

Kartläggning av rökgaskondenserings- anläggningar med avseende på korrosionsrisker, biobränslekvaliteter, teknik och materialval

Per-Åke Stenqvist

**Kartläggning av rökgaskondenserings-
anläggningar med avseende på korrosionsrisker,
biobränslekvaliteter, teknik och materialval**

**Study of flue gas condensers with reference to
corrosion risks, biofuel quality, techniques and
choice of material**

Per-Åke Stenqvist

M08-831

Abstract

Genom en enkätundersökning, besök vid några anläggningar samt intervjuer med driftpersonal har ett översiktligt samband kunnat belysas mellan bränsleblandningar och deras ämnesinnehåll, flygaska och kondensat ställt i relation till materialval, korrosionsrisk och teknik för rökgaskondenseringsanläggningar avsedda för bibränsleeldade pannor.

Sammanfattning

Korrosion i rökgaskondenseringsutrustningar installerade i små och medelstora (1 – 25 MW_t) bibränsleeldade panncentraler har blivit ett problem i allt fler anläggningar runt om i Sverige. En tendens tycks vara att problemen är större i de anläggningar som använder sig av s.k. terminalflis än de som nyttjar mer homogena bränslen.

I takt med det ökande antalet bibränsleeldade anläggningar i landet har även efterfrågan på billigare bränslen ökat. Via det ökande antalet bränsleterminaler förses marknaden med bibränslemixar i form av traditionell flis med inblandning av bark, grot, spån, salix, returvirke mm.

Såväl brukare som leverantörer av pann- och rökgaskondenseringsanläggningar samt bränsleleverantörer har idag inga tydliga regler eller riktlinjer för sambanden mellan olika kemiska egenskaper hos bränslen, tekniska lösningar, driftdata och materialval.

I rapporten har erfarenheter i form av enkätsvar kompletterade med studiebesök , intervju av driftpersonal och litteraturstudier sammanställts från ett antal anläggningar som använder olika typer av rökgaskondensering för ökat energiutbyte ur olika sorters bibränslen.

Målet för detta uppdrag är att kartlägga rökgaskondenseringsanläggningar i bibränsleeldade pannanläggningar med avseende på förekomst av korrosionsskador ställt i relation till använda tekniker och bränslekvaliteter.

Ett delmål är att rapporten ska kunna användas som stöd vid val av material och lämpliga tekniker för såväl nya anläggningar som vid reparation och förbättringar av befintliga.

Ett annat delmål är att sammanställa befintliga erfarenheter och bedömningskriterier som finns redovisade i litteraturen med hänvisning till olika informationskällor.

I denna rapport redovisas ett antal typiska anläggningstekniker, i förekommande fall skadebilder samt kopplingen till olika ämnen som ingår i bränslen, askor och condensat.

Underlag för rapporten utgörs av en enkät som har skickats ut till bibränsleeldade anläggningar i Sverige med rökgaskondensering där panneffekten är i spannet 1 – 25 MW_t och används genomgående för produktion av fjärrvärme.

Av rapporten framgår att anläggningar med så kallade våta elfilter är överrepresenterade vad gäller skador i form av pitting (även benämnt gropfrätning eller punktfrätning). För att denna typ av anläggning inte ska begränsas i användningen av svenska normalt förekommande bibränslen bör dessa filter vara utförda av metalliska rostfria material i lägst kvalitet EN 1.4547 (254 SMO).

För övriga trycksatta condensatberörda delar samt rökgaskanaler efter en rökgaskondensator bör materialkvaliteten vara lägst EN 1.4462 (SS 2377) för att minimera risken för korrosionsskador.

Av enkätaterialet framgår även att det råder brist på standard för vad analysrapporter ska innehålla beträffande innehållet i bränsle, flygaskor samt kondensat. Vidare saknas genomtänkta nivåer för pH i cirkulerande kondensat samt vilka pH-justerande ämnen som är lämpliga att använda.

Sammanfattningsvis rekommenderas att:

- Underlag för upphandling och konstruktion av rökgaskondenseringsanläggningar ska innehålla kompletta analyser av såväl förekommande som tänkta bränsleblandningar och flygaskor.
- Vid användning av våt elfilterteknik bör rostfritt stål av lägst kvalitet EN 1.4547 (254 SMO) användas i elfilterdelen om förväntade/beräknade bränslehalter av klor överstiger 100 mg/kgTS eller svavel överstiger 200 mg/kgTS.
- Rörledningar och rökgaskanaler för cirkulerande kondensat bör utföras i lägst EN 1.4462 (SS2377) av samma skäl som ovan.
- Stor vikt ska läggas vid placering av uttag för mätning av pH i såväl kretsar för cirkulerande kondensat som utsläpp till avlopp.
- Dosering av pH-justerande kemikalier ska utföras i och styras av mätvärden från den krets som ska regleras.
- Det rekommenderas att utrustning ska finnas för mätning av konduktivitet i kretsar för cirkulerande kondensat. Konduktivitet utgör ett mått på ”salthalt”.
- Rening av kondensat med membrantechnik bör övervägas vid nyinstallationer eller i befintliga anläggningar med ”salt-/utsläppsproblem”.

Avslutningsvis ges förslag till fortsatta forskningsuppdrag inom ämnesområdet.

Nyckelord

Rökgaskondensering, stålqualität, rostfria material, pitting, spaltkorrosion, allmätkorrosion, våta elfilter, skrubber, membrantechnik, biobränslekvalitet, sågverksflis, bark, grot, terminalflis, salix, returvirke, kondensat.

Executive Summary

Corrosion in flue gas appliances installed in small and medium sized biomass fired boiler plants has become a problem in an increasing number of sites around Sweden. A trend seems to be that the problems are greater in those plants that use so called terminal chips than those that utilize more homogeneous fuels.

In pace with the increasing number of biomass power plants in the country, the demand for cheaper fuel is increased. Through the increasing number of fuel terminals the market is provided even with biofuel mixes in the form of traditional wood chips mixed with bark, forest residue, sawdust, willow, returned wood, etc.

Both users and suppliers of boiler and flue gas systems, and fuel suppliers have currently no clear rules or guidelines for relationships between different chemical properties of fuels, technologies, operating data and material.

In this report has experience in the form of questionnaires completed by field visits, interviews of operational personnel and literature studies been compiled from a number of plants using different types of flue gas condensers for increased energy output from various types of bio fuels.

The purpose of this assignment is to survey the flue gas condensation plant in biomass-fired boiler plants for the presence of corrosion damage made in relation to the use of technologies and fuel qualities.

A milestone is that the report will be able to be used to support the selection of materials and appropriate techniques for both new facilities and for the repair and improvement of existing ones.

Another objective is to compile existing experience and assessment criteria which are reported in the literature.

This report describes some typical construction techniques, whenever applicable harmful images and links to various substances present in fuels, ash and condensate.

Basis of the report consists of a questionnaire sent out to plants in Sweden with flue gas condensation boiler where the effect is in the range of 1-25 MW_t, and is used throughout the production of district heating.

The report shows that plants with so called wet electrostatic precipitator are overrepresented in terms of pittings. In order that this type of facility not shall be limited in the use of Swedish regular bio fuels these filters should be made of metallic stainless steel materials in the lowest quality EN 1.4547 (254 SMO).

Other pressurized condensate relevant parts and flue gas channels after a flue gas condenser should as minimum be made of material quality EN 1.4462 (SS 2377) to minimize the risk of corrosion damages.

The questionnaire data also shows that there is a lack of standard for what the test reports shall include on the content of the fuel, fly ash and condensate. Also elaborated levels are missing of pH in the circulating condensate and the pH-adjusting substances which are suitable for use.

In conclusion, it is recommended that:

- Basis for procurement and construction of flue gas installations must include a complete analysis of as well occurring as thought-out fuel mixtures and fly ashes.
- When using the wet electrostatic precipitator technique stainless steel should as minimum be of quality EN 1.4547 (254 SMO) in the electrostatic parts if projected / estimated fuel concentrations of chlorine exceed 100 mg/kgTS or sulphur greater than 200 mg/kgTS.
- Pipes and flues for circulating condensate should as minimum be of quality EN 1.4462 (SS2377) for the same reasons as above.
- Emphasis should be given to the placement of the outlet for measuring the pH of both circuits of recirculating condensate and discharges to the sewer.
- Dosing of pH-adjusting chemicals should be performed in and governed by the values from the circuit to be controlled.
- It is recommended that equipment should be available for the measurement of conductivity in the circuits of recirculating condensate. Conductivity is a measure of the "salinity".
- Cleaning of condensate with membrane technology should be considered for new installations or existing installations with, "salinity-/outletproblems".

Finally, recommendations are made for further research work in this subject.

Keywords

Flue gas condensing, steel grade, stainless steel, pitting, crevice corrosion, general corrosion, wet electrostatic precipitators , scrubbers , biomass quality, sawmill chips, bark, forest residue , terminal chips, willow , recycled timber, condensate.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET	2
1.4	MÅL OCH MÅLGRUPP	2
1.5	GENOMFÖRANDE	2
2	RÖKGASKONDENSERINGSANLÄGGNINGAR OCH MATERIALVAL	4
2.1	KORTFATTAD BESKRIVNING AV ANLÄGGNINGSTYPER	4
2.2	BETECKNINGAR FÖR I RÖKGASKONDENSERINGSANLÄGGNINGAR ANVÄNDA AUSTENITISKA ROSTFRIA OCH SYRAFASTA STÅLKVALITETER	7
2.3	MEKANISMER OCH RISKER FÖR KORROSION I SAMBAND MED AUSTENITISKA ROSTFRIA OCH SYRAFASTA STÅL I RÖKGASKONDENSERINGSANLÄGGNINGAR	9
3	VANLIGT FÖREKOMMANDE BIOBRÄNSLEN	16
3.1	STAMVED	16
3.2	SPÅN	17
3.3	BARK	17
3.4	GROT	18
3.5	SALIX	18
3.6	RETURTRÄ	19
4	RESULTATREDOVISNING	20
5	RESULTATANALYS	32
6	SLUTSATSER	35
7	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	36
8	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGARBETE	38
9	LITTERATURREFERENSER	39

Bilagor

- A** ENKÄTFORMULÄR
- B** UNDERSÖKNING AV KORRODERAT RÖR (RÖKGASKANAL MED PITTINGSKADOR)
- C** BRÄNSLE- OCH ASKANALYS FÖR ANLÄGGNING NR 32

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Korrosion i rökgaskondenseringsutrustningar installerade i små och medelstora (1 – 25 MW,) bibränsleeldade panncentraler har blivit ett problem i allt fler anläggningar runt om i Sverige. En tendens tycks vara att problemen är större i de anläggningar som använder sig av s.k. terminalflis än de som nyttjar mer homogena bränslen. Med terminalflis avses en mer eller mindre väl specificerad mix av olika bibränslefraktioner.

I takt med det ökande antalet bibränsleeldade anläggningar i landet har även efterfrågan på billigare bränslen ökat. Via det ökande antalet bränsleterminaler förses marknaden med bibränslemixar i form av traditionell flis med inblandning av bark, grot, spån, salix, returvirke mm.

Tekniken för rökgaskondensering kan indelas efter två huvudprinciper:

1. Direkt värmeöverföring mellan kondenserande rökgaser och värmeupptagande vatten i trycksatta kondensorer med eller utan föregående stoftavskiljning i rökgaserna.
2. Indirekt värmeöverföring från rökgaser som bringas till kondensering genom att rökgaserna kyls genom indysning av kondensat som i sin tur kyls i fristående värmeväxlare av värmeupptagande vatten.

I båda anläggningstyperna förekommer olika rökgasreningsmetoder i form av skrubber samt torra och våta elfilter. För rening av kondensat används oftast olika kemiska fällningsmetoder (flockning) i kombination med grovavskiljning i lamellseparator och efterföljande sandbäddsfiler. pH-justering av kondensat sker i olika processteg beroende av fabrik och anläggningsutformning.

De korrosionsproblem som har noterats har förekommit i båda anläggningstyperna med övervikt för anläggningar av indirekt typ. Skador har uppträtt ibland efter mycket kort tid (mindre än en driftsäsong) men även efter ett antal års drift. I vissa fall har korrosion uppstått efter byte av bränsletyp från exempelvis sågverksflis eller bark till GROT eller s.k terminalflis. I andra fall har ändrad bränsletyp inte inneburit några problem.

I små och medelstora anläggningar är ofta hela den bibränslebaserade produktionen beroende av en pannlinje. Rökgaskondenseringsanläggningen utgör i vissa fall även en väsentlig del i reningen av rökgaserna från framför allt stoft men bidrar även i viss mån till att reducera utsläppen av kväveoxider.

Energimässigt svarar en rökgaskondensator för ca 25 – 30 % av anläggningens energiproduktion. De reparationer och driftkostnadsökningar pga korrosionskador som hittills har noterats i små och medelstora anläggningar uppgår till i storleksordningen 1 – 3 Mkr per skadetillfälle.

Inom ramen för projektet har inventerats befintliga anläggningar inom landet. Från de enkätsvar som har erhållits har de skador som förekommit och finns sammanställt i relation till respektive anläggnings utformning och konstruktion samt använda bränslen och kemikalier för pH-justering av kondensat.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Inom ramen för Värmeforsks verksamhet har redovisats ett antal rapporter som belyser grundläggande principer för rökgaskondensering [1, 2, 3].

Förutom forskningsrapporter finns Naturvårdsverkets branschfakta "Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering (utom avfallsförbränning)" [4] som överskådligt redogör för villkor, miljöproblem och tillgänglig teknik inom branschområdet som omfattas av denna Värmeforskrapport.

Under senare år har rening av kondensat från rökgaskondenseringsanläggningar med membranteknik börjat användas. Tekniken finns beskriven i några Värmeforskrapporter [4, 5]. Dock har investeringskostnaderna för denna typ hittills varit för höga för mindre och medelstora biobränsleeldade anläggningar, varför ingen av de anläggningar (104 st) som har tillfrågats i detta projekt har sådan utrustning installerad.

Tidigare forskning inom området gällande kondenserande eller "våt" rökgasmiljö har i huvudsak haft inriktning på olika materials egenskaper och förmåga att motstå korrosion förorsakad av olika kemiska ämnen [6, 7]. Metalliska och polymera material har undersökts såväl genom litteraturstudier som genom fältförsök med s.k. kuponger (materialbitar) som har exponerats för rökgaser och sprayande kondensat.

Några egentliga studier finns inte av korrosionsskador på rökgaskondenseringsanläggningar som är i drift. De erfarenheter som finns är oftast relaterade till de fall där brukaren själv, eller i vissa fall, tillsammans med en specifik leverantör av utrustningar har löst/repurerat de problem och skador som förekommit.

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Forskningsuppgiften i detta projekt har varit att kartlägga förekomsten av driftrelaterade skador i relation till teknik och materialval i rökgaskondenseringsanläggningar i mindre och medelstora pannanläggningar som eldas med biobränslen.

Som underlag för bedömning, slutsatser och rekommendationer för såväl direkta åtgärder som framtida forskningsuppdrag har uppgifter om materialval, bränsleegenskaper och teknikval samt innehåll i flygaska och kondensat som belastar kondensoranläggningar insamlats i enkätform.

1.4 Mål och målgrupp

Syftet med projektet är att rapporten ska kunna fungera som vägledning för kravspecifikationer inför upphandling och konstruktioner av rökgaskondenseringsutrustningar avsedda för mindre och medelstora biobränsleeldade pannanläggningar.

Målgrupp är konsulter, brukare, leverantörer och tillverkare.

1.5 Genomförande

Uppdraget har genomförts av Per-Åke Stenqvist, Stenqvist Installed HB. Under uppdragets genomförande har, utöver enkätsvaren, erfarenheter och synpunkter

inhämtats från ett antal personer verksamma vid anläggningar, leverantörer, tillverkare och konsulter inom Sverige.

Besök har genomförts vid två anläggningar med redovisade skador. Nr 9 som består av en hetvattenpanna av eldrörstyp om 5 MW_t försedd med okyld förugn med roster, multicyklon för stoftavskiljning samt trycklös rökgaskondensator med vått elfilter. Nr 32 som består av en ångpanna av eldrörstyp om 7,5 t/h (ca 5 MW_t) med okyld förugn med roster, multicyklon för stoftavskiljning samt trycklös rökgaskondensator med vått elfilter. Dessa anläggningar har uppvisade skador i form av pitting, spaltkorrosion, och korrosion som följd av utförda svetsningar samt allmän korrosion. De fotografier över olika skador som redovisas i denna rapport härrör från dessa anläggningar.

Besök har även genomförts vid anläggningarna 21, 34, 35 och 36 i samband med sommarstopp för att tillsammans med driftpersonalen kontrollera att inga invändiga skador funnits. Enkäterna för dessa anläggningar redovisade inga yttre synbara skador eller driftstörningar som har kunnat hänföras till korrosion. Anläggning nr 21, 35 och 36 består av hetvattenpannor av eldrörstyp om respektive 6 MW_t, 8 MW_t och 4 MW_t försedda med okylda förugnar med roster, multicykloner för stoftavskiljning samt trycksatta rökgaskondensatorer. Anläggning 34 består av en varmvattenpanna av lådtype med integrerad kyld roster om 2,5 MW_t, multicyklon för stoftavskiljning samt trycksatt rökgaskondensator.

Av intervjuer med driftpersonalen vid anläggningarna 18, 27/28 samt 30/31 har framgått att skadebilderna generellt har varit av samma typ och omfattning som i anläggning nr 9 och 32.

Ledamöter i den referensgrupp som Värmeforsk har utsett till att följa arbetet har varit Rikard Norling, Pöyry SwedPower AB, Mats Lindroth, Pöyry Sweden AB, Roger Lundberg, Mälarenergi AB och Mats Hellman, Hellman Vatten AB.

Författaren vill rikta ett stort tack till referensgruppen för goda och värdefulla råd och synpunkter under granskningsarbetet med denna rapport. Detta gäller såväl tekniskt/kemiska som redaktionella frågor.

2 Rökgaskondenseringsanläggningar och materialval

Detta avsnitt beskriver översiktligt de vanligaste typerna av rökgaskondenseringsanläggningar som har redovisats av de brukare som har besvarat den enkät som denna rapport bygger på.

Av enkätsvaren framgår att olika rostfria material har använts för rökgasberörda komponenter och anläggningsdelar. Mot bakgrund av detta är aktuella rostfria kvaliteter redovisade under avsnitt 2.2. I tabellform anges dels de nya EN-beteckningarna jämfört med de ”gamla” SS-beteckningarna samt även ASTM/AISI¹⁾-beteckningar och diverse fabrikantbeteckningar. Detta för att marknaden till dags dato ännu inte redovisar materialkvaliteter entydigt enligt gällande EN-standard.

För förtydligande har respektive materialkvalitet försetts med översiktliga ”populära” egenskapsbeskrivningar så som de används till vardags av gemene man.

I inget fall är redovisat problem med skador på kärl, cisterner, slamavskiljare etc som är utförda av polymera material. Av denna anledning behandlas ej dessa i denna rapport.

2.1 Kortfattad beskrivning av anläggningstyper

Tekniken för rökgaskondensering kan indelas efter två huvudprinciper:

1. Direkt värmeöverföring mellan kondenserande rökgaser och värmeupptagande vatten i trycksatta kondensorer med eller utan föregående stoftavskiljning i rökgaserna. Se figur 1 nedan.
2. Indirekt värmeöverföring från rökgaser som bringas till kondensering genom att rökgaserna kyls genom indysning av kondensat som i sin tur kyls i fristående värmeväxlare av värmeupptagande vatten. Se figur 2 nedan

I båda anläggningstyperna förekommer olika rökgasreningsmetoder i form av skrubber samt torra och våta elfilter.

Olika leverantörer har sina ”egna” detaljlösningar för en komplett anläggning.

För små och medelstora biobränsleeldade anläggningar har kondenseringsanläggningar med den indirekta principen på senare år blivit helt dominerande på marknaden på grund av det lägre investeringsbehovet jämfört med trycksatta anläggningar. I många fall har dessa utrustats med vått elfilter (även kallat saltspärr) för att anläggningarna ska kunna innehålla uppställda miljökrav på utsläpp till atmosfären.

För rening av kondensat används oftast olika kemiska fällningsmetoder (flockning) i kombination med grovavskiljning i lamellseparator och efterföljande sandbäddsfiler. pH-justering av kondensat sker i olika processteg beroende av fabrikat och anläggningsutformning.

1) American Society for Testing and Materials / American Iron and Steel Institute

2.1.1 Direkt värmeöverföring i trycksatt kondensator

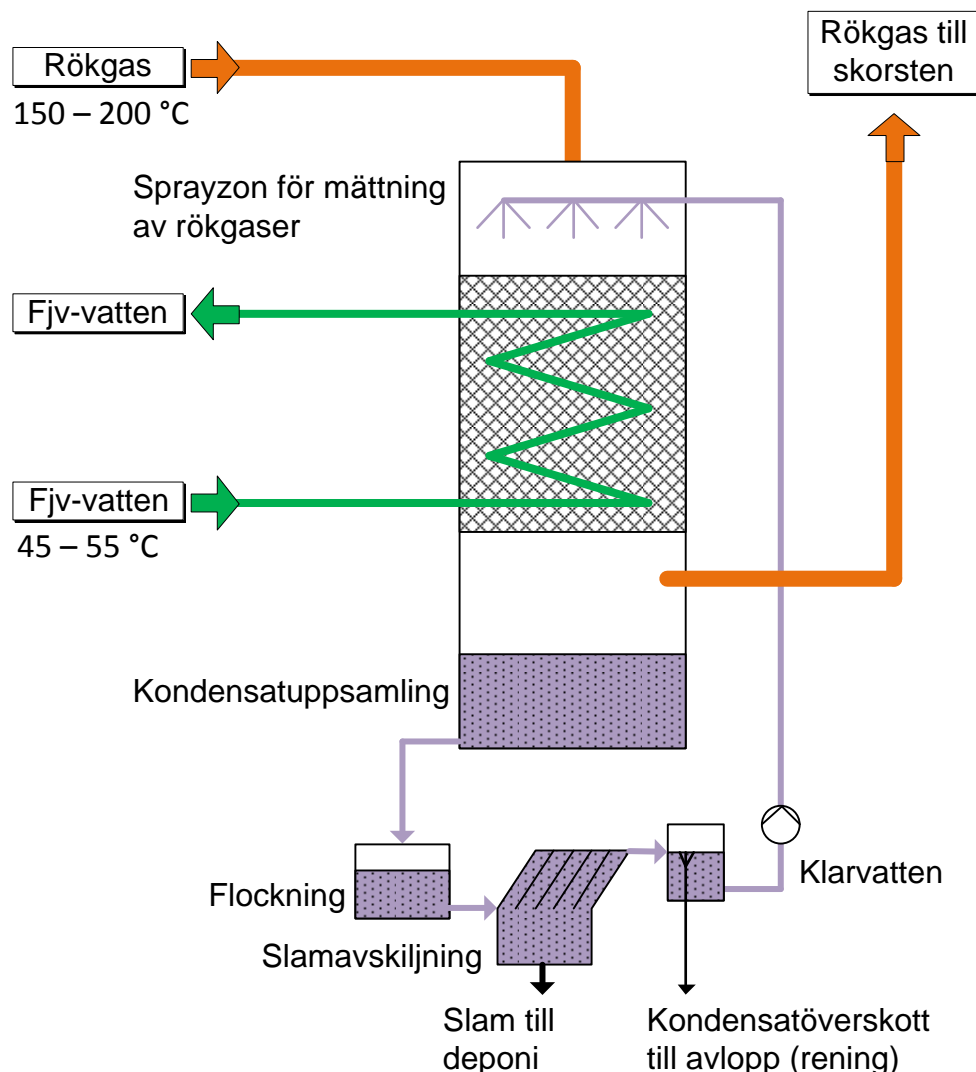


Fig. 1 Trycksatt rökgaskondensator med direkt värmeöverföring
 Fig. 1 Pressurized flue gas condenser with direct heat transfer

Rökgaser från panna med temperatur ca 150 – 200 °C renas normalt i multicyklon och i förekommande fall i textilfilter eller torrt elfilter. Beroende av stoftavskiljningsgrad i filter eller vid anläggningar utan filter görs slamavskiljning från kondensat mer eller mindre omfattande i princip enligt figuren.

De heta rökgaserna kyls i själva kondensorn, som kan ha värmeöverförande ytor i form av ”rökgastuber” eller plattväxlare. Som kylande medel används fjärrvärmevatten med en ingående temperatur av ca 45 - 55 °C.

pH-justering av kondensatet sker på lite olika ställen i kondensatkretsen beroende av olika tillverkares detaljlösningar.

Det från slam renade kondensatet pumpas till spraydysor placerade i kondensorns inloppsdel för att rökgaserna ska uppnå mättningsstillstånd för maximal värmeöverföringseffekt och samtidigt renspolning av de rökgasberörda ytorna.

2.1.2 Indirekt värmeöverföring i trycklös kondensator

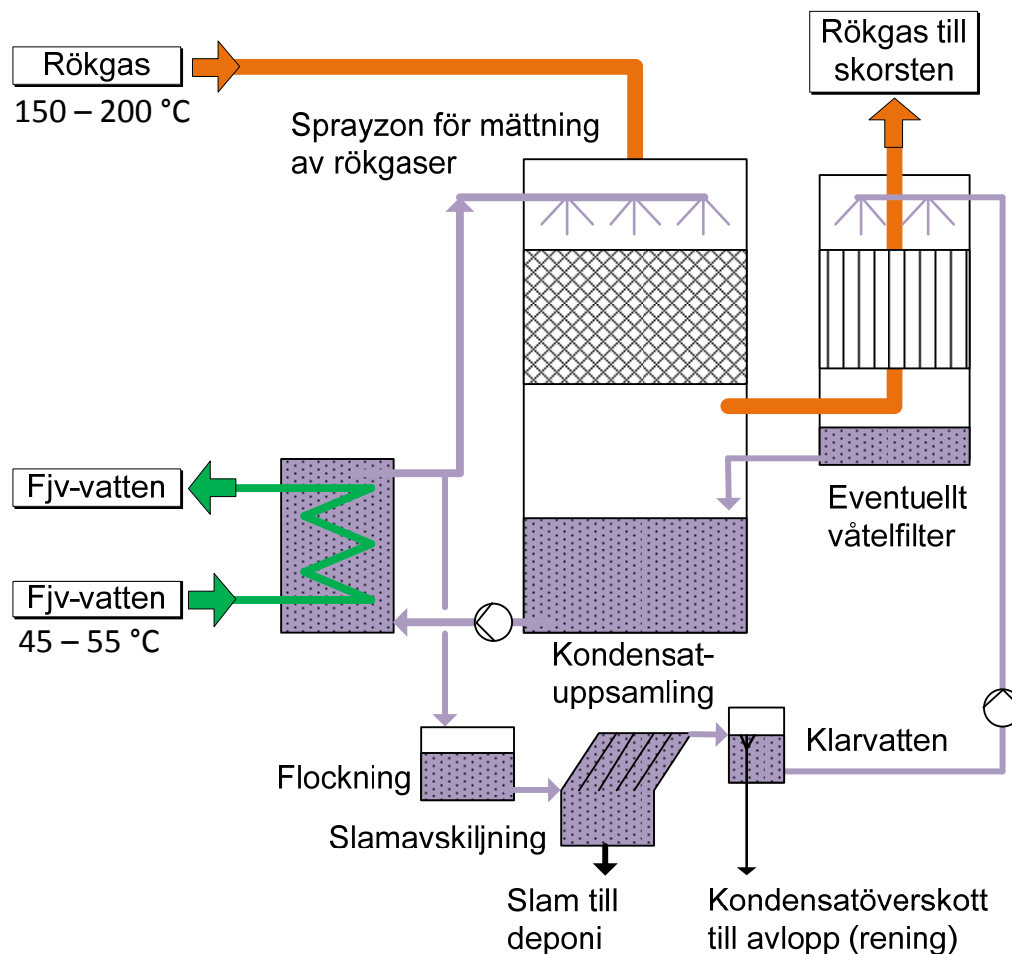


Fig. 2 Trycklös rökgaskondensator med indirekt värmeöverföring
 Fig. 2 Pressureless flue gas condenser with indirect heat transfer

Rökgaser från panna med temperatur 150 – 200 °C renas normalt i multicyclon. Genom kraftig sprayning av rökgaserna i en ”skrubberdel” tvättas rökgaserna från stoft samtidigt som ”sprayvätskan” värms upp och rökgaserna kyls ned.

Uppvärmad ”sprayvätska” samt kondenserad vattenånga från rökgaserna pumpas till en värmeväxlare där den kyls. Som kylande medel används fjärrvärmevatten med en ingående temperatur av ca 45 - 55 °C. Efter nerkyllning leds vätskan till sprayzonen för mättnings och kylning av rökgaserna från pannan. Överskottet av kondensat leds till reningsanläggning innan det släpps ut till avlopp.

pH-justering av kondensatet sker på lite olika ställen i kondensatkretsen beroende av olika tillverkarens detaljlösningar.

Beroende av krav på stoftutsläpp har i förekommande fall ett s.k. ”vått” elfilter placerats efter skrubber/kondenseringsutrustningen. I filtret passerar rökgaserna ett högspännat elektriskt fält (ca 50 kV) med negativa emissionselektroder och positiva omgivningsytor. Negativa joner fäster vid rökgasens stoftpartiklar och transporterar dessa till omgivningsytorna där de fastnar för att sedan sköljas bort av renat ”klarvatten” som sprayas i filtrets övre del.

2.2 Beteckningar för i rökgaskondenseringsanläggningar använda austenitiska rostfria och syrafasta stålqualiteter

Allt stål kan rosta under rätta förutsättningar. Så kallat rostfritt stål har en betydligt högre motståndskraft mot rostangrepp och annan korrosion än andra stål.

Rostfritt ståls motståndskraft mot korrosion beror av att stålet har legerats med krom. Då kromhalten överstiger ca 12% bildas på stålet en tunn hinna som passivt skyddar det underliggande stålet mot vidare oxidation. Ytskiktet, som består av kromoxid, är bara ett fåtal nanometer tjockt och osynligt för blotta ögat.

Om stålets yta skadas, återbildas ytskiktet mycket snabbt förutsatt att det finns syre tillgängligt i omgivningen.

Austenitiska rostfria och syrafasta stål utgör den största gruppen av rostfria stål. De har en austenitisk struktur vilket medför att de är omagnetiska och att de inte kan härddas. Stålen består av krom (12-30 %) och nickel (7-30 %) samt andra metaller, ofta molybden (2-3 %). Kolhalten i dessa stål är mycket låg, i regel under 0,05 %. Rostfritt stål av denna typ är lätt formbart. Den låga kolhalten gör att det är lättare att svetsa i än andra typer av rostfritt stål. De austenitiska rostfria stålen har därför stort användningsområde som konstruktionsstål och inom tryckkärlsområdet.

Ferrit-austenitiska rostfria stål, även kallat duplexa stål, innehåller krom (upp till 29%), nickel (5-8%), molybden (1-4%), kol under 0,03% samt kväve 0,4%. De har god korrosionsbeständighet och hög mekanisk hållfasthet och lämpar sig i miljöer med höga kloridhalter. Detta stål är ett starkare material än de austenitiska stålen och det har även en god svetsbarhet samt god formbarhet så det lämpar sig mycket bra i konstruktioner. Duplexa stål är magnetiska och ej härdbara.

Nedanstående tabell 1 redovisar rostfria och syrafasta stålqualiteter som är vanligt förekommande i rökgaskondenseringsanläggningar.

Tabell 1 Vanligt förekommande stålqualiteter i rökgaskondenseringsanläggningar
Table 1 Common used steel qualities in fluegas condensor plants

Nya EN-beteckningen	Gamla SS-beteckningen	ASTM/AISI-beteckning	Div. fabrikanterbeteckningar	Beskrivning av karaktäristiska egenskaper
EN 1.4404	SS 2348	316L	Sandvik 3R65	17/10/2 (Cr/Ni/Mo)-stål. Molybdenlegerat syrabeständigt rostfritt stål. Korrosionsbeständigheten är mycket god mot allmän korrosion och punktfrätning. EN 1.4404 har genom sin högre halt Ni och Mo god resistens mot reducerande syror. Kolhalten är låg så att interkristallin korrosion undviks vid svetsning och bearbetning. Materialkostnadsindex = 1,0

Tabell 1 Forts.
Tabel 1 Continue

EN 1.4435 / EN 1.4436	SS 2353 / SS 2343	316L 316	Sandvik 3R60	18/12/3 (Cr/Ni/Mo)-stål. Är ett molybdenlegerat syrabeständigt rostfritt stål som EN 1.4404 Materialkostnadsindex = 1,05
EN 1.4462	SS 2377	S32205	Avesta 2205 Outo- kumpu2205 Sandvik- SAF 2205	22/5/3 (Cr/Ni/Mo)-stål. Är ett ferrit-austenitiskt (duplex) rostfritt syrafast stål som förenar många av de ferritiska och austenitiska stålens goda egenskaper. Tack vare sin höga krom och molybdenhalt har stålet mycket god hårdighet mot punktfrätning och allmän korrosion. Materialkostnadsindex = 1,15
EN 1.4547	SS 2378		254 SMO	20/18/6 (Cr/Ni/Mo)-stål. Är ett syrafast stål som genom sin höga molybdenhalt erhållit mycket god korrosionsbeständighet Bland typiska användningsändamål kan nämnas värmväxlare, kylrör t.ex. i havsvatten. Även i stillastående förhållanden. Komponenter bl.a. valsar, hylsor och filter i cellulosablekerier. Detaljer i gasreningssystem samt kemiska fabriker. Materialkostnadsindex = 1,4
För information återfinns nedan beteckningar för några vanliga "rostfria" stål (förekommer dock sällan i rökgassammanhang)				
EN 1.4301	SS 2333	304	Sandvik 5R10	18/8(Cr/Ni)-stål. God hårdighet mot allmän korrosion, även höga temperaturer. 22/5/3 (Cr/Ni/Mo)-stål. Materialkostnadsindex = 0,8
EN 1.4306	SS 2352	304L		Variant av EN 1.4301 med lägre kolhalt.

Fördjupad information om rostfria stål finns att hämta från Euro Inox – The European Stainless Steel Development Association – www.euro-inox.org [14].

2.3 Mekanismer och risker för korrosion i samband med austenitiska rostfria och syrafasta stål i rökgaskondenseringsanläggningar.

(ref. Outokumpu Corrosion handbook, [7], Damstahl AB korrosionsexempel [8]).

2.3.1 Korrosion relaterat till svetsning

För att ett rostfritt ståls korrosionshårdighet skall vara fullgod måste stålytan vara ren från all oxid som bildats vid varmbearbetning, värmebehandlingar och svetsning. Vid svetsning av rostfritt stål bildas i huvudsak två typer av oxidering som utgör stor risk för korrosion. Dels s.k. anlöpning och dels s.k. sensibilisering.

Anlöpning uppstår under svetsprocessen genom att syre ges möjlighet att tränga in och skapa porösa kromoxider som utgör ett dåligt skydd mot det underliggande avkromade stålet.

Figur 3 visar karaktäristiska gulbruna eller blånade "anlöpningarna" längs en svets i rostfritt material.

För att stålets rostfria egenskaper ska bibehållas krävs att svetsskarvarna noggrant rengörs genom betning eller mekanisk bearbetning i form av slipning eller polering.

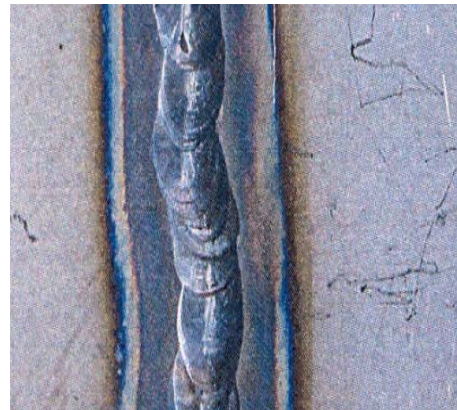


Fig. 3 Anlöpning vid svets [8]
Fig. 3 Annealing at a weld [8]

Sensibilisering (interkristallin korrosion) kan uppstå när rostfritt stål med kolhalt $>0,03\%$ skapar kromkarbider $(Fe,Cr)_{23}C_6$ genom den uppvärmning av materialet som sker vid svetsning.

Kolpartiklar som ligger i metallens korngränser "äter" bildligt upp allt krom som finns i närheten vilket leder till att ytor i och intill korngränserna blir avkromade och därmed försvagade.

Figur 4 visar exempel på korngränsfrätning p.g.a. sensibilisering.

För att minimera risken för sensibilisering kan s.k. överlegerade svets elektroder användas enligt materialproducenternas rekommendationer.

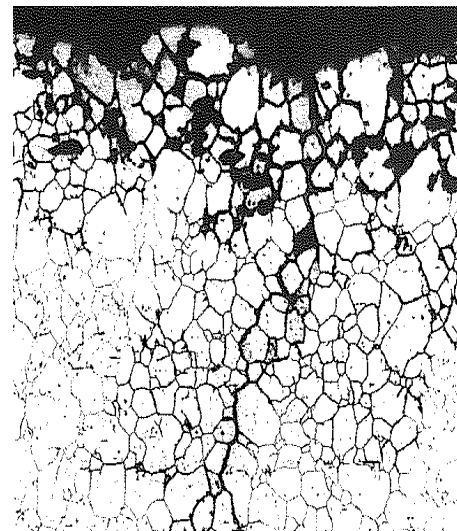


Fig. 4 Angrepp p.g.a sensibilisering [9]
Fig. 4 Intergranular corrosion attack [9]

I rök-gaskondenseringsanläggningar förekommer en stor mängd svetsning av plåtar och rördelar. Efter svetsning måste svetsen rengöras för att det rostfria stålet ska kunna återbilda det skyddande kromoxidskiktet. Oxiden kan tas bort på kemisk väg genom betning eller på mekanisk väg genom exempelvis slipning och polering.

Nedanstående figur 5 visar exempel på korrosionsangrepp, som har uppstått vid och intill svets-skarvar i rök-gasberörd del av en kondensor (anläggning nr 9).



Fig. 5 Korrosionsangrepp i anslutning till svets-skarvar. Rök-gasberörd del efter trycklös kondensor med indirekt värmeöverföring. Material EN 1.4436 (SS 2343).

Fig. 5 Corrosion attack nearby weldings. Flue gas chamber after pressureless flue gas condensor with indirect heat transfer. Material EN 1.4436 (SS 2343).

2.3.2 Allmänkorrosion

Allmänkorrosion uppstår när det passiviserande lagret har förstörts på hela eller större ytor. Varm saltsyra (HCl) i låga koncentrationer utgör en källa till allmänkorrosion. Innehåller flygaska kloridföreningar bildas tillsammans med vatten lätt saltsyra.

Figur 6 nedan visar i diagramform samband mellan HCl-koncentration, temperatur och några typiska rostfria ståls hårdighet mot korrosion.

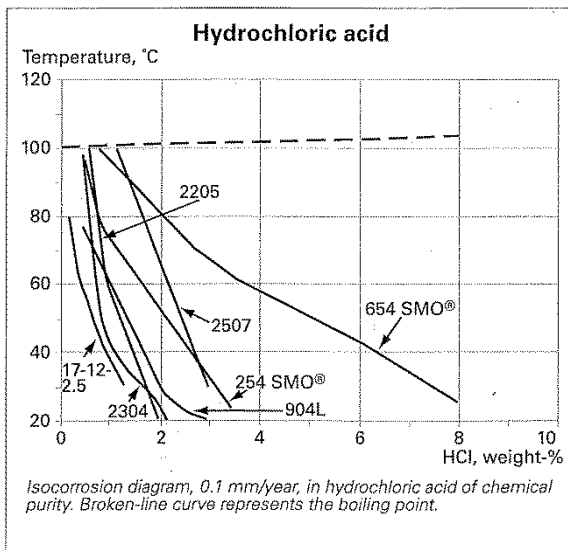


Fig. 6 Diagram över olika rostfria ståls hårdighet mot saltsyra [7]

Fig. 6 Diagram showing the resistance of stainless steel against hydrochloric acid

Figur 7 nedan visar exempel på allmänkorrosion i rökgaskanal till skorsten efter en kondenseringsanläggning (anläggning nr 9).

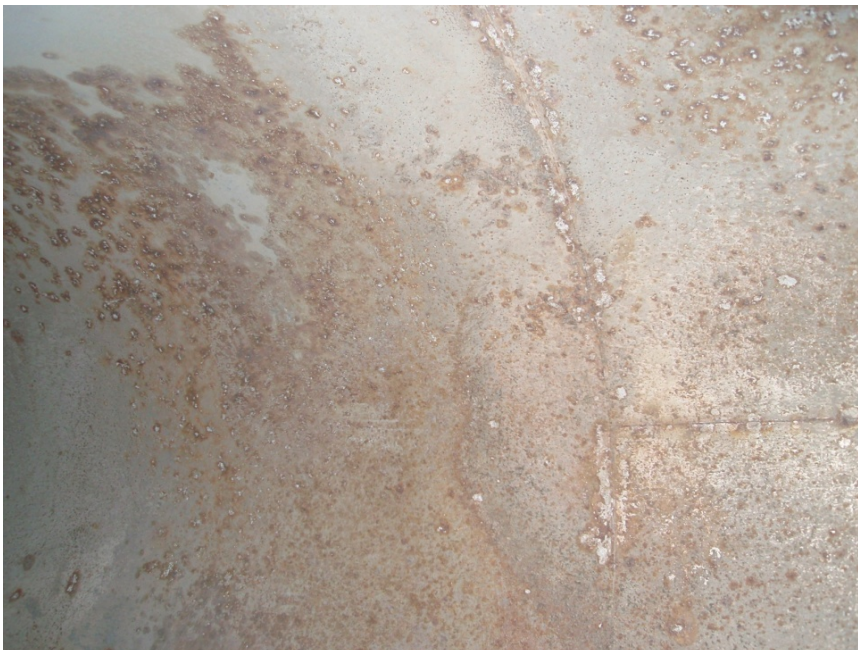


Fig 7 Allmänkorrosion i rökgaskanal till skorsten efter kondenseringsanläggning.
Material EN 1.4436 (SS 2343)

Fig.7 Uniform corrosion in fluegas channel to a chimney after a condensing plant.
Material EN 1.4436 (SS 2343)

2.3.3 Pittingkorrosion

Pitting (även benämnt gropfrätning eller punktfrätning) karakteriseras av angrepp inom små avgränsade områden och syns på ytan som små hål (figur 8). Djupare in i materialet vidgas normalt det angripna området (figur 9 utdrag ur bilaga B).



Fig. 8 Pitting sett från angripen yta [8]
Fig 8 Pitting seen from attacked surface [8]

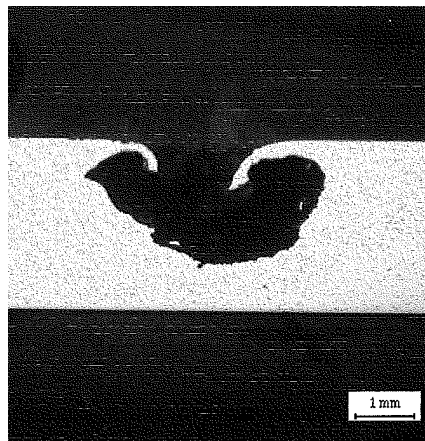


Fig. 9 Pittingskada i genomskärning
Fig 9 Pitting attack in cross section

Bilaga B redovisar ett typiskt fall av pittingskador i rökgaskanaler utförda av material EN 1.4436 (SS 2343) efter en rökgaskondensator av trycksatt typ.

Pittings uppträder huvudsakligen i rostfria material som exponerats för neutrala och sura lösningar som innehåller klorider.

Kloridjoner åstadkommer lätt lokal penetration av de rostfria stålens passiverande lager. Ett hål i den passiva filmen innebär att en galvanisk cell bildas med det frilagda stålet som offeranod och det omgivande skyddande kromoxidskiktet som katod. En stor katodyta och liten anodyta leder till en mycket hög anodströmtäthet, det vill säga en snabb korrosion hos det frilagda stålet (anoden). Därför visar sig angreppet som en grop. När stålet korroderar genererar upplösta metalljoner en miljö med lågt pH på grund av ökning av vätejoner och kloridjoner som rör sig in skadan för att balansera avgången av positiva järnjoner. Den sålunda uppkomna korrosiva ”miljön” i groparna förstärks och korrosionen ökar ytterligare vilket ofta mycket snabbt resulterar i att det går hål rakt genom en plåtvägg.

Ämnen i biobränsle som bidrar till bildande av aggressiva klorider, föreningar eller beläggningar som ökar risken för pittingkorrosion är exempelvis:

- Bly och zink som kan härstamma från målat trä, metallkonstruktioner som målats med enbart grundfärg, galvaniserade spikar och skruvar etc.
- Klor förekommer dels ”naturligt” och dels som förhöjda halter från exempelvis. Grothögar som lagrats längs saltade vägar mm.
- Kalium som även bidrar till att aska blir ”klibbig” och kan fastna på plåtväggar.
- Natrium som liksom kalium har sänkande inverkan på asksmältpunkten och bidrar till att aska blir ”klibbig”.

Figur 10 nedan visar olika rostfria ståls motståndskraft mot pitting som funktion av maximal temperatur (CPT) i en kloridlösning. Testmetoden ASTM G150 som är standardiserad finns beskriven i bl.a. Outokumpu Corrosion Handbook [7].

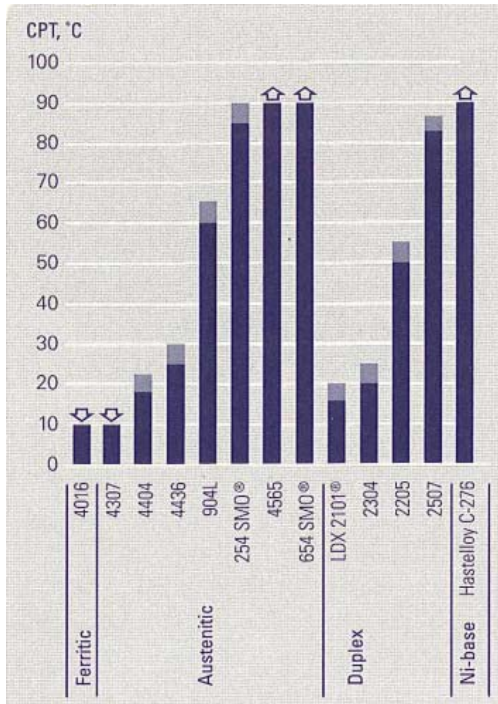


Fig. 10 Typiska CPT-värden enligt metod ASTM G150 för olika rostfria stål [7].

Fig. 10 Typical CPT-values according to ASTM G150 for different stainless steels [7].

Ytterligare en orsak som kan bidra till uppkomsten av pitting är den jonisering av rökgaserna som sker i ett vått elfilter (även kallat saltspärr i rökgaskondenserings-sammanhang). I filtret vandrar negativt laddade joner från en emissionselektrod till ett rökgasrörs väggar som utgör jordplan. På sin väg fäster jonerna vid rökgasens stoftpartiklar och tillsammans med vattendroppar avsätts dessa på rörväggen. Om den elektriska spänningsnivån eller ledningsförmågan hos rökgasen blir tillräckligt hög sker elektriskt överslag mellan emissionselektrod (figur 11) och rörvägg och den uppkomna ljusbågen bidrar till att slå hål på rörets skyddande kromoxidskikt (figur 12 visar insidan av en utskuren bit ur rörvägg med ”överslagsmärken”).



Fig. 11 Emissionselektroder i rökrör i vått elfilter (saltspärr)

Fig. 11 Emission electrode inside flue gas pipes in a wet electrostatic precipitator (salt barrier).



Fig. 12 Pitting på insida av rökrör

Fig. 12 Pitting inside a flue gas pipe

Nedanstående figurer 13 (från anläggning 9) och 14 (från anläggning 32) visar typiska skador av pitting som har penetrerat rökrören i våta elfilter.



Fig. 13 Utsida av rökrör penetrerade av pitting. Material EN 1.4436 (SS 2343)

Fig. 13 The outside of flue gas pipes penetrated by pitting. Material EN 1.4436 (SS 2343)



Fig. 14 Utsida av rökrör penetrerade av pitting. Material EN 1.4404 (SS 2348)

Fig. 14 The outside of flue gas pipes penetrated by pitting. Material EN 1.4404 (SS 2348)

2.3.4 Spaltkorrosion

Spaltkorrosion uppträder under samma förhållanden som för pittingkorrosion. Själva korrosionsförloppet startar ofta i sprickor i materialet eller under packningsmaterial där kloridhaltiga eller på annat sätt för rostfritt material aggressiva vätskor blivit stillastående.

Nedanstående figur 15 (från anläggning 32) visar en typisk skada i form av spaltkorrosion på värmeväxlare i rökgaskondenseringsanläggningar med indirekt värmeöverföring.



Fig. 15 Spaltkorrosion i värmeväxlarpåt. Material EN 1.4436 (SS 2343)

Fig. 15 Crevice corrosion attack on a plate from heat exchanger. Material EN 1.4436 (SS 2343)

Diagrammet nedan i figur 16 indikerar översiktligt sambanden mellan högsta temperatur och kloridhalt i vatten (1 ppm = 1 mg/L) och gränserna för skador i form av pitting och spaltkorrosion.

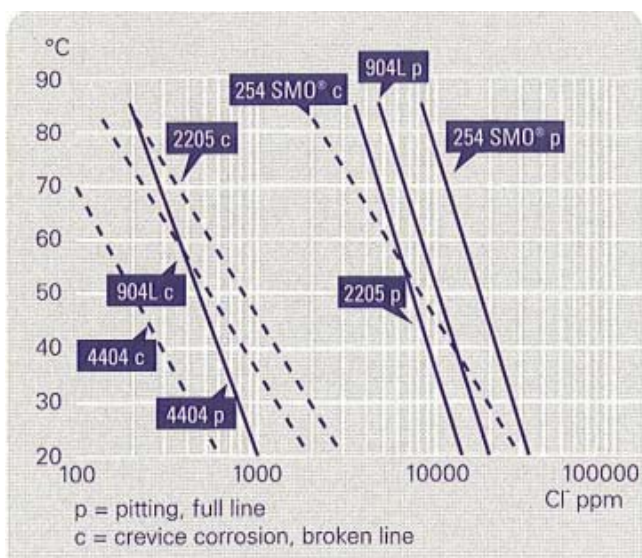


Fig. 16 Maximala temperaturer som funktion av kloridhalt för olika rostfria stålqualiteter [7]

Fig. 16 Maximum temperatures as a function of chloride concentrations for different stainless steels [7]

3 Vanligt förekommande bibränslen

Detta avsnitt beskriver översiktligt de vanligaste typerna av bibränslen med angivande av karaktäristiska normalvärden för nedanstående kemiska ämnen så som de har redovisats i enkätunderlaget. Värdena är hämtade från standardserien SS-EN 14961 Fasta biobränslen.

Cl (klor) S (svavel) erhålles ur elementaranalys för bränslen och anges standardmässigt i % torrt askfritt bränsle. För tydlighets skull har redovisade värden i denna rapport omräknats till mg/kg TS varvid $100 \text{ mg/kg} = 0,01 \%$.

Halter för övriga ämnen erhålles ur s.k. inaskade bränsleprover och anges i mg/kg torr aska.

Fördjupad och fullständig information om olika bränslens innehåll och egenskaper återfinns i dels standardserien SS-EN 14961 Fasta biobränslen [12] men även i Värmeforskrapport 911 Bränslehandboken [11].

- K (kalium) har en sänkande inverkan på askans smältpunkt vilket ökar risken för "klibbande" beläggningar på kylda ytor i såväl panna som rökgaskondensator och kanaler.
- Na (natrium) har samma egenskaper som kalium.
- Cl (klor) bidrar till bildande av olika klorider som är en av grundorsakerna till pittingsskador samt saltsyra som huvudsakligen bidrar till allmänkorrosion.
- S (svavel) kan vid understökiometrisk (reducerande miljö på grund av låga O₂-halter) förbränning bilda sulfid som är mycket aggressivt.
- Zn (zink) i förening med klor bildar aggressiv zinkklorid som kan ge pittingsskador. Hög zinkhalt i bränsle härrör vanligtvis från rivningsvirke som innehåller galvaniserat material i form av spikar, skruvar etc. men även från galvaniserad eller rostskyddsmålad utrustning som varit i kontakt med bränslet.
- Pb (bly) bidrar i likhet med zink till aggressiva klorider. Hög blyhalt i bränsle härrör vanligtvis från målat rivningsvirke. Förekommer även i plaster.

3.1 Stamved

Bränsle som har flisats direkt ute i skog. Kallas även skogsbränsle, skogsflis. Utgörs huvudsakligen av träflis med inblandning av bark, barr och löv. Är normalt ej särskilt förorenat av främmande material. Håller normalt relativt hög fukthalt 40 -50%.

Stamved från barrträd:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	400	200 – 500	
• Na	20	10 – 50	
• Cl	100	<100 – 300	
• S	200	<100 – 500	
• Zn	10	5 – 100	
• Pb	2,0	<0,5 - 10	

Stamved från lövträd:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	800	500 – 1500	
• Na	50	10 – 200	
• Cl	100	<100 – 300	
• S	200	<100 – 500	
• Zn	10	5 – 100	
• Pb	2,0	<0,5 - 10	

3.2 Spån

Spån även kallat sågspån är en restprodukt från sågverken. Styckestorleken är mellan 1 – 5 mm. Innehållet av kemiska ämnen överensstämmer i stort med stamved.

3.3 Bark

Som biobränsle används bark från såväl barrträd (coniferous wood) som från lövträd (deciduous wood). Barkning av stockar sker normalt vid sågverk. Förhöjda klorhalter kan förekomma om stockarna har transporterats med båt eller som släp i saltvatten eller bevattnats med salthaltigt vatten. Barken hanteras utomhus med lastmaskiner ofta på ej hårdgjorda ytor vilket medför risk för att grus, sten och jord kan förekomma i bränslet. Inte helt ovanligt är även att metalldelar från barkningsmaskinerna förekommer i bränslet.

Bark från barrträd:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	2000	1000 – 4000	
• Na	300	70 – 2000	
• Cl	200	<100 – 500	
• S	1000	200 - 2000	
• Zn	100	70 – 200	
• Pb	4	1 - 30	

Bark från lövträd:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	2000	1000 – 5000	
• Na	100	20 – 1000	
• Cl	200	<100 – 500	
• S	1000	200 - 2000	
• Zn	50	7 – 200	
• Pb	5	uppgifter saknas	

3.4 Grot

Grot, som är en förkortning av GRenar Och Toppar (logging residues), lagras generellt i "rishögar" sparsamt täckta med plast ute längs timmer- och allmänna vägar. Kvaliteten hos grot varierar stort beroende av hur den har lagrats, hanterats vid lastning och transport. Förhöjda halter av klorider på grund av exponering för vägsalt är inte ovanligt.

Grot från barrträd:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	2000	1000 – 4000	
• Na	200	75 – 300	
• Cl	100	<100 – 400	
• S	400	100 - 800	
• Zn		uppgifter saknas	
• Pb	3	uppgifter saknas	

Grot från lövträd:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	1500	1000 – 4000	
• Na	100	20 – 200	
• Cl	100	<100 – 200	
• S	400	100 - 800	
• Zn		uppgifter saknas	
• Pb	5	uppgifter saknas	

3.5 Salix

Salix är det latinska namnet för sälg, vide och pil. I Sverige är de vanligaste sorterna för biobränsle Korgvide (*Salix viminalis*) och vattenpil (*Salix dasyclados*) men flera nya sorter är under framtagande. Innehållet av mineraler mm är starkt beroende av på vilka marker och med vilka gödningsmedel odlingen har skett. I tillgänglig standard SS-EN 14961 benämns "energiskog" med virgin wood materials, short rotation coppice. Generellt har salix visat sig bidra till ökad risk för beläggningar på grund av den relativt höga halten av kalium.

Salix:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	3000	1700 – 4600	
• Na	uppgift saknas	10 – 450	
• Cl	300	<100 – 500	
• S	500	200 - 1000	
• Zn	70	40 - 100	
• Pb	0,1	0,1 – 0,2	

3.6 Returträ

Returträ även kallat RT-flis är beteckningen för ”återvunnet” trä, exempelvis rivningsvirke, utrangerade lastpallar mm. De viktigaste kemiska föroreningarna i returträ utgörs av ytbehandlingar samt träskyddsmedel. Zink, bly, koppar, krom och arsenik förekommer i större eller mindre grad beroende av hur utsortering och upparbetning i samband krossning av flisen har skett. Även rester av plast, betong och murbruksrester kan förekomma i bränsleblandningen. För returträ saknas uppgifter i standard över typiska värden bränslets innehåll. I Värmeforsk rapport nr 911 Bränslehandboken [11] redovisas dock analys från 12 st olika bränsleprover, vilket kan tjäna som vägledning. Utförlig genomgång av returbränslen och förekomst samt orsaker till olika typer av föroreningar finns i Värmeforsk rapport nr 732 Inventering av föroreningar i returträ [13]. Nedan angivna värden är avrundade värden.

Returträ:

	typiskt värde	typisk variation	(mg/kg TS)
• K	20 000	10000 – 26000	
• Na	14000	5800 – 19000	
• Cl	550	400 – 2200	
• S	800	400 - 2900	
• Zn	10000	2400 - 184000	
• Pb	540	140 - 28000	

4 Resultatredovisning

Efter inventering av energiverk runt om i Sverige har ett enkätformulär (bilaga A) skickats ut till 104 st anläggningar där rökgaskondenseringsanläggningar finns installerade. 32 st ”användbara” enkätsvar har erhållits. Trots påminnelse och kompletterande utskick har antalet svar inte blivit högre. Detta motsvarar inte de förväntningar som ställdes vid projektets initiering. Enkätsvaren är redovisade i nedanstående tabell.

Som framgår av svaren har ett flertal av uppgiftslämnarna ej haft tillgång till vilken materialkvalitet, som kondenseringsanläggningarna är utförda i, utan har endast svarat med rostfritt eller syrafast.

Redovisning av tillgängliga analyser för bränsle, flygaskor (som belastar kondenseringsanläggningarna) samt kondensat som används för sprayning av rökgaserna i kondensatorerna är omräknade till samma sortenheter för jämförelsens skull. Olika analyslaboratorier använder olika sorter för att redovisa ”samma” saker.

De anläggningar som är utrustade med våta elfilter efter själva skrubber/kondenseringsdelen är överrepresenterade när det gäller pittingskador. Se figurer i avsnitt 2.3.3 ovan.

I anläggningar med indirekt värmeöverföring har allvarliga skador i form av spaltkorrosion i värmeväxlare redovisats i två anläggningar 9 och 32. Se figur 15 i avsnitt 2.3.4 ovan. Trolig orsak är att citronsyra har använts för rengöring av värmeväxlarna från beläggningar.

Anläggning nr 16 (direkt värmeöverföring i trycksatt kondensator) har redovisat spaltkorrosion i den övre tubplattan. Troligen orsakad av extremt lågt pH ca 3,5 i sprayvattnet under lång tid. Efter reparation och pH-justering till ca 8,5 med hjälp av NaOH (lut) har inga ytterligare skador noterats.

I anläggningarna 9, 18 och 30 har redovisats allmänkorrosion i rökgaskanaler tillverkade i material EN 1.4436 (SS 2343). Se figur 7 i avsnitt 2.3.2 ovan.

Från anläggning nr 9 har en utskuren provbit från skadad del av det våta elfiltret analyserats. Se figur 12 i avsnitt 2.3.3. Den gulaktiga beläggningen innehöll 34,2% zink och 31,7% bly samt 2,7% sulfid vilket indikerar dels att bränslet har innehållit återvunnet material och dels att förbränningen tidvis varit understökiometrisk med sulfidbildning som följd. Ursprungsmaterialet EN 1.4436 (SS 2343) har bytts till EN 1.4547 (254 SMO) i det våta elfiltret varefter inga nya pittingskador har noterats.

Anläggning nr 30/31 har haft en tidigare kondenseringsanläggning utförd i huvudsak av material EN 1.4436 (SS 2343) med svåra pittingskador. Efter utbyte till indirekt system med vått elfilter utfört i material EN 1.4435 (SS 2353) samt material EN 1.4462 (SS 2377) i efterföljande rökgaskanaler har pittingskadorna minskat i kondensordelen och upphört i rökgaskanalerna.

I anläggning nr 32 har pittingskadorna i det våta elfiltret (material EN 1.4404 (SS 2348)) upphört sedan bränslet har bytts från terminalbränsle från ”fastlandet” till i

huvudsak ”ölandsflis”. I tabellen redovisas tillgängliga analyser från tiden då skadorna uppträdde. Bilaga C redovisar det bränsle som används idag.

Anläggning nr 35 har tidigare haft rökgaskanaler efter 2 st direkta trycksatta rökgaskondenseringsanläggningar av material EN 1.4436 (SS 2343) med svåra skador i form av pitting och allmänkorrosion. Efter byte till material EN1.4462 (SS 2377) har skadorna upphört.

Nedan följer en sammanfattande tabell 2 över de erhållna enkätsvaren. Kopplat till respektive anläggningsnummer återfinns uppgifter om eventuella skador, panntyp med termisk effekt exklusive kondensoreffekt, rökgasreningsutrustning, typ av rökgaskondenseringsanläggning, bränsletyp/mix, analys av bränsleinnehåll, analys av innehåll i flygaska, analys av kondensat, uppgifter avseende pH-justering av kondensat samt i vilket landskap respektive anläggning är lokaliserad.

Tabellen är uppbyggd så att i stigande nummerordning redovisas först de anläggningar som har korrosionsskador, en med mekaniska skador och därefter anläggningar utan skador.

I tabellen används följande förkortningar:

OFU	okylad förugn,
KFR	kylt förbränningsrum,
FB	fluidbädd,
LFV	luftförvärmning,
RÅ	rökgasåterföring,
ER	eldrörspanna (stovvattenrum, lådpanna),
VR	vattenrörspanna,
HV	hetvatten (>110°C),
VV	varmvatten (< 110 °C),
Å	ånga,
RGK	rökgaskondensator, rökgaskondenseringsanläggning
MC	multicyklon,
TEF	torrt elfilter,
VEF	vått elfilter,
IND	indirekt kyld RGK,
DIR	direkt kyld RGK

Tabell 2 Sammanställning av enkätsvar
Table 2 Summary of answers from the questionnaires

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
9	Omfattande pittingskador i elfilter, skador i plåt och rör. Spaltkorrosion i vvx.	OFU, RÅ, ER, HV, 5,0	MC	IND, VEF	1.4436 SS 2343	Mix av bark, GROT, stamved, spån	K 1700 Na 120 Cl 200 S 400	K 46 600 Cl 11 000 S 37 800	Cl 50-170	Automatisk pH 7 NaOH	Öster-götland
16	Spaltkorrosion vid lågt pH Ca 3,5 i kondensat. Korrosion har upphört vid pH >5,5	KFR, LFV, VR, HV, 18,0	MC, TEF	DIR	1.4436 SS 2343	Mix av GROT, stamved	K 2200 Na 353 Cl 200 S 300 Zn 85 Pb 1,4	K 110 000 Na 6 140 Zn 4 980 Pb 66,2	Zn 0,28 Pb 0,002	Automatisk pH 8,5 NaOH	Små-land
18	Pittingskador i inloppsdel och rökgaskanaler efter RGK	FB, RÅ, VR, Å(ÖH), 20,0	TEF	DIR	1.4436 SS 2343	Mix av 95% torv, 5% stamved		K ₂ O 7190 Na ₂ O 6140 S 8180 Zn 228 Pb 66,2	K 2,33 Na 264 Cl 136 S 335 Zn 0,08 Pb <0,006	Automatisk pH 7 NaOH	Lapp-land

Tabell 2 Forts.
 Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
27/ 28 (två anl. med sam- ma brän- sle	Pittingskador i elfilter	VR, HV, 4,0 /8,0	MC	IND, VEF	1.4436 SS2343	GROT från löv	K 1950 Na 65 Zn 11 Pb <10	K 46 600 Na 1300 Cl 894 S 2960 Zn 1,7 Pb 0,42	K 439 Na 108 Zn 6,9 Pb 0,06	Automatisk pH 6,5 NaOH	Skåne
29	Pittingskador i rörsystemet för sprayning	OFU, RÅ, VR, HV, 12,0	MC	IND, VEF	1.4436 SS2343	Mix från term. av GROT, bark, stamved, spån				Automatisk pH ? NaOH	Små-land
30 / 31 Två pan- nor med gem. RGK	Pittingskador och allmän korrosion i rökgaskanaler efter RGK	OFU, LFV, VR, HV + Å, 5,5 + 5,0	MC	IND, VEF	1.4435 SS2353	Mix av GROT, träflis, torv, PEX-plast	S 2 500	Cl 190 S 774 Zn 64 Pb 207	Cl 43 Zn 0,9 Pb 0,001	Automatisk pH 6,5 - 7 NaOH	Väst- man- land

Tabell 2 Forts.
 Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
32	Pittingskador i elfilter. Läckage och spaltkorrosion i vvx	OFU, RÅ, ER, Å, 5,0	MC	IND, VEF	1.4404 SS2348	Mix från term. av GROT, bark, stamved, spån	S 300		K 610 Na 74,3 Cl 179 S 301 Zn 18,1	Automatisk pH 6 – 6,5 NaOH	Öland
2a / 2b	Igensättningar och mekaniskt slitage I pumpar pga stoft	OFU, RÅ, ER, HV, 5,0 + 2,0	MC	IND	Rostfritt	70% stamved, 30 % bark		K ₂ O 34200 Na ₂ O 1900 Zn 2100 Pb 13,7	Zn 1,04 Pb 0,005	Manuellt pH 8, Citronsyra	Jämtland
3	Ej noterade	OFU, RÅ, ER, HV, 6,0	MC	IND	Rostfritt	Mix av stamved, GROT, Salix			Cl 13 Zn 0,14 Pb 0,0018	Automatisk pH 7 Citronsyra	Skåne
4	Ej noterade	KFR, ER, VV, 1,5	MC	IND	Rostfritt	Mix av cellulosafllis och torrflis		K 47 300 Na 8 300 Zn 7 500 Pb 140	Zn 0,52 Pb 0,00053	Ingen pH 6,5	Öland

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabell 2 Forts.

Tabell 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
5	Ej noterade	KFR, ER, VV, 3,0	MC	IND	Rostfritt	Mix av 25% lövflis och 75% sågverks flis	Cl <0,01 S <0,01		Zn 1,6 Pb 0,0025	Ingen pH 6,5	Öland
6	Ej noterade	OFU, RÅ, ER, HV, 7,0	MC	IND	Syrafast	Mix av 80% stamveds flis och 20% spån		K 74 000 Na 1 600 Zn 4 190 Pb 47		Ingen pH 6,5	Dalarna
7	Ej noterade	OFU, RÅ, ER, HV, 9,0	MC, TEF	IND	Rostfritt	Mix stamved, Spån, bark, 30 % torv		S 24 000 Zn 5 600 Pb 140		Automatisk pH 6,4 NaOH	Lapp-land

Tabell 2 Forts.
 Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
8	Ej noterade	OFU ER, HV, 4,0	MC	IND	1.4435 SS2353	Mix av gallring. från åker-och väg-kanter, RT från pallar		K 40 300 Zn 180 Pb 14	K 120 Na 8,6 Zn 5,3 Pb 0,009	Ingen pH 6,8	Häl-sing-land
10	Ej noterade	OFU, LFV, RÅ ER, HV, 7,0	MC	IND, VEF	Rostfritt	Spån				Ingen	Medel-pad
11	Ej noterade	OFU, LFV ER, VV, 1,2	MC, Textil	IND	Rostfritt	Mix av bark och stamved				Ingen	Medel-pad
12	Ej noterade	OFU, RÅ ER, VV, 7,5	MC,	IND	Rostfritt	Mix av GROT, stamved löv o barr, sågspån, Salix			Cl 150 SO ₄ 790 Zn 0,24 Pb 0,013	Manuellt pH 8 Citronsyra	Skåne

Tabell 2 Forts.
 Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
13	Ej noterade	OFU, RÅ ER, HV, 6,0	MC	IND, VEF	Rostfritt	Mix av GROT, stamved		K 45 200 Zn 120 Pb 8,4	Cl 54 Zn 0,0044 Pb 0,0005	Ingen pH 7 - 8	Skåne
14	Ej noterade	OFU, RÅ ER, HV, 5,0	MC	IND, VEF	Rostfritt	Stamved		K 25 100 Zn 1300 Pb 48	Cl 16 SO ₄ 130 Zn 0,2 Pb 0,0016	Ingen pH 7 - 7,5	Skåne
15	Ej noterade i RGK, (dock rökgas- sidig korrosion i pannans konvektions- del	OFU, LFV, RÅ ER, HV, 13,0	MC, Textil	IND	Rostfritt	Mix av GROT, stamved, ”ren” RT och spån				Automatisk pH >5 - 7 NaOH	Gotland

Tabell 2 Forts.
 Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
17	Ej noterade	OFU, RÅ ER, Å(ÖH), 10,0	MC, TEF	DIR	1.4462 SS2377	Mix av bark, stamved	K 975 Na 168 Cl 200 S 100 Zn 107 Pb 0,60			Automatisk pH >6,5 - 7 NaOH	Små-land
19	Ej noterade	OFU ER, HV, 5,8	MC	DIR	1.4436 SS2343	Stamved				Automatisk pH >6,5 NaOH	Små-land
20	Ej noterade	FB, LfV, RÅ VR, HV, 20,0	MC, Textil	DIR	Rostfritt	Mix av GROT, stamved av ek, barr och löv		K 44 000 Na 14 000 S 15 200 Zn 1 550 Pb 176	Zn 0,024 Pb 0,0006	Automatisk pH 7,1 NaOH	Små-land
21	Ej noterade	OFU, RÅ ER, HV, 6,0	MC	DIR	1.4462 SS2377	GROT	S 300	K 68 400 Na 6 400 Zn 802 Pb 105		Automatisk pH 7,5 NaOH	Upp-land

Tabell 2 Forts.
 Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
22	Ej noterade	OFU, LFV, RÅ VR, Å, 9,0	MC TEF	DIR	1.4462 SS2377	Mix av GROT, stamved, bark				Automatisk pH 4 NaOH	Små-land
23	Ej noterade	OFU, LFV, RÅ VR, HV 13,0	TEF	DIR	1.4462 SS2377	Mix av GROT, stamved, bark				Automatisk pH 6 NaOH	Norr-botten
24	Ej noterade	OFU, LFV, RÅ ER, HV, 10,0	MC, TEF	DIR	1.4462 SS2377	Mix av GROT, stamved	Cl 200 S 300	Cl 3 900 Zn 1 700 Pb 38		Automatisk pH 4 NaOH	Ble-kinge
25	Ej noterade	OFU, LFV, RÅ ER, HV, 12,0	MC, TEF	DIR	1.4462 SS2377	GROT	Cl 200 S 300	Cl 6 000 Zn 2 200 Pb 95		Automatisk pH 4,5 NaOH	Ble-kinge

Tabell 2 Forts.
 Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Lokalisering
26	Ej noterade	FB, LfV, RÅ VR, Å(ÖH), 30,0	MC, TEF	DIR	Rostfritt	Mix av GROT, stamved, bark, spån				Automatisk pH ? NaOH	Småland
34	Ej noterade	KFR, RÅ ER, VV, 2,5	MC	DIR	Rostfritt	Mix av stamved, bark				Ingen pH 7,5	Öland
35 Två identiska pann /RGK linjer	Ej noterade	OFU, RÅ ER, HV, 8,0	MC	DIR	1.4547 SS2378 (254 SMO) 1.4462 SS2377	Mix av GROT, stamved, bark, spån	Cl 200 S 200		Na 87 Zn 0,4 Pb 95	Automatisk pH 7 – 7,5 NaOH	Uppland
36	Ej noterade	OFU, RÅ ER, HV, 4,0	MC	DIR	1.4436 SS2343	Mix av Grot, bark, stamved				Automatisk pH 7 – 7,5 NaOH	Uppland

Tabell 2 Forts.

Tabel 2 Cont.

Anl. nr	Korrosions-skador	Panntyp /MW _t	Rening före RGK	RGK-typ	Mtrl i RGK	Bränsle-typ	Bränsle innehåll mg/kgTS	Flygaska innehåll mg/kgTS	Kondensat innehåll mg/L	Justering av pH i kondensat	Loka-lisering
37	Ej noterade	FB, LFV, RÅ VR, Å(ÖH), 31,5	TEF	DIR	1.4462 SS2377	Mix av Grot, bark, stamved, spån och RT-flis				Automatisk pH 5,7 NaOH och HCl	Dalarna

5 Resultatanalys

Sammanfattas enkätsvaren med avseende på materialkvalitet och redovisade skador erhålles följande:

EN 1.4436 (SS 2343):

- Allmän korrosion och pittingskador i ”våta” rökgaskanaler efter RGK
- Pittingskador i rörledningar för kondensat
- Pittingskador och spaltkorrosion i värmeväxlare
- Pittingskador i våta elfilter

EN 1.4404 (SS 2348):

- Pittingskador i rörledningar för kondensat
- Pittingskador i våta elfilter

EN 1.4462 (SS 2377):

- Spaltkorrosion i kondensatsprayad inloppsdel till kondensor vid pH ca 3,5 i kondensat.

På grund av att bränsle-, ask- och kondensatanalyser generellt sett är knapphändiga och i flera fall inte har redovisats kan inga definitivt entydiga slutsatser dras utifrån enkätsvaren. Dock kan vissa tendenser urskiljas.

Anläggningar med direkt värmeöverföring i trycksatta kondensorer är genomgående utförda i material EN1.4462 (SS2377) och EN1.4547 (SS2378 /254 SMO), som är mer beständiga mot förekommande korrosionstyper. Ingen anläggning med denna typ av kondensor har uppvisat några skador i själva kondensordelen trots relativt stora variationer i redovisade bränslesammansättningar och kvaliteter. Detta förhållande bekräftar uppgifterna i figur 10 och 16 om dessa materials egenskaper.

För anläggningar med indirekt värmeöverföring där själva skrubberdelarna varit utförda av material EN 1.4436 (SS 2343) och EN 1.4404 (SS 2348) har inte redovisats några korrosionsskador som beror av materialvalet i förhållande till bränslets sammansättning eller kvalitet. De skador som har redovisats kan hänföras till dåligt eller felaktigt utförd rengöring av svetsfogar, eventuellt i kombination med sensibilisering (se avsnitt 2.3.1 ovan) samt slitage på grund av stora stoftmängder som pumpats runt i systemet.

Den allt övervägande skadefrekvensen som har redovisats kan hänföras till pitting i anläggningar med ”våta” elfilter. Där skador förekommer har bränslena generellt en klorhalt om ca 200 mg/kgTS och kondensat har klorhalter i spannet 43 – 179 mg/L.

Anläggning 10 som eldas med sågspån från sågverk har ej noterat några skador. Anläggning 13 som eldas med en mix av GROT och stamved har ej noterat några skador trots relativt hög andel klor (54 mg/L) i kondensat.

Anläggning nr 14 som eldas med stamved har ej noterat några skador.

Anläggning nr 29 som eldas med en blandning av GROT, bark, stamved och sågspån är skadefri i själva elfilterdelen – dock saknas här uppgift om klorhalter i såväl bränsle som aska och kondensat.

Anläggning nr 30/31 som är byggd i material EN 1.4435 (SS 2353) och eldas med en mix av GROT, träflis, torv och PEX-plast (tvärbunden polyten) har inte noterat några skador i själva kondensator och elfilterdelen – däremot i efterföljande rökgaskanaler.

Som nämnts ovan (kapitel 4) har anläggning nr 9 bytt material i det våta elfiltret från EN 1.4436 (SS 2343) till EN 1.4547 (254 SMO). Bränslemix är enligt uppgift från driftpersonalen densamma som tidigare. Efter utbytet är inga nya korrosionsskador noterade efter en driftsäsong.

Anläggning nr 32 vars våta elfilter är utfört i material EN 1.4404 (SS 2348) har efter byte till bränsle med ingående halt av kalium (K) 1100 mg/kgTS, natrium (Na) <56 mg/kgTS, klor(Cl) 100 mg/kgTS och svavel (S) 200 mg/kgTS inte noterat någon fortsatt "pittingaktivitet" (bränsle- och askanalys enl. bilaga C).

Våt elfilterteknik är ursprungligen framtagen för rening av gaser inom den kemiska industrin. Gassammansättningen i dessa anläggningar är oftast relativt konstanta varför ett sådant filter får arbeta med gynnsamma förhållanden.

Ett elfilters funktion bygger på att ett högspänt elektriskt fält skapas mellan en emissionselektrod och ett "utfällningsplan" i form av en plåt eller ett rör. Potentialskillnaden mellan emissionselektroden och utfällningsplanet är anpassad så att den gas som passerar joniseras och rör sig mot utfällningsplanet varvid stoftpartiklar dras med och avsätts mot detta. Vid för hög ledningsförmåga (konduktivitet mS/m) i den passerande gasen blir det elektriska motståndet i gasen för lågt och ett elektriskt överslag i form av en ljusbåge mellan emissionselektroden och utfällningsplanet uppstår. Varje sådan ljusbåge är en källa till att förstöra det rostfria materialets skyddande kromoxidskikt.

Eftersom sammansättningen i ett biobränsle varierar inom vida gränser med olika halter av aska samt stoft- och saltbildande ämnen med därav avhängig variation i rökgasernas konduktivitet inses lätt att stora krav måste ställas på reglerfunktionen för spänningsnivåerna i elfiltret.

Som framgår av rapporterna för anläggning nr 9 och 32 där åtgärder har vidtagits för att komma till rätta med pittingskador i elfiltren samt rekommendationer i litteraturen [6 och 7] indikeras att materialkvaliteten bör vara lägst EN 1.4547 (254 SMO) om bränslekvaliteten inte kan säkerställas till nivåer runt 100 mg/kgTS för klor och 200 mg/kgTS för svavel. Kan den kvaliteten garanteras finns vissa förutsättningar för att ett vått elfilter av material EN 1.4404 (SS 2348) ska kunna klara sig mot pittingkorrosion.

För övriga delar i en anläggning så som rörledningar för kondensat samt rökgaskanaler efter en kondensator förekommer olika grader av korrosionsskador när dessa är utförda av material EN 1.4436 (SS 2343). Somliga skador har uppkommit på ställen och på sådant sätt att de inte kan hänföras till fel i samband med svetsning. Orsakerna varierar med största sannolikhet på grund av faktorer som bränslemix/kvalitet, kemikalier för pH-justering, pH-nivåer samt var i systemen dosering sker. Av enkätsvaren framgår exempelvis, att pH-nivåerna i det cirkulerande kondensatet varierar inom ett spann 4,0 – 8,5. Troligtvis kan även sulfidbildning på grund av understökiometrisk förbränning i

vissa fall ha bidragit till uppkomst av korrosion. På grund av svavel i bränsle bildas svavelsyra och salter (sulfat SO_4) som vid ”syrebrist” i rökgaser reduceras till mycket korrosiv sulfid SO_3^{2-} .

De anläggningar med rörledningar och rökgaskanaler som är byggda med material EN1.4462 (SS2377) redovisar inga korrosionsskador trots ovan nämnda variationer i den kemiska miljön.

På basis av de intervjuer som gjorts med driftpersonal, genomförda platsbesök samt studie av flödesscheman från olika anläggningar kan konstateras att anläggningar med samma principiella uppbyggnad av kondenseringsanläggningen har olika placering av mätpunkter för pH, olika ställen för dosering av pH-justerande kemikalier samt olika instruktioner om lämpliga kemikalier för dosering. I vissa anläggningar kontrolleras och doseras över huvud taget inte.

Generellt förekommer ej heller systematisk kontroll av kloridhalter. Kunskapen om olika kemiska förlopp i en kondenseringsanläggning är av ”personalekonomiska” skäl låg i mindre och medelstora anläggningar. Exempelvis har man i några fall doserat onormalt mycket lut (NaOH) i den cirkulerande kondensatkretsen för att få upp pH till 6,5 – 7,5 i det kondensat som leds till avlopp. Som tidigare har nämnts i kapitel 2.3.2 bildar klor (Cl) och vatten (H_2O) saltsyra (HCl) som är starkt pH-sänkande. Saltsyran som bildas i kondensatoranläggningens kondensat driver ut karbonat CO_3 och bikarbonat NaHCO_3 ur vattenfasen vilket i sin tur leder till att sänka pH och höja kloridhalten. Att i detta läge dosera ”mycket” lut för att höja pH leder till att även natriumklorid NaCl bildas vilket är mycket aggressivt mot rostfritt material.

Ovanstående pekar på risken med att anpassa dosering i den cirkulerande kretsen på basis av mätresultat och ”miljötillståndskrav” i det kondensat som leds till avlopp.

Det bör även noteras att zinkklorid är särskilt aggressivt i temperaturområdet 55–90 °C. Risken för skadliga nivåer av zinkklorid är i huvudsak avhängigt av om bränsle innehåller zinkhaltiga föroreningar från metalldelar, rostskyddsfärg etc.

Mot bakgrund av att träbränslen numera tenderar att levereras med lägre fukthalt än vad pannanläggningarna är dimensionerade för (att transportera vatten samtidigt som priset/ton är lägre för fuktigt bränsle är ingen god affär för bränsleleverantörerna) sker på vissa anläggningar uppfuktning av bränslet med kondensat från kondenseringsanläggningen. I vilken grad denna uppfuktning bidrar till ökning av skadliga salthalter i processen är idag inte undersökt.

På senare tid har membranteknik för rening och återvinning av kondensat blivit en etablerad teknik. Tekniken förutsätter att inte allt för mycket stoft finns med i det kondensat som ska rensas. Resultatet av reningen blir ett avsaltat kondensat som kan återföras till pannprocessen i stället för att det släpps ut till avlopp. Kostnadsnivån för denna typ av anläggning har även sjunkit så att den börjar bli intressant även för mindre och medelstora anläggningar.

6 Slutsatser

Följande slutsatser kan dras med stöd av de erhållna enkätsvaren, besöken vid några av anläggningarna samt intervjuer med driftpersonal vid ett antal anläggningar:

- Kunskapen är generellt sett låg, inom fastbränsleeldningsbranschen hos konsulter, inköpare och brukare, om risker för korrosionsskador som funktion av bränsleblandning/kvalitet och materialval i en rökgaskondenseringsanläggning.
- Förfrågningsunderlag som ligger till grund för upphandling, konstruktion och tillverkning av rökgaskondenseringsanläggningar saknar oftast uppgifter om ingående kemiska ämnen i bränsle och flygaskor. De uppgifter som normalt presenteras är fokuserade på förbränningsegenskaper och miljökrav avseende utsläpp till atmosfären och avloppssystem.
- Analysrapporter över aska och kondensat är generellt anpassade till utsläppsvillkor för allmänna miljökrav. Ämnen och föreningar som utgör risk för korrosion saknas mestadels.
- Av tillverkares anläggningsdokumentation framgår inte alltid vilka standardiserade rostfria material som har använts. Allmänna begrepp som rostfritt och syrafast är vanligt förekommande.
- I anläggningar där våt elfilterteknik används i kombination med material EN 1.4404 (SS2348), EN 1.4435 (SS2353) och EN 1.4436 (SS2343) förekommer korrosionsskador i form av pitting oavsett bränsletyp.
- Anläggningar utförda av material EN 1.4462 (SS2347) och EN 1.4547 (SS2378/254SMO) har i de rapporter som erhållits generellt ej haft några skador relaterade till teknikval eller olika bränslekvaliteter.
- Kunskapen om och tillverkares rekommendationer för lämpliga pH-nivåer och pH-justerande kemikalier är generellt varierande och ej entydigt kopplade till bränslekvaliteter/innehåll och kondensatinnehåll ställt i relation till ingående material i kondenseringsanläggningarna.
- Förbränning med låga O₂-värden innebär risk för att delar av rökgaserna har ”genererats” understökiometriskt, vilket innebär risk för att kondensoranläggningen utsätts för aggressiv sulfid.

7 Rekommendationer och användning

Föreliggande rapport kan tjäna som vägledning när det gäller att öka förståelsen för vilka risker för korrosion som kan förknippas med innehållet i olika typer av biobränslen, val av material och olika tekniker för rökgaskondenseringsanläggningar avsedda för biobränsleeldade pannor.

Rapporten redovisar om än på knappt underlag vilka halter av framför allt klor och svavel som kan leda till korrosionsskador i de aktuella typerna av anläggningar.

Bildmaterialet i rapporten kan förhoppningsvis bidra till identifiering av olika typer av korrosion som kan förekomma i en rökgaskondenseringsanläggning.

Inför upphandling, konstruktion och tillverkning av rökgaskondenseringsanläggningar rekommenderas följande:

- Bränsleblandning/kvalitet ska identifieras och specificeras genom kompletta analyser där även inaskat prov ska ingå.
- När befintliga pannanläggningar ska kompletteras med rökgaskondensering ska även flygaskans innehåll av analyseras och ligga till grund för val av teknik och stålqualiteter.
- Stor vikt ska läggas vid placering av uttag för mätning av pH i såväl kretsar för cirkulerande kondensat som utsläpp till avlopp.
- Dosering av pH-justerande kemikalier ska utföras i och styras av mätvärden från den krets som ska regleras.
- Det rekommenderas att utrustning ska finnas för mätning av konduktivitet i kretsar för cirkulerande kondensat. Konduktivitet utgör ett mått på ”salthalt”.
- Vid användning av våt elfilterteknik bör rostfritt stål av lägst kvalitet EN 1.4547 (254 SMO) användas i elfilterdelen om förväntade/beräknade bränslehalter av klor överstiger 100 mg/kgTS eller svavel överstiger 200 mg/kgTS. Inför upphandling eller reparation ställs lämpligen merkostnaderna för högre materialkvalitet (se materialkostnadsindex i tabell 1) i relation till risken för korrosionsskador och eventuella driftstopp. Priset för rostfritt material är starkt beroende av dagsaktuella krom-, nickel- och molybdenpriser varför detta behöver kontrolleras vid aktuell tidpunkt.
- Rökgaskanaler och rörledningar för cirkulerande kondensat bör utföras i lägst EN 1.4462 (SS2377) av samma skäl som ovan.
- Rening av kondensat med membranteknik bör övervägas vid nyinstallationer eller i befintliga anläggningar med ”salt-/utsläppsproblem”. Prisnivån för membranutrustning är idag intressant även för mindre anläggningar.

För anläggningar i drift rekommenderas följande:

- Regelbunden kontroll av kondensatets pH (även kalibrering av pH-mätare) samt salthalt/ledningsförmåga.
- Genomgång och uppdatering av materialspecifikationer och tillverkarnas rekommendationer för tillåtna salthalter samt rekommendationer för pH-värden samt lämpliga kemikalier för dosering.
- Upprätta rutiner för regelbunden kontroll av innehåll i bränsle och flygaska.
- Används kondensat från kondenseringsanläggningen för uppfuktning av bränsle måste salthalten i kondensatet kontrolleras och ställas i relation till bränslets kvalitet så att inte ”farlig” anrikning av korrosiva ämnen sker.

8 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Fortsatt forskningsarbete inom detta ämnesområde bör behandla:

- Identifiering av korrosionsbefrämjande ämnen och halter som kan ingå i bränslen, flygaskor och condensat. I dag finns en allmän kännedom/kunskap om i första hand klor.
- Lämpliga kemikalier för pH-justering och flockning av cirkulerande condensat i de olika anläggningstyperna.
- Lämpliga pH-nivåer relaterat till material och condensatinnehåll i cirkulerande kretsar.
- Lämpliga doseringsställen i anläggningar för rökgaskondensering.
- Fördjupning i sambandet mellan svavelhalt i bränsle och lämpliga O₂-halter i förbränningen för att undvika bildning av sulfid på grund av syreunderskott.
- Metoder och förutsättningar för uppfuktning av bränsle med condensat från kondenseringsanläggningar.

9 Litteraturreferenser

- [1] Brännlund R, ”Erfarenheter från några svenska rökgaskondenseringsanläggningar” Värmeforsk 457, December 1992.
- [2] Westermark M, ”Reningsteknik vid rökgaskondensering”, Värmeforsk 576, Augusti 1996.
- [3] F. Axby, Gustafsson J-O, Nyström J, Johansson K, ” Studie av rökgaskondensering för bibränsleeldade kraftvärmeanläggningar”, Värmeforsk 815, November 2000.
- [4] F. Axby, ”Avsaltning av varmt rökgaskondensat med membranteknik”, September 1998.
- [5] B. Goldschmidt, E Ekdahl, M. Hellman, ”utvärdering av erfarenheter av membranteknik för rening av rökgaskondensat”, februari 2009.
- [6] Naturvårdsverket, Branschfakta, ”Förbränningsanläggningar för energiproduktion inklusive rökgaskondensering (utom avfallsförbränning) –utgåva 2”, Mars 2005.
- [7] Nordling M, Bergman G, Bäck G, Jacobsson K, Pahverk H, Römhild S, ”Materialval vid rökgaskondensering”, Värmeforsk 902, December 2004.
- [8] de Pourbaix M, ”Korrosion i kondenserande rökgas. Fältförsök etapp I och II”, Värmeforsk 303, April 1988.
- [9] ”Corrosion Handbook”, Outokumpu, 10:e utgåvan, 2009.
- [10] ”Korrosionsexempel”, Damstahl AB, 2011
- [11] Strömberg, B, ”Bränslehandboken”, Värmeforsk 911, November 2004.
- [12] SS-EN 14921 – 1; 4; 5 Fasta bibränslen, SIS Förlag AB.
- [13] J Jermer, A Ekwall, C Tullin, ”Inventering av föroreningar i returträ”, Värmeforsk 732, Februari 2001.
- [14] Euro Inox – The European Stainless Steel Development Association – www.euro-inox.org

BILAGOR



Ort och datum
Kungsängen 2010-10-22

Sid: 1 av 4
Vår referens
Per-Åke Stenqvist

Enkät - Kartläggning av rökgaskondenseringsanläggningar med avseende på korrosion, biobränslekvaliteter, teknik och materialval.

Fyll i så mycket som möjligt – (om exv. uppgift om materialkvalitet saknas behöver Du inte lägga ner tid på efterforskning ange i stället tex tillverkningsnummer så kan vi spåra via tillverkaren). Om Du har flera pannlinjer, kopiera helst enkätformuläret och beskriv en linje per formulär. Svarkuvertet är frankerat för att kunna skicka ca 16 A4-sidor. Där förvalsalternativ ej finns beskriv kortfattat eller bifoga/e-posta processchema eller skärmdump från operatörssystem eller liknande.

Anläggningsbeteckning:.....

Anläggningsadress:.....

Kontaktperson/uppgiftslämnare:

Namn:.....

Telefon:.....

E-post:.....

Förbränningsanordning:

- Roster i okyld förugn
- Roster i kyld förugn/panna
- Retorteldning
- Fluidiserad bädd bubblande
- Fluidiserad bädd cirkulerande
- Annan typ av förbränningsanordning

.....

.....

Panntyp:

- Eldrörspanna i varmvattenutförande (utgående vattentemperatur < 110 °C)
- Eldrörspanna i hetvattenutförande (utgående vattentemperatur > 110 °C)
- Eldrörspanna i ångutförande
- Vattenrörspanna varmvattenutförande (utgående vattentemperatur < 110 °C)
- Vattenrörspanna i hetvattenutförande (utgående vattentemperatur > 110 °C)
- Eldrörspanna i ångutförande
- Annan typ av panna

.....

.....

Stenqvist Installed HB, Rankhusvägen 46, 196 31 KUNGSÄNGEN, Tel: 08-581 725 01, Fax: 08-581 723 11
Org.nr 916630-9212, Innehar F-skattsedel

\\Bb3\bb3-e\01 Projekt\02 Diverse\Wärmeforsk\08-831 RGK\05 Enkät\Enkätformulär.doc

sid 2(2)

Är pannan utrustad med:

- Ekonomiser
- Överhettare
- Luftförvärmare
- Rökgasåterföring

Pannans rökgasreningsutrustning består av:

- Multicyklon
- Textilfilter
- Torrt elfilter
- Vått elfilter
- Rökgasrening sker i kondenseringsanläggningen

.....

.....

- Annan typ av reningsutrustning

.....

.....

Driftdata:

Panneffekt min/max.....MW / ton ånga/h

Pannlast (konstant / varierande – ange ca %).....%

Normal inloppstemp till panna vid maxlast ca.....°C

Normal framtemp alt ångtryck från panna°C / bar

Vid överhettare normal ångtemp/tryck.....°C / bar

Normal ugn-/eldstadstemperatur ca.....°C

Normal rök gastemperatur efter panna före rök gaskondensor ca.....°C

Normal O₂-halt i rök gaser (torr alt våt).....

Normal CO- halt i rök gaser (torr alt våt, sort enligt .mätning).....

Normal NO_x-halt i rök gaser (torr alt våt, sort enligt .mätning).....

Normal stofhalt i rök gaser före rök gaskondensor.....

.....

.....

Är pannan utrustad med:

- Ekonomiser
- Överhettare
- Luftförvärmare
- Rökgasåterföring

Pannans rökgasreningsutrustning består av:

- Multicyklon
- Textilfilter
- Torrt elfilter
- Vått elfilter
- Rökgasrening sker i kondenseringsanläggningen

.....

.....

- Annan typ av reningsutrustning

.....

.....

Driftdata:

Panneffekt min/max.....MW / ton ånga/h

Pannlast (konstant / varierande – ange ca %).....%

Normal inloppstemp till panna vid maxlast ca.....°C

Normal framtemp alt ångtryck från panna°C / bar

Vid överhettare normal ångtemp/tryck.....°C / bar

Normal ugn-/eldstadstemperatur ca.....°C

Normal rök gastemperatur efter panna före rök gaskondensor ca.....°C

Normal O₂-halt i rök gaser (torr alt våt).....

Normal CO- halt i rök gaser (torr alt våt, sort enligt .mätning).....

Normal NO_x-halt i rök gaser (torr alt våt, sort enligt .mätning).....

Normal stofhalt i rök gaser före rök gaskondensor.....

.....

.....

Bilaga B


**INSTITUTET
FÖR METALLFORSKNING**

SWEDISH INSTITUTE FOR METALS RESEARCH

 Datum/
Date: 2002-09-09

 Birka Teknik & Miljö
Att. Leif Kiessling
Box 27804
115 93 Stockholm

Referensnummer: 40. 511

Undersökning av korroderat rör

Ett austenitiskt rostfritt rör med korrosionsangrepp av gropfrättningskaraktär har undersökts metallografiskt i syfte att klargöra orsaken till de uppkomna skadorna.

Metallografisk undersökning

En okulär besiktning av röret visar att skadorna initierats på rørets innervägg. Ofta har dessa lokala angrepp lett till genomfrätning av rørväggen, se bilder i bilaga 1.

Metallografiska snitt av röret med frätgropar preparerades i plast, dels för studie av frätgroparnas utbredning under ytan, se bilaga 2, dels för analys av korrosionsprodukter i groparna. Längst ner på samma bildbilaga finns en bild av ett etsat snitt, vilken visar ett grunt angrepp, varifrån små förgrenade sprickor propagerar transkristallint i det austenitiska grundmaterialet.

I bilaga 3 visas upptagna spektra från korrosionsprodukter funna i groparna. Utöver krom, järn och nickel, som härrör från grundmaterialet, förekommer svavel, klor, kalium, kalcium och zink. Det vanligaste spektrum som erhålles från frätgropar ser dock ut som spektrum nr 1 med höga halter av svavel och kalium samt lägre halt av zink.

Resultat

Skadorna, som initierats på rørets innervägg, har uppstått på grund av att det på rostfria stål normalt förekommande passivskiktet brutits ned lokalt. Halogengjoner såsom klorider är den vanligaste orsaken till denna nedbrytning. Förekommer dessutom sulfid ökar korrosiviteten avsevärt.

Utöver gropfrätningen förekommer mindre sprickbildningar, som har karaktären av transkristallin spänningskorrosion. Denna korrosionstyp uppträder huvudsakligen i kloridhaltiga medier

Med vänlig hälsning

 Institutet för Metallforskning AB
Kvantitativ Metallografi - Strukturer och egenskaper

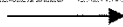
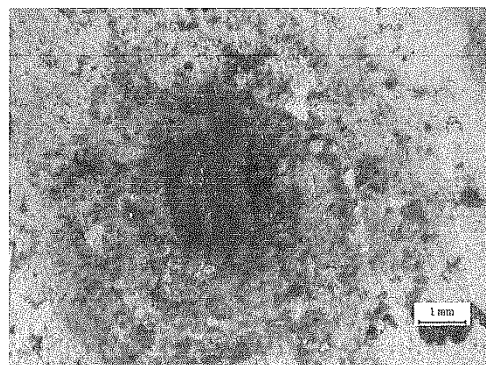
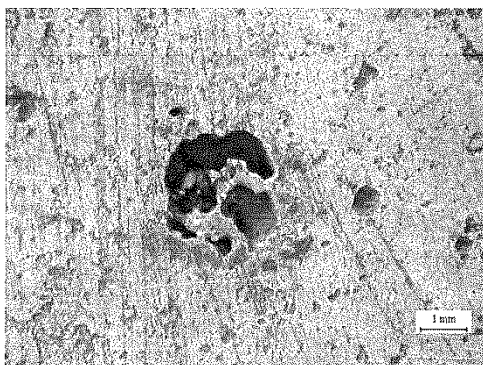
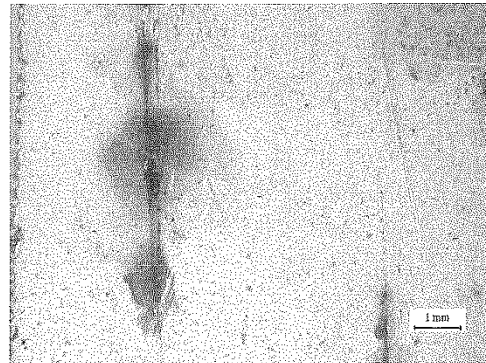
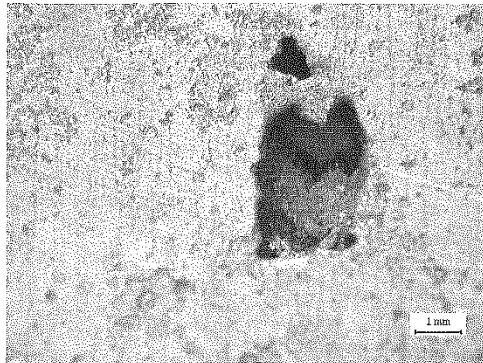
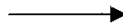
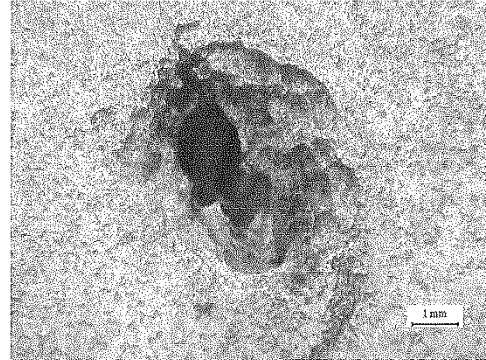
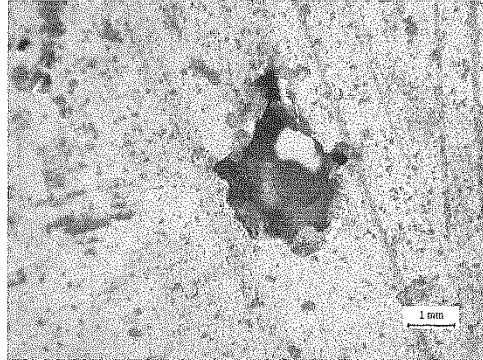
Connie Westman

Postadress/ Mailing address	Telefon/ Telephone	Telefax	Org. nr/ VAT No.	Bankgiro/ Bank giro	Postgiro/ Postal giro
Institutet för Metallforskning AB Drottning Kristinas väg 48 SE-114 28 Stockholm Sweden	Nat 08-440 48 00 Int +46 8 440 48 00	Nat 08-440 45 35 Int +46 8 440 45 35	SE 556593050901	728-4920	5 43 98-3



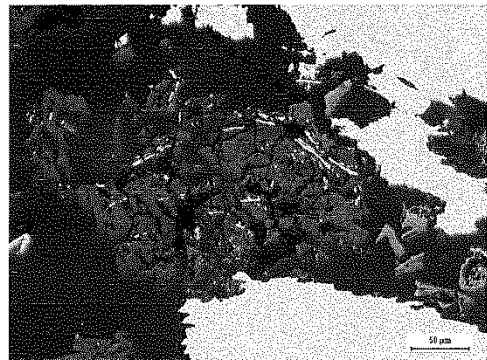
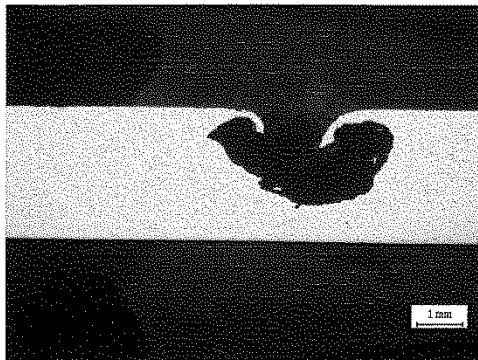
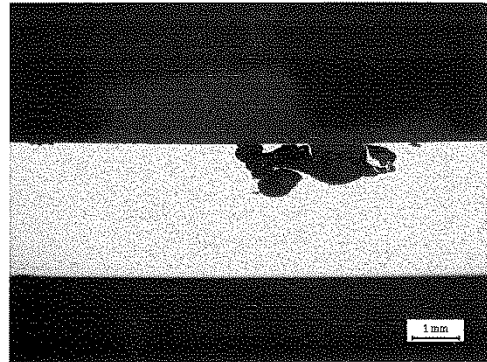
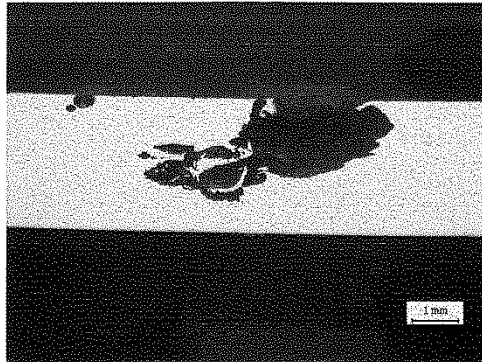
Angrepp på rörets insida

**Motsvarande angrepps utseende på
rörets utsida**



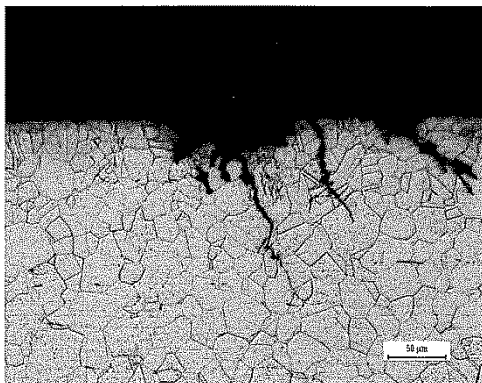


Snitt genom angripet rör

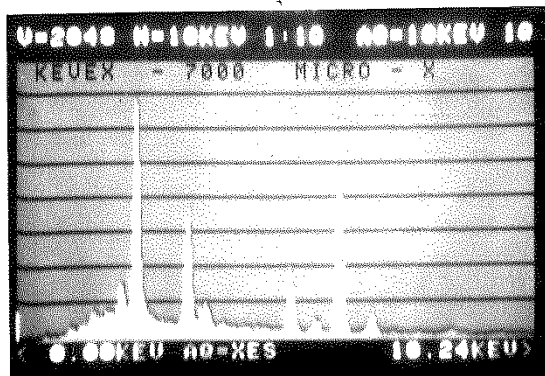


Punktangrepp

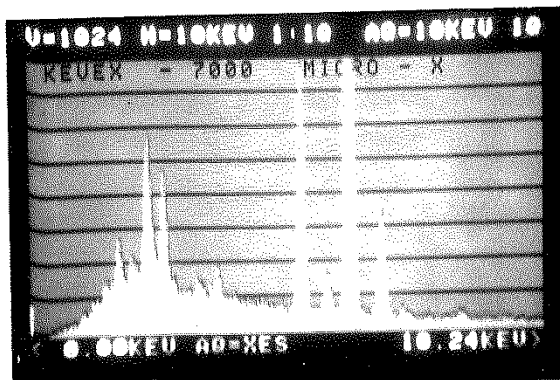
Korrosionsprodukter i punktangreppet till vänster



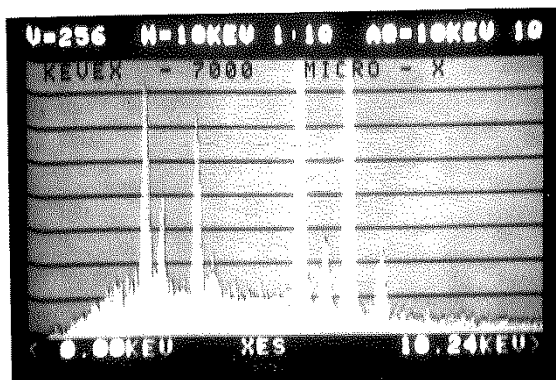
Etsat snitt av röret



P, S K Cr Fe Zn



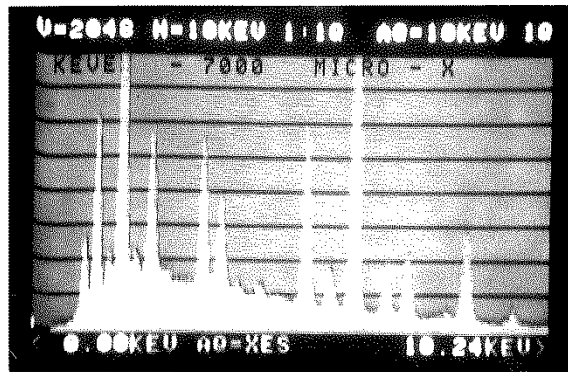
S K Cr Fe Ni Zn
Cl Ca



S K Cr Fe
Cl



S | K Cr Fe Zn
Mg Si Cl Ti Ni
Al



Na S | K Cr Fe Zn
Mg Cl Ca Ni

Bilaga C

Analysrapport



Stenqvist Installed HB
Per-Åke Stenqvist
Rankhusvägen 46
196 31 Kungsängen

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE001562-11	Sida 1 (1)
Kundnr	8483701-1843067	
Provtyp	Bränsle, energi	
	Provet ankom	2011-05-27
	Analysrapport klar	2011-06-09
Provets märkning	Borgholm, lagerbränsle	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Fukthalt	11.3	%	± 10 %	EN 14774/EN 15414	LE
Askhalt	0.79	% Ts	± 10 %	EN 14775/EN 15403	LE
Askhalt Lev. tillstånd	0.70	%	± 10 %	EN 14775/EN 15403	LE
Svavel S	0.02	% Ts	± 5 %	SS-EN15289/15408/SS187177	LE
Svavel S Lev. tillstånd	0.02	%	± 5 %	SS-EN15289/15408/SS187177	LE
Klor Cl	0.01	% Ts	± 15 %	SS-EN15289/15408/ASTM4208-02	LE
Klor Cl Lev. tillstånd	0.01	%	± 15 %	SS-EN15289/15408/ASTM4208-02	LE
Kol C	51.3	% Ts	± 5 %	SS-EN15104/15407/ASTM5373	LE
Kol C Lev. tillstånd	45.5	%	± 5 %	SS-EN15104/15407/ASTM5373	LE
Väte H	5.5	% Ts	± 10 %	SS-EN15104/15407/ASTM5373	LE
Väte H Lev. tillstånd	6.2	%	± 10 %	SS-EN15104/15407/ASTM5373	LE
Kväve N	0.25	% Ts	± 10 %	SS-EN15104/15407/ASTM5373	LE
Kväve N Lev. tillstånd	0.22	%	± 10 %	SS-EN15104/15407/ASTM5373	LE
* Syre O (beräknat)	42.1	% Ts		ASTM-D 5373	LE
* Syre O Lev.tillstånd (beräknat)	47.4	%		ASTM-D 5373	LE
* Kalium K	1100	mg/kg TS	± 10 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	LE
* Natrium Na	<56	mg/kg TS	± 30 %	NMKL161 mod.; ICP-AES	LE

Energi CEN/TS 14918/15400 ISO1928 ¹⁾	MJ/kg	Kcal/kg	MWh/ton	BTU/lb
Kalorimetriskt värmevärde				
lev. tillstånd	17.948	4290	4.984	7716
torrt prov	20.235	4836	5.619	8699
Effektivt värmevärde				
Konstant volym - lev. tillstånd	16.676	3986	4.631	7169
Konstant volym - torrt prov	19.093	4563	5.302	8208
Konstant volym - tp, askfritt	19.245	4600	5.344	8273
Konstant tryck - lev. tillstånd	16.600	3968	4.610	7137
Konstant tryck - torrt prov	19.026	4547	5.284	8179
Konstant tryck - tp, askfritt	19.178	4583	5.326	8244

1) Mätosäkerhet ±5%

Bengt Axelsson 010-490 81 52
Rapportansvarig

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.

Eurofins Environment Sweden AB, Box 737, 531 17, Lidköping, Sweden Tel: + 46 (0)10 490 8100, Web: www.eurofins.se

Analysrapport



+ Stenqvist Installed HB
Per-Åke Stenqvist
Rankhusvägen 46
196 31 Kungsängen

Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE001563-11	Sida 1 (2)
Kundnr	8483701-1843067	
Provtyp	Bränsle, energi	
	Provtagningsdatum	2011-05-27
	Provet ankom	2011-05-27
	Analysrapport klar	2011-06-16
Provets märkning	Borgholm, lagerbränsle, inaskat prov	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
* Kisel Si	33000	mg/kg Ts	± 20 %	SS-EN 14385	LE
* Kiseloxid SiO2	71000	mg/kg Ts	± 20 %	SS-EN 14385	LE
Kalcium Ca	230000	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	LE
Kalciumoxid CaO	320000	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	LE
Aluminium Al	7600	mg/kg Ts	± 25 %	EN 13656 mod.	LE
Aluminiumoxid Al2O3	14000	mg/kg Ts	± 25 %	EN 13656 mod.	LE
Järn Fe	8900	mg/kg Ts	± 25 %	EN 13656 mod.	LE
Järnoxid Fe2O3	13000	mg/kg Ts	± 25 %	EN 13656 mod.	LE
Kalium K	110000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Kaliumoxid K2O	130000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Magnesium Mg	35000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Magnesiumoxid MgO	58000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Mangan Mn	15000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Manganoxid MnO2	24000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Natrium Na	6000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Natriumoxid Na2O	8100	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Fosfor P	32000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Fosforoxid P2O5	73000	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Titan Ti	580	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Titanoxid TiO2	970	mg/kg Ts	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Antimon Sb	<5.0	mg/kg TS	± 15 %	EN 13656 mod.	LE
Arsenik As	7.7	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	LE
Bly Pb	70	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Barium Ba	3500	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	LE
Beryllium Be	<5.0	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	LE
* Bor B	470	mg/kg TS	± 20 %	SS028150-2	LE
Kadmium Cd	25	mg/kg Ts	± 30 %	EN 13656 mod.	LE
Kobolt Co	110	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	LE
Koppar Cu	440	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Koppar Cu	250	mg/kg TS	± 30 %	EN 13656 mod.	LE
* Kvicksilver Hg	<0.090	mg/kg Ts	± 25 %	SS028150-2	LE
Krom Cr	330	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	LE
Molybden Mo	<40	mg/kg Ts	± 25 %	EN 13656 mod.	LE
Nickel Ni	220	mg/kg TS	± 35 %	EN 13656 mod.	LE
Vanadin V	13	mg/kg Ts	± 25 %	EN 13656 mod.	LE

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.

Eurofins Environment Sweden AB, Box 737, 531 17, Lidköping, Sweden Tel: + 46 (0)10 490 8100, Web: www.eurofins.se

Analysrapport



Rapport utfärdad av
ackrediterat laboratorium

Report issued by
Accredited Laboratory



Journalnr	BE001563-11	Sida 2 (2)
Kundnr	8483701-1843067	
Provtyp	Bränsle, energi	

Analysnamn	Resultat	Enhet	Mäto.	Metod/ref	Ort
Tenn Sn	<5.0	mg/kg TS	± 20 %	EN 13656 mod.	LE
Zink Zn	7200	mg/kg TS	± 25 %	EN 13656 mod.	LE

Höjd detektionsgräns för metaller på grund av liten provmängd.

Höjd detektionsgräns pga liten provvolym för Hg.

Bengt Axelsson 010-490 81 52

Rapportansvarig

Förklaring till förkortningar och *, se omstående sida.

Eurofins Environment Sweden AB, Box 737, 531 17, Lidköping, Sweden Tel: + 46 (0)10 490 8100, Web: www.eurofins.se

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35