efter-innan pannan										
mm	-30 grader 0 grader		+30 grader från högst spår								
15	0	0	0								
35	0,44	0	0,18								
80	0,94	0,42	1,62								
150	1,12	0,6	1,98								
240	1,26	0,76	4,02								
310	1,16	0,86	0,32								
360	0	0	0,24								
390	0	0	0,18								

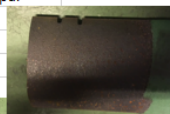
uträkning medelvärde för skiktthockleksbestämning				
Beläggning 1				
300	4,32	4,4	4,36	
400	4,36	4,4	4,4	
500	4,38	4,42	4,38	
600	4,38	4,38	4,4	
700	4,36	4,4	4,38	
	4,36	4,4	4,384	
Referensyta 1				
50	4,12	4,16	4,16	
150	4,12	4,18	4,18	
Referensyta 2				
850	4,12	4,2	4,18	
950	4,16	4,2	4,2	
	4,13	4,185	4,18	
				medelvärde
Skiktthocklek	0,23	0,215	0,204	0,216333

PROV 6858TA_14A_F

Mätning av rör				
2017-11-16				
DM		Mätinstrument	BX62113	
7P02312	Beläggning	68/85		
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan.			
	Rör 1	4 spår	total längd	350
				Ytans tot.längd mm
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Referensyta 1			
15	4,06	4,12	4,04	
	Beläggning 1			
50	4,90	4,88	4,84	
150	4,88	4,82	4,82	
250	4,76	4,76	4,76	
300	4,92	4,90	4,80	
	Referensyta 2			
340	4,12	4,08	4,00	
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan			

	2019-05-17							
plats	14A							
	Rör 1	4 spår	total längd		Rör 1	4 spår	total längd	
	efter pannan				innan pannan			
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår		-30 grader från högst spår	+30 grader från högst spår		
	Referensyta 1				Referensyta 1			
15	5,36	5,2	5		4,06	4,12	4,04	
	Beläggning 1				Beläggning 1			
50	4,9	5,22	5,46		4,9	4,88	4,84	
150	5,38	5,2	5,6		4,88	4,82	4,82	
250	6,48	5,44	5,54		4,76	4,76	4,76	
300	6,02	5,8	5,48		4,92	4,9	4,8	
	Referensyta 2				Referensyta 2			
340	4,12	4,16	4,12		4,12	4,08	4	
	skillnad efter- innan pannan							
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår					
15	1,3	1,16	0,96					
50	0	0,38	0,62					
150	0,5	0,38	0,78					
250	1,72	0,68	0,78					
300	1,1	1	0,68					
340	0	0,16	0,12					

PROV 6858TA_14B_F

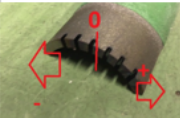
Mätning av rör					
2017-11-16					
DM		Mätinstrument	BX62113		
7P02312	Beläggning	68/58			
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan				
	Rör 1		total längd	370	
				Ytans tot.längd mm	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår		
	Referensyta 1				
15	4,18	4,10	4,12		
35	4,16	4,10	4,10		
	Beläggning 1				
100	4,76	4,76	4,80		
150	4,82	4,72	4,82		
200	4,82	4,82	4,80		
250	4,74	4,78	4,84		
300	4,84	4,86	4,80		
	Referensyta 2				
360	4,18	4,16	4,18		
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan				

Beräkning skikt:				
Rör 1	2 spår		total längd	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Referensyta 1			
15	4,18	4,1	4,12	
35	4,16	4,1	4,1	
	Referensyta 2			
360	4,18	4,16	4,18	
	4,173333333	4,12	4,133333333	
	Beläggning 1			
100	4,76	4,76	4,8	
150	4,82	4,72	4,82	
200	4,82	4,82	4,8	
250	4,74	4,78	4,84	
300	4,84	4,86	4,8	
	4,796	4,788	4,812	
				medel
skikt	0,622666667	0,668	0,678666667	0,656444444

Beräkning skikt:				
	Rör 1	4 spå	total längd	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Referensyta 1			
15	4,06	4,12	4,04	
	Referensyta 2			
340	4,12	4,08	4	
	4,09	4,1	4,02	
	Beläggning 1			
50	4,9	4,88	4,84	
150	4,88	4,82	4,82	
250	4,76	4,76	4,76	
300	4,92	4,9	4,8	
	4,865	4,84	4,805	
				medel
skikt	0,775	0,74	0,785	0,766666667

	2019-05-17							
	Plats	14B						
	Rör 1	2 spår	total längd	370		Rör 1	2 spår	total längd
	efter pannan					innan pannan		
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår			-30 grade 0 grader	+30 grader från högst spår	
	Referensyta 1					Referensyta 1		
15	4,08	4,1	4,3			4,18	4,1	4,12
35	4,04	4,1	4,1			4,16	4,1	4,1
	Beläggning 1					Beläggning 1		
100	5,24	5,14	5,56			4,76	4,76	4,8
150	5,84	5,06	5,56			4,82	4,72	4,82
200	6,26	5,12	5,84			4,82	4,82	4,8
250	6,18	5,26	6,12			4,74	4,78	4,84
300	5,84	5,36	6,1			4,84	4,86	4,8
	Referensyta 2					Referensyta 2		
360	4,04	4,02	4,04			4,18	4,16	4,18
	efter- innan pannan							
	skillnad							
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår					
15	-0,1	0	0,18					
35	-0,12	0	0					
100	0,48	0,38	0,76					
150	1,02	0,34	0,74					
200	1,44	0,3	1,04					
250	1,44	0,48	1,28					
300	1	0,5	1,3					
360	-0,14	-0,14	-0,14					

PROV X268TA_14C_F

Mätning av rör			
2017-11-16			
DM	Mätinstrument	BX62113	
7P02312	Beläggning	65/66	
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan ader		
	Rör 1	6 spår	total längd 360
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår
	Referensyta 1		
15	4,06	4,12	4,04
	Beläggning 1		
50	4,90	4,88	4,68
150	4,88	4,96	4,96
250	4,76	4,76	4,76
300	4,92	5,02	4,80
	Referensyta 2		
350	4,16	4,16	4,00
tjock och röd position tittades på i tvärsnitt blå och tjock visar position på refmätning efter expo			
Beläggning 1 är första ytan efter referensytan sett från spåret högst upp på röret			

beräkning skiktjocklek:			
	Rör 1	6 spår	total längd
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår
	Referensyta 1		
15	4,06	4,12	4,04
	Referensyta 2		
350	4,16	4,16	4
	4,11	4,14	4,02
	Beläggning 1		
50	4,9	4,88	4,68
150	4,88	4,96	4,96
250	4,76	4,76	4,76
300	4,92	5,02	4,8
	4,865	4,905	4,8
			medel
skikt:	0,755	0,765	0,78 0,76666667

[illegible]

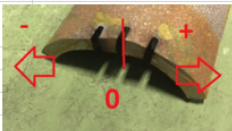
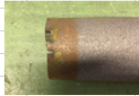
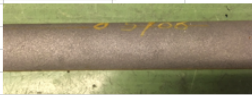
PROV X268TA_15B_F

Mätning av rör			
2017-11-16			
DM		Mätinstrument	BX62113
7P02312	Beläggning	65/66	
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan		
			
	Rör 1	total längd	375
			Ytans tot
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår
	Beläggning 1		
100	4,96	4,94	5,10
150	4,94	4,96	5,02
200	5,00	5,00	5,04
250	4,98	4,96	5,18
300	5,04	4,98	5,00
	Referensyta 1		
15	4,22	4,16	4,24
30	4,22	4,12	4,26
	Referensyta 2		
360	4,28	4,22	4,28
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan		

uträkning av skiktjocklek :			
	Rör 1	total längd	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår
	Beläggning 1		
100	4,96	4,94	5,1
150	4,94	4,96	5,02
200	5	5	5,04
250	4,98	4,96	5,18
300	5,04	4,98	5
	4,984	4,968	5,068
	Referensyta 1		
15	4,22	4,16	4,24
30	4,22	4,12	4,26
	Referensyta 2		
360	4,28	4,22	4,28
	4,24	4,16666667	4,26
			medel
skikt	0,744	0,801333333	0,808
			0,784444444

2019-05-17										
	Plats:	158								
	Rör 1		total längd	375						
	efter pannan					innan pannan				
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår			-30 grade 0 grader	+30 grader från högst spår			
	Beläggning 1					Beläggning 1				
100	6,06	5,26	6,08			4,96	4,94	5,1		
150	8	5,4	6,02			4,94	4,96	5,02		
200	7,02	5,52	6,1			5	5	5,04		
250	6,26	5,38	6,12			4,98	4,96	5,18		
300	6,24	5,58	6,18			5,04	4,98	5		
	Referensyta 1					Referensyta 1				
15	4,9	4,16	4,24			4,22	4,16	4,24		
30	4,12	4,12	4,26			4,22	4,12	4,26		
	Referensyta 2					Referensyta 2				
360	3,96	4,02	4,72			4,28	4,22	4,28		
	efter-innan pannan skillnad									
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår							
100	1,1	0,32	0,98							
150	3,06	0,44	1							
200	2,02	0,52	1,06							
250	1,28	0,42	0,94							
300	1,2	0,6	1,18							
15	0,68	0	0							
30	-0,1	0	0							
360	-0,32	-0,2	0,44							

PROV 15C X268_15C_F

Mätning av rör					
2017-11-16					
DM		Mätinstrument	BX62113		
7P02312	Beläggning	65/66			
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan				
					
	Rör 1		total längd	340	
				Ytans tot.längd mm	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår		
	Referensyta 1				
10	4,12	4,06	4,16		
	Beläggning 1				
50	4,98	4,92	4,92		
100	4,98	4,92	4,94		
200	5,00	4,86	4,96		
300	5,02	4,96	5,02		
	Referensyta 2				
330	4,12	4,04	4,16		
tjock och röd position tittades på i tvärsnitt tjock och blå position skrapades av och mättes efter exponering					
	Beläggning 1 är första ytan efter referensytan				

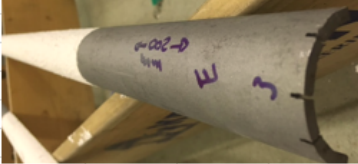
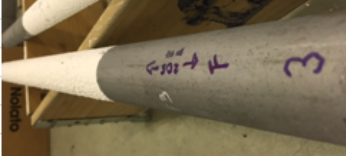
uträkning skikt tjocklek:				
	Rör 1	3 spår	total längd	
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	
	Beläggning 1			
50	4,98	4,92	4,92	
100	4,98	4,92	4,94	
200	5	4,86	4,96	
300	5,02	4,96	5,02	
	4,995	4,915	4,96	
	Referensyta 2			
330	4,12	4,04	4,16	
	Referensyta 1			
10	4,12	4,06	4,16	
	4,12	4,05	4,16	
			medel	
skikt	0,875	0,865	0,8	0,84666667

	2019-05-17								
	Plats:	15C							
	Rör 1	3 spår	total längd	340	Rör 1	3 spår	total längd	340	
	efter pannan				innan pannan				
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår	0 grader	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår		
	Referensyta 1				Referensyta 1				
10	5,02	4,88	4,48	3,95	4,12	4,06	4,16		
	Beläggning 1				Beläggning 1				
50	5,48	5,32	5,16		4,98	4,92	4,92		
100	5,52	5,46	5,52		4,98	4,92	4,94		
200	5,98	5,28	5,9		5	4,86	4,96		
300	5,32	4,98	5,28		5,02	4,96	5,02		
	Referensyta 2				Referensyta 2				
330	5,22	4,5	4,88		4,12	4,04	4,16		
tjock och röd position tittades på i tvärsnitt									
	skillnad								
	efter- innan pannan								
mm	-30 grader från högst spår	0 grader	+30 grader från högst spår						
10	0,9	0,82	0,32						
50	0,5	0,4	0,24						
100	0,54	0,54	0,58						
200	0,98	0,42	0,94						
300	0,3	0,02	0,26						
330	1,1	0,46	0,72						

PROV H1_5A_F, H3_5B_F, H4_5B_F, H3_6B_F, H4_6B_F, H3_13A_F,
H4_13A_F, H1_16A_F, H1_17B_F

[illegible]

PROV L1_8C_F, L3_10B_F, L3_15D_F, L1_16B_F, L3_17A_F, L1_18A_F

Rör D0	Refyta1	Belägg1	Refyta2	längd		skikt:	0,38
Plats: 10B	4,04	4,4	4	985			
190517	3,62	4,22	3,88				
skillnad	-0,42	-0,18	-0,12				
Rör D3							0,28
Plats: 8C	4,02	4,32	4,06	1000			
190517	3,76	4,44	3,58				
skillnad	-0,26	0,12	-0,48				
Rör E0							0,52
Plats: 15D	4,08	4,62	4,12	980			
190517	4,28	4,66	4,04				
skillnad	0,2	0,04	-0,08				
Rör E3							1,08
Plats: 18A	4,14	5,22	4,14	1001			
190517	4,1	4,9	4,56				
skillnad	-0,04	-0,32	0,42				
Rör F0							0,43
Plats: 17A	4,08	4,52	4,1	995			
190517	3,92	4,94	4,2				
skillnad	-0,16	0,42	0,1				
Rör F3							0,55
Plats: 16B	4,1	4,62	4,04	1000			
190517	4,1	4,46	4,08				
skillnad	0	-0,16	0,04				

AVANCERADE BELÄGGNINGAR TILL ÖVERHETTARTUBER FÖR MINSKAD KORROSION, EROSION OCH PÅVÄXT

Vid förbränning av avfall och biomassa frigörs bland annat tungmetaller, alkalimetaller och klorider som ger upphov till korrosiva påslag på ytor i förbränningsanläggningen.

Här har forskarna utvärderat möjligheten att använda avancerade metalliska och keramiska beläggningar i förbränningsanläggningar som en väg att minska erosion, korrosion och påväxt på överhettartuber.

Utvärderingen gällde prestandan hos ett stort antal avancerade metalliska och keramiska beläggningar genom fältförsök, provning med korrosionssond och laboratorieprovning.

Resultat vid fältförsök är att mycket låga korrosionshastigheter kan uppnås med metalliska beläggningar och att samtliga provade beläggningar fick en i förhållande till referensmaterial låg korrosionshastighet vid laboratieförsök.

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