

Rapport SGC 050

KORROSION I FLEXIBLA ROSTFRIA INSATSRÖR

Ulf R C Nilsson
Mikael Näslund
Carl-Håkan Andersson

Värme- och Kraftteknik
Lunds Tekniska Högskola

December 1993

Rapport SGC 050

KORROSION I FLEXIBLA ROSTFRIA INSATSRÖR

Ulf R C Nilsson
Mikael Näslund
Carl-Håkan Andersson

Värme- och Kraftteknik
Lunds Tekniska Högskola

December 1993



SGC:s FÖRORD

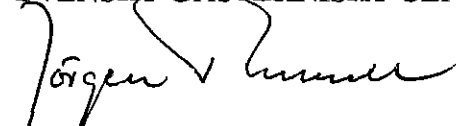
FUD-projekt inom Svenskt Gastekniskt Center AB avrapporteras normalt i rapporter som är fritt tillgängliga för envar intresserad.

SGC svarar för utgivningen av rapporterna medan uppdragstagarna för respektive projekt eller rapportförfattarna svarar för rapporternas innehåll. Den som utnyttjar eventuella beskrivningar, resultat eller data i rapporterna gör detta helt på eget ansvar. Delar av rapport får återges med angivande av källan.

En förteckning över hittills utgivna SGC-rapporter finns i slutet på denna rapport.

Svenskt Gastekniskt Center AB (SGC) är ett samarbetsorgan för företag verksamma inom energigasområdet. Dess främsta uppgift är att samordna och effektivisera intressenternas insatser inom områdena forskning, utveckling och demonstration (FUD). SGC har följande delägare: Svenska Gasföreningen, Sydgas AB, Sydkraft AB, Göteborg Energi AB, Malmö Energi AB, Lunds Energi AB och Helsingborg Energi AB.

SVENSKT GASTEKNISKT CENTER AB



Jörgen Thunell

Korrosion i flexibla rostfria insatsrör

Ulf RC Nilsson
Mikael Näslund
Carl-Håkan Andersson

dec 1993

**Kom ihåg röken alltid stiger uppåt även om
skorstenen är böjd...**

Detta arbete är finansierat av VÄRMEFORSK, projekt G1-118 och Svenskt Gastekniskt Center, SGC 91.12.

Ulf RC Nilsson är civilingenjör i maskinteknik och arbetar för närvarande på Institutionen för Värme- och Kraftteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Mikael Näslund, tekn. lic. i energihushållning, arbetar för närvarande med naturgasanvändning i byggnader vid Institutionen för Värme- och Kraftteknik, Lunds Tekniska Högskola.

Carl-Håkan Andersson är adjungerad professor vid Institutionen för Mekanisk Teknologi och Verktygsmaskiner, Lunds Tekniska Högskola.

SAMMANFATTNING

I denna rapport undersöks korrosionsproblem i rostfria insatsrör när gaseldade pannor används. Undersökningen initierades av att skador upptäckts på insatsrör. Både en analys av skador från fältet och experimentella resultat redovisas i denna rapport. Målet har varit att ge rekommendationer för både installationens utförande och pannans prestanda i syfte att undvika korrosionsproblem.

Laboratorieförsöken är gjorda med accelererade korrosionsprov för att få korrosionsskador inom loppet av dagar och veckor istället för månader eller år. Detta gjordes möjligt genom att tillsätta metylenklorid i förbränningsluften. Laboratorieförsöken gjordes på institutionen för Värme och Kraftteknik, LTH. Laboratorieuppställningen bestod av en gaspanna, tre separata skorstenar och kontrollutrustning. Pannan kördes kontinuerligt, men genom att leda avgaserna omväxlande till de tre olika skorstenarna fick varje skorsten en till/från cykel liknande den en vanlig skorsten genomgår. Daglig kontroll av pH-värdet, kloridjonskoncentrationen och om genomgående rostskador uppstått gjordes.

De fall där skador på installationer hade upptäckts och som var inrapporterade till Sydgas var till största delen på fläktgasbrännare i villor. I flertalet fall var installationerna gjorda av samma installationsfirma. I ett undersökt fall överensstämde inte installationen med de föreskrifter som fanns gällande monteringen vilket kunde leda till läckage i skarven mellan rökröret från pannan och insatsröret. Avgastemperaturerna låg i samtliga fall under 150 °C, flera låg även under 120 °C, vilket leder till att kondensation sker i skorstenen. I flera fall hade också omfattande målningsarbeten gjorts i samband med installationen av gaspannan. Förfrågningar visade att rengöringsmedel som använts för färgborttagning tidigare innehöll stora mängder metylenklorid, numera förbjudet i lag. Frågan om det tvättmedel som använts i vissa fall för invändig tvätt av skorsten före montering var orsaken togs även upp men det använda tvättmedlet var basiskt och innehöll inga ämnen som skulle kunna angripa insatsröret.

Undersökningen av konstaterade skador, litteraturstudier och experiment har givit rekommendationer för installation och drift av gaspannor när rostfria flexibla insatsrör används. Driften skall inriktas på att ingen kondensering skall ske i skorstenen om denna inte effektivt avleder allt kondensat som bildas. Det finns ingen enskild orsak till korrosionsproblemen. De orsakas av en kombination av olika omständigheter. De rekommendationer som ges inkluderar bland annat att ingen kondensering skall tillåtas i ett rostfritt korrugerat insatsrör, täthetskontroll i vissa fall och försiktighet med kemikalier, exempelvis färg och lösningsmedel, i pannans omgivning.

Sökord: korrosion, rostfritt stål, avgaser, kloridjoner

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning.....	1
Förord.....	3
1 Inledning.....	4
1.1 Bakgrund och mål.....	4
1.2 Behovet av insatsrör.....	4
1.3 Avgränsningar.....	4
2 Fältskador.....	5
2.1 Inträffade skador.....	5
2.2 Beskrivningar av drabbade installationer.....	5
2.3 Detaljerad beskrivning av installation 15.....	7
2.4 Diskussion av fältskador.....	10
2.4.1 Installationseffekter.....	10
2.4.2 Omgivningseffekter.....	11
3 Teori.....	12
3.1 Värme- och masstransport.....	12
3.2 Metallkorrosion.....	13
3.2.1 Anodprocesser.....	13
3.2.2 Katodprocesser.....	14
3.2.3 Elektrokemiska celler.....	14
3.2.4 Pourbaixdiagram.....	14
3.2.5 Polarisering.....	15
3.2.6 Effekter av ämneskoncentration.....	15
3.2.7 Inverkan av temperatur.....	15
3.2.8 Korrosion av rostfritt stål.....	16
3.2.9 Spänningskorrosion.....	17
3.3 Korrosion i insatsrör.....	17
3.4 Resultat från undersökningar utomlands.....	18
3.4.1 Ruhrgas.....	18
3.4.2 Gas Research Institute, GRI.....	18
3.4.3 American Gas Association, AGA.....	19
3.4.4 GASTEC.....	20
4 Experiment.....	21
4.1 Provrigg.....	22
4.2 Mätningar.....	24
4.3 Resultat av experiment.....	24
5 Alternativa insatsrör.....	30
6 Slutsatser.....	32
7 Referenser.....	34
Appendix A.....	36

FÖRORD

Arbetet som presenteras i denna rapport har utförts vid Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Värme- och Kraftteknik. Det är finansierat av Svenskt Gastekniskt Center (SGC) och VÄRMEFORSK.

Vi vill speciellt tacka instrumentmakare Fredrik Johansson för hans hjälp med montering och modifiering av riggen. Vi vill också tacka Lars Nilsson och Staffan Ivarsson på Sydgas för diskussioner och informationer från fältet.

Lund, juni 1993

Författarna

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund och mål

Insatsrör används för att undvika skador på skorstensstocken orsakade av kondensat från avgaser. I Sverige används insatsrör regelbundet vid gaseldning. Pannorna är vanligen installerade i källaren eller på bottenvåningen och insatsrören har ofta installerats vid konvertering från olja till naturgas.

Risken för kondensbildning i skorstenen ökar vid gaseldning då en högre verkningsgrad uppnås tack vare lägre avgastemperaturer och sänkt luftöverskott. De svenska gasföretagen är intresserade av att fortsätta använda flexibla rostfria insatsrör då de är enkla att installera och medverkar till att hålla kostnaderna nere vid konvertering från olje- till gaseldade pannor. Detta arbete är initierat av upptäckten av ett litet antal skador på insatsrör av denna typ. Målet med detta arbete är att få en förståelse av mekanismerna kring dessa skador. Ett delmål är att utforma rekommendationer för att förbättra befintliga installationer och använda på marknaden förekommande produkter. Ett annat delmål är också att ge bakgrundsmaterial om korrosion till svenska gasföretag.

Denna rapport är disponerad så att först en översikt av upptäckta problem och möjliga förklaringar ges. Resultat från laboratorieförsök presenteras därefter och används för att öka kunskapen från fältproven. Resultaten ligger även till grund för rekommendationer om installation och användande av flexibla rostfria insatsrör.

1.2 Behovet av insatsrör

När en panna konverteras från olja eller vedeldning till gaseldning behövs vanligen ett insatsrör för att skydda skorstenen mot kondensat. Detta beror på att avgaserna vid gaseldning har en lägre temperatur och innehåller mer vattenånga än avgaserna vid oljeeldning. Den vanligaste skorstenen i äldre villor är en murad skorsten, i de flesta fall är den inte rak. För att använda denna vid gaseldning behövs renovering, antingen med ett insatsrör av något slag eller genom att applicera ett lager keramik. Om skorstenen är rak är det inga problem att sätta in ett stelt insatsrör inuti skorstenen. I de flesta fall är ett dock flexibelt insatsrör den enklaste och billigaste lösningen. En sällan använd lösning är att placera en ny skorsten på utsidan av huset.

1.3 Avgränsningar

Detta arbete är avgränsat till flexibla insatsrör av rostfritt stål. Enbart kloridinducerad korrosion har studerats och i experimenten har en panna med fläktgasbrännare använts.

2 FÄLTSKADOR

I detta kapitel är upptäckta korrosionsskador summerade och analyserade. Generella och allmänna karakteristika söks. Korrosionsmekanismer beskrivs och kapitlet avslutas med en diskussion om skadornas möjliga orsaker.

2.1 Inträffade skador

Många skador har upptäckts av husägare när fuktgenomslag har uppstått på väggar i anslutning till skorstenen. De flesta fakta kommer från protokollen från gasföretagens årliga kontroller. Panntemperatur och avgastemperatur är mätta vid kontrollerna. Installationerna finns i enfamiljsvillor med några undantag. Alla exempel här är från installationer där en oljepanna tidigare använts och skorstenen reparerats eller renoverats med insatsrör. Alla utom tre pannor har fläktgasbrännare. Verkninggraden vid fullast är i samtliga fall mellan 93 och 96 % (räknat på det lägre värmevärdet). Några av skorstenarna hade inte varit i bruk de senaste åren före renoveringen. I några fall tvättades skorstenen med ett lösningsmedel i samband med konverteringen. Detta framhölls som en möjlig orsak till skada men efter undersökning av tvättmedlet framkom det att det inte innehöll klorid. I den följande diskussionen antas kloridinducerad korrosion på grund av skadornas utseende. Några installationer med andra skador än på insatsrör är med men alla skador på insatsrör var med fläktgasbrännare. Appendix A innehåller en sammanfattning av fakta från installationer med upptäckta korrosionsproblem.

Det finns materialprov från insatsröret från vissa installationer. Skadorna på insatsrören består av små hål omgivna av inkrustationer. Utseendet på skadorna är typiskt för halogeninducerad korrosion, ingen allmän korrosion påträffades. Prov från skadade insatsrör studerades i svepelektronmikroskop (SEM) men ingen klorid upptäcktes. Då vissa prov utsatts för yttre påverkan (förvaring utomhus) kunde detta misstänkas ha "tvättat" insatsrören. För att kontrollera om detta inverkade gjordes följande prov: provbitar från de experimentella försöken som tvättades med destillerat vatten och analys gjordes i SEM. Resultaten visade att kloriden lätt tvättades av. Dessutom saknades i vissa fall noteringar om var i skorstenen provbiten suttit. Dessa omständigheter ger vid handen att pålitliga resultat enbart kan erhållas då proven är tagna direkt efter urmontering och med noteringar om lokalisering.

2.2 Beskrivningar av drabbade installationer

15 olika rapporter om skador fanns tillgängliga och dessa studerades för att få fram gemensamma faktorer. 14 av rapporterna refereras i korthet nedan.

I fall 1 konverterades pannan från olja till en Propan/luftblandning under april 1989. Ett insatsrör monterades samtidigt. Vid kontroll i oktober 1990 upptäcktes fukt på skorstensväggen i källaren. Åtskilliga hål orsakade av korrosion fanns längs hela insatsröret. Insatsröret byttes då ut och samtidigt ökades avgastemperaturen från 140°C till 185°C genom ökning av brännareffekten. Vid två senare tillfällen har rost hittats i pannan.

I fall 2 konverterades pannan från olja till gas under augusti 1987 och samtidigt monterades ett insatsrör. Efter installationen målades pannrummet. Förbränningsluften togs inifrån. Ungefär ett och ett halvt år senare upptäcktes lukt av mögel och fuktskador. Under sommaren 1990 byttes insatsröret ut, som hade korrosionsskador. Samtidigt upptäcktes rost i pannan.

I fall 3 installerades en ny panna med gasbrännare i april 1988. Skador i insatsröret upptäcktes 1990 när fukt slog igenom innertaket. Under hösten 1990 byttes insatsröret ut. Insatsröret var korroderat. Avgastemperaturen var 120°C vid pannans rökrör.

I fall 4 installerades en ny panna med gasbrännare i december 1989 och samtidigt byttes insatsröret. Efter installationen målades golvet med epoxifärg. Sex månader senare upptäcktes fukt på tapeterna på första våningen. Insatsröret byttes på nytt i oktober 1991. Avgastemperaturen var 120°C efter pannan och 55°C vid skorstenstoppen.

I fall 5 avslöjade en inspektion 1992 fukt i kopplingen mellan rökröret och insatsröret. Pannan, brännaren och insatsröret installerades i februari 1988. Vid sidan av pannan står en tvättmaskin. I pannan hittades 1 dl rost som rensades ut.

I fall 6 installerades pannan 1988 och byttes ut 1991 då det var sönderrostad. Vattentemperaturen var 55°C och avgastemperaturen 100°C.

I fall 7 installerades en ny panna och insatsrör under juli 1988. Efter installationen målades golvet med epoxifärg. Efter ett halvår började tapeten i angränsande utrymme att "bubbla". Insatsröret byttes kort efter att skadorna upptäcktes. Vid en inspektion i december 1989 rensades 1 liter rost ut ur pannan. Avgastemperaturen var 129°C. Efter bytet av insatsrör har inga problem rapporterats.

I fall 8, ett vårdhem, installerades panna och brännare i maj 1988. Avgasgångarna är långa både horisontellt och vertikalt. Brännaren blev kraftigt överdimensionerad då värmelasten minskade i samband med ombyggnad. Avgastemperaturen efter brännaren var 95°C och 115°C (tvåstegsbrännare).

I fall 9 installerades en panna med brännare under augusti 1987 och samtidigt installerades ett insatsrör. Efter installationen målades golvet. Ungefär ett år senare upptäcktes fuktfläckar på väggen mot skorstenen på ovanvåningen. Insatsröret byttes ut 1990 och befanns då vara helt perforerat. Avgastemperaturen efter pannan var 140°C och 55°C vid toppen av skorstenen. Ungefär 0,5 dl vatten hittades i botten pannan. Troligen beror detta på att vattentemperaturen endast var 50°C och orsakade kondensering i pannan.

I fall 10 samlades enligt ägaren rost på ovansidan av pannan. Detta har skett sedan installationen i augusti 1990. Pannan har en atmosfärsbrännare. Avgasröret av vanligt stål rostar på utsidan. Inga skador ha hittats på insidan av pannan eller på andra platser i installationen.

I fall 11 fanns anmärkningar vid den årliga besiktningen 1992 såsom att kondensering hade skett i insatsröret men inga korrosionsskador upptäcktes. I dragavbrottet och pannan fanns däremot rost. Rummet intill är ett hobbyrum för snickeri med eventuell förekomst av lösningsmedel.

I fall 12, en fabrik, är tre gaseldade varmluftspannor anslutna till en gemensam skorsten av Corten. Triklöretylen används för avfettning i produktionen. Pannrummet ligger i direkt anslutning till produktionslokalerna och lukten av triklöretylen var påtaglig i pannrummet. Arbetsmiljömätningar visade på halter kring 16-18 ppm av triklöretylen i luften. Gränsvärdet är 10 ppm enligt Svenska arbetarskyddsstyrelsen. Vid inspektion upptäcktes svåra korrosionsskador i skorstenen och pannorna.

I fall 13, en simhall, konverterades pannan till gas 1989. I ett närliggande rum finns utrustning för kloriddosering. Rost skrapades ut från skorstenen som är av Cortenplåt och 8 m hög. Enligt en tidigare inspektion var avgastemperaturen 57°C efter pannan.

I fall 14 upptäcktes 1,5 dl rost i eldstaden två månader efter installationen i januari 1992. En analys visade att rostflagor från insidan av en panna innehöll 0,97% klorid. Golvet i pannrummet målades efter installationen.

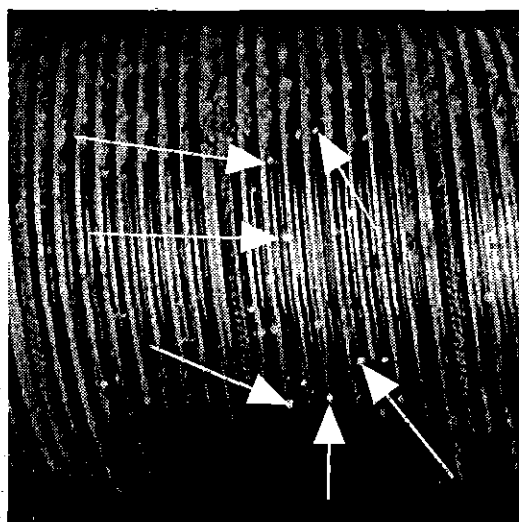
2.3 Detaljerad beskrivning av installation 15

Installation 15 har kontrollerats mer i detalj. Installationen finns i ett enfamiljshus som byggts 1955 och blev ombyggt 1982. Bild 2.1 visar huset, som har två våningar och källare. Ombyggnaden inkluderade tilläggsisolering (15-20 cm mineralull) och utbyggnad av ovanvåningen. När taket höjdes förlängdes skorstenen med 2-3 m. Beroende på detta fick skorstenskanalerna en böjning. Boytan är 120 m² på bottenvåningen, 95 m² på övervåningen och 90 m² i källaren. Under april 1989 installerades naturgaspanna i huset. Pannan är placerad i ett rum i källaren som också används som förråd. En gasspis installerades samtidigt i köket. Panntermostaten styrs av ett kontrollsystem som har utomhusgivare och använder nattsänkning.



Figur 2.1: Huset med installation 15.

Bild 2.2 visar insatsröret där de ljusa punkterna är korrosionshål. Skadorna på insatsröret begränsar sig till den nedre delen. Insatsröret är 8,5 m långt och alla skador finns på en 2,5 m lång sträcka närmast pannan. Isoleringsmaterialet (Vermikulit) var fuktigt i detta området. Vatteninnehållet i isoleringsmaterialet var 23,5 vikt-% vid skorstenstoppen och mellan 52 och 58 vikt-% i botten. Om fuktinnehållet i isoleringsmaterialet är ett resultat av vattenläckage efter att korrosionsskadorna uppkommit eller orsak till korrosionsskadorna har inte kunnat klarläggas. Delar av insatsröret analyserades med SEM-EDS analys (Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectrum analysis with X-ray emission) och resultaten visade att kloridhalten var högre på utsidan än på insidan av insatsröret. Detta och den höga vattenhalten i isoleringsmaterialet tyder på att vattenånga från avgaserna läckt in i isoleringsmaterialet. Om läckaget börjat via kopplingen mellan insatsröret och rökröret eller genom korrosionshålerna är inte fastlagt. Det finns skäl att tro att kopplingen inte varit tät.



Figur 2.2: Grophålsfrätskador i installation 15.



Figur 2.3: Koppling mellan rökrör och insatsrör i installation 15.

Som framgår av figur 2.3 ovan så är kopplingen mellan insatsröret och rökröret gjord genom att insatsröret förts in i rökröret och skarven tätats med cement. Kopplingen är svår att få tät med denna metod och troligen har avgaser läckt ut i isoleringen. Om isoleringsmaterialet då är hygroskopiskt och kloridhaltigt är risken för korrosion mycket hög.

Prover från isoleringsmaterialet analyserades också med atomspektrometri. Resultaten från analyserna visar att kloridinnehållet i isoleringsmaterialet ökar från skorstenens botten till dess topp. I topplagret var innehållet 0,10 vikt-% och i mitten av skorstenen 0,08 vikt-%. Kloridinnehållet i bottenmaterialet var 0,06 vikt-%. Alla prover torkades före analysen. Resultaten visar på att kloriden har lösts upp i vattnet som kondenserats ur utläckta avgaser. Ett prov från en annan leverans Vermikulit hade ett kloridinnehåll på 0,38 vikt-%. Andra ämnen i isoleringsmaterialet är SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , K_2O , Fe_2O_3 och några ämnen under 0,1 vikt-%. Innehållet av alla ämnen förutom klorid är i överensstämmelse med tillverkarens specifikationer.

Dränageledningen från skorstenen sades också vara totalt korroderad. Dränageledningen var gjord av koppar. Ingen analys kunde dock göras då ledningen tidigare hade kastats.

En genomgång har gjorts av möjliga källor till klorid i förbränningsluften. De utvändiga träpanelerna på huset är målade med lasyrfärg innehållande små mängder "dichloroflouromethyltio". Färgens exakta sammansättning är okänd. Betonggolvet på verandan var målad med betongfärg. Luftintaget till pannrummet kommer via en överbyggd veranda. Det är möjligt att färgångor innehåller kloridjoner. Avloppet från tvättmaskinen slutar ovanför en golvbrunn i pannrummet. Om kloridjoner från tvättmedel avdunstar är oklart.

Det finns ingen uppenbar källa till klorid förutom isoleringsmaterialet men antingen en hög koncentration vid ett enstaka tillfälle, som ett tillfälligt stort utsläpp av kloridjoner, eller en lägre koncentration under en längre tid är möjlig. Ett stort utsläpp kan vara användningen av lösningsmedel med stor halt av klorerade ämnen vid ett tillfälle. Med låg koncentration menas ca 1 ppm/m³ klorid vilket motsvarar användningen av en vanlig tippex flaska som avdunstar under en månad i normal ventilerat rum. Den troligaste orsaken till korrosionsangreppet är i detta fall en undermålig koppling mellan rökrör och insatsrör. Vattenånga skulle då kondenseras ur läckande avgaser, frigöra kloridjoner och lägga grunden till korrosionsangrepp.

2.4 Diskussion av fältskador

Först kan noteras att många av problemen har uppstått när en installatör har gjort konverteringen från en oljeeldad panna. Även fall med problem relativt direkt efter konverteringen har anmälts. Dessa omständigheter kan ge två alternativa orsaker för korrosionsskadorna.

- Installationseffekter
- Omgivningseffekter

2.4.1 Installationseffekter

Vid installationer torkas först befintlig skorsten ur, ibland tvättas den med rengöringsmedel invändigt. Insatsröret dras in i skorstenen uppfifrån, fästs nervid. Isoleringsmaterial fylls på och insatsröret fästs uppvid. I samband med dessa arbeten och eventuellt utbyte av tidigare panna vill husägaren ofta rusta upp i pannrummet.

I vissa fall beror korrosionen på speciella faktorer som användningen av färgborttagningsmedel innehållande metylenklorid i samband med ommålning. Vissa fabrikat hade tidigare stora mängder metylenklorid men detta ämne är numera förbjudet som lösningsmedel i konsumentprodukter i Sverige. Andra tvätt- och rengöringsmedel som används i samband renovering och ommålning i pannrummet kan också avge klorid till förbränningsluften om den utgörs av inomhusluft. Andra installationseffekter av intresse är tvättningen som görs innan insatsröret monteras i vissa fall. Ett ofta använt tvättmedel var ett alkaliskt tvättmedel med pH 14 och kaliumoxid som huvudsakligt innehåll. Ingen av de övriga komponenterna i tvättmedlet kan misstänkas ha orsakat korrosionen.

Kloridjoner från isoleringen kan lösas ut om avgaser läcker ut i isoleringen. Fukt i isoleringen minskar också isoleringens kvalitet och ökar risken för kondensering. En täthetskontroll efter att installationen har slutförts rekommenderas starkt om någon av kopplingarna ej kan inspekteras.

Eftersom flertalet av de installationer som haft korrosionsproblem har utförts av ett och samma företag bör installationstekniken studeras noggrannare. Då kontroll av en installation oftast innebär demontering av insatsröret bör bättre metoder som endoskopi och täthetskontroll undersökas och utvärderas.

2.4.2 Omgivningseffekter

Inomhus

I några fall var klorider närvarande i den atmosfären, till exempel i fall 12, en fabrik där trikloretülen användes för avfettning av materiel efter bearbetning. I fallen 2, 4, 7 och 9 målades pannrumsgolven i samband med konverteringen från olja till gas och i fall 5 stod en tvättmaskin bredvid pannan. Klorider kan avdunsta från tvättmedel. I fall 3, 4, 5, 8 och 15 var avgastemperaturen under 120°C.

Utomhus

Installationerna 2-6 ligger i samhälle A och installationer 7-10 och 15 ligger i samhälle B. Båda samhällen ligger 7 km från varandra längs en å i samma dalgång, 10 km från havet. I samhälle A finns två möjliga källor som bör undersökas närmare, en kemtvätt och en fabrik som tillverkar glasfiberprodukter. I det mindre samhället B finns inga troliga källor för klorid. De flesta fallen kan förklaras med inomhuskällor.

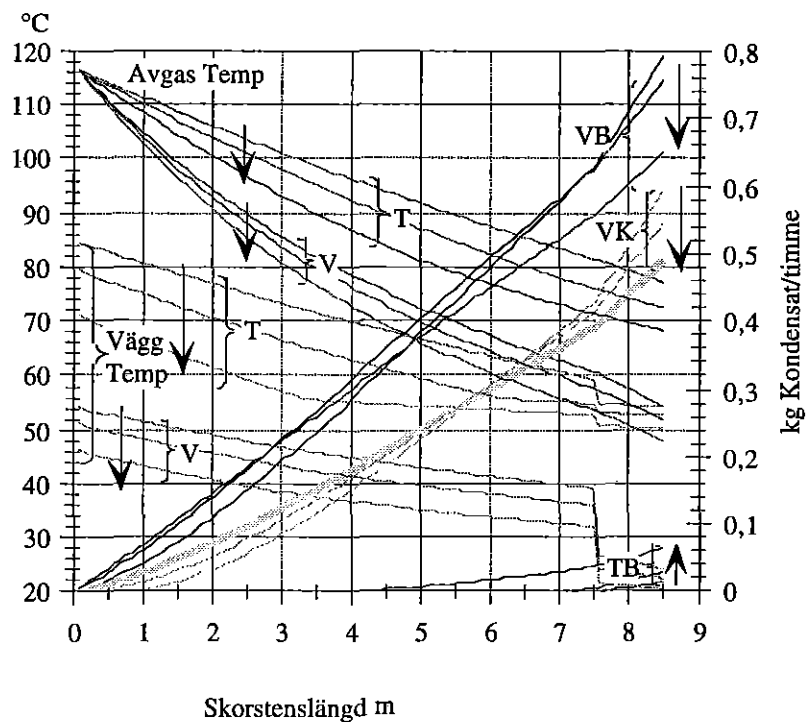
Eftersom flertalet installationer med korrosionsproblem fanns i ett begränsat geografiskt område kan det lokala utomhusklimatet ha en bidragande orsak. Frågan om det lokala klimatets påverkan togs därför upp med Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning. En diskussion med Gun Lövblad, IVL [12] resulterade i följande slutsatser: troligen är klorid från havssalt inte en väsentlig källa även om terrängen i området kan ha en viss koncentrationseffekt [13]. Lokala källor är betydligt mer sannolika i dessa fall beroende på skadorna geografiska begränsning.

3 TEORI

3.1 Värme- och masstransport

Programmet SKORSTEN [1] användes för att analysera temperaturprofiler och kondensatmängder, inklusive avdunstning, under pannans drift.

I figur 3.1 markerar pilarna ökande utomhustemperatur i beräkningarna. Temperaturerna är -5°C , $\pm 0^{\circ}\text{C}$ och $+5^{\circ}\text{C}$. "V" betecknar våt isolering och "T" betecknar torr, "VB" betecknar bildad kondens och "VK" kvarvarande kondensat, båda med våt isolering, "TB" betecknar bildat kondensat med torr isolering. Våt isolering antas ha samma värmeledningsförmåga som tegel. Resultaten visar att väggtemperaturen minskar drastiskt med våt isolering och både bildandet och mängden kvarvarande kondensat ökar. När isoleringen är torr bildas mycket lite kondensat och ännu mindre finns kvar när panna startar.



Figur 3.1: Väg- och avgastemperaturer längs insatsröret samt bildat och kvarvarande kondensat med torr och våt isolering.

3.2 Metallkorrosion

Innan korrosionsprocesser diskuteras följer en kortfattad sammanfattning av generell korrosionsteori. Grundläggande elektrokemi finns i flera standardböcker, till exempel i [2],[6],[4] och [5], och ligger till viss del utanför avsikten i denna text.

Använda beteckningar är följande:

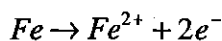
Me	metall
e ⁻	elektron
R	allmänna gaskonstanten
T	temperatur
E	elektrokemiska potentialen
F	Faradays konstant

3.2.1 Anodprocesser

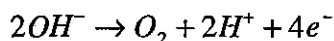
Oxidationen av en metallyta är ett exempel på en anodisk process, i vilken metallen fungerar som elektrondonator. Den elektriska strömmen är proportionell mot mängden reagerande metall. En alternativ anodisk process i vattenlösning är oxidationen av hydroxidjoner till syre. Reaktionerna är följande.



exempelvis

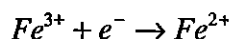
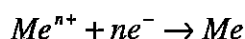
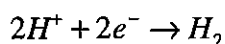
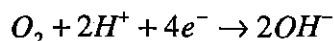


eller



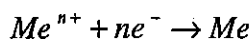
3.2.2 Katodprocesser

De fria elektroner som bildas i anodprocesserna konsumeras i katodprocesser dvs oxiderings- och reduktionsprocesserna bildar par. Katodiska processer är till exempel reduktionen av syre, vätgasjoner eller metalljoner. Följande reaktioner ingår.



3.2.3 Elektrokemiska celler

Två lämpliga sammankopplade halvceller (en anod- och en katodprocess) bildar en elektrokemisk cell. De elektrokemiska processerna är termiskt aktiverade. Den drivande kraften för reaktionerna är skillnaden i elektrokemisk potential, emf, mellan de två halvcellerna. Skillnaden i elektrokemisk potential ges av normalpotentialen på halvcellerna, aktiviteten (koncentrationerna) och temperaturerna enligt Nernst formel för halvceller:



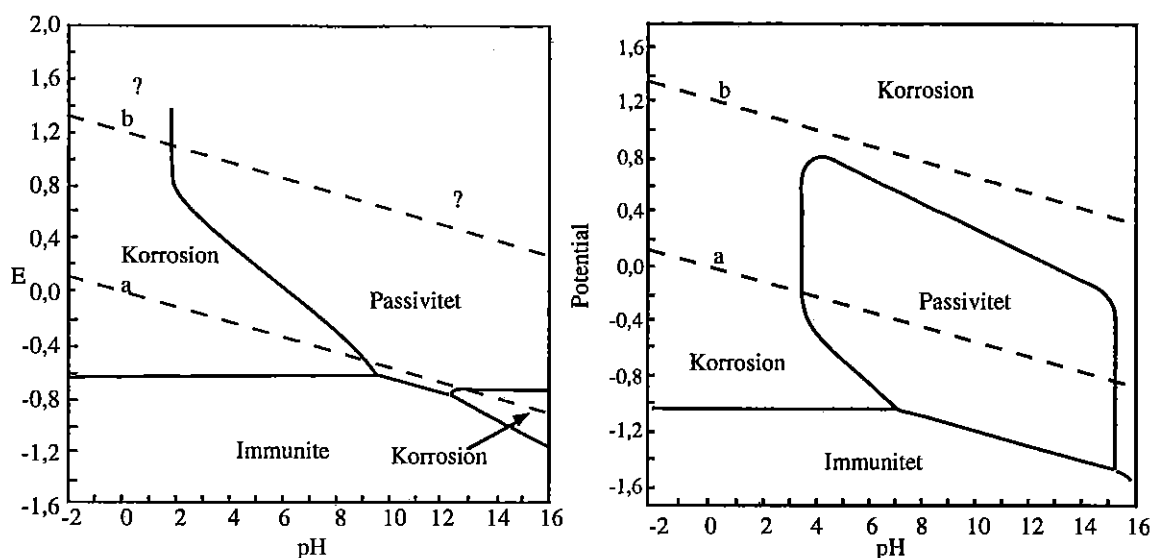
$$E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Me^{n+}]}{[Me]}$$

3.2.4 Pourbaixdiagram

Pourbaixdiagram, med potential och pH som koordinater, visar den elektrokemiska jämvikten mellan metall och vätska. Dessa kurvor avgränsar de områden där immunitet, korrosion och passivitet vanligtvis kan förväntas.

- Immunitet – det finns ingen drivande kraft för anodiska processer med metallen.
- Passivitet – bildandet av en olöslig förening (t ex oxid) kan ske.
- Korrosion – det finns en positiv emf som ger drivkraft för upplösning av metallen.

Varje linje i diagrammet visar reaktionsbalansen, horisontella linjer jämvikt med elektroner men inte H^{+} eller OH^{-} , vertikala linjer jämvikt med H^{+} eller OH^{-} men inte elektroner. Pourbaixdiagram för krom och järn visas nedan i figur 3.2.



Figur 3.2: Förenklade Pourbaixdiagram för järn och krom , [2].

3.2.5 Polarisering

Mängden korroderat material är proportionell mot den elektrokemiska strömmen i processen och därför är strömmen per enhetsarea, i_A , ett mått på hastigheten i processen.

Potentialerna i Pourbaixdiagrammen representerar jämviktsförhållande. För att en metall skall utsättas för anodisk korrosion, dvs ge en ström, måste potentialen flyttas i positiv riktning för att ge en drivkraft för strömmen. En katodisk process måste på samma sätt flyttas i negativ riktning. Dessa ändringar av potential speglar den irreversibla naturen av elektrodprocesserna och är kända som polarisering och överspänning. Ett anodiskt polariseringsdiagram för rostfria stål Fe-Cr legeringar i området 2,8-18 vikt-% Cr visas i figur 2.6 nedan.

Strömmen i den anodiska och den katodiska processen måste vara lika i en cell. Den begränsande faktorn, anod eller katod, ger anodisk eller katodisk kontroll av den totala korrosionen. Förhållande med stora katodytor och små anodytor kommer ge intensiva angrepp.

3.2.6 Effekter av ämneskoncentration

Skillnader i koncentration av de aktiva substanserna i lösningen kommer att ge skillnader i elektrokemisk potential, med den låga koncentrationen på anodytan.

Av särskilt intresse är celler orsakade av skillnader i syrekonzentration. Gränserna på diffusionshastigheten av luft ger olika luftning under våta förhållande i sprickor, under smuts, osv och orsakar koncentrationscellskorrosion lokalt.

3.2.7 Inverkan av temperatur

Korrosionsprocesser är termiskt aktiverade. Den så kallade "hot wall" effekten dvs accelererad korrosion beroende på värmeöverföring är en konsekvens av den approximativt exponentiella ökningen av korrosionshastighet som temperaturen i kontakten orsakar. Som en tumregel kan sägas att med en 10°C ökning på den korrosiva lösningen ökar korrosionshastigheten med en faktor två eller mer [6].

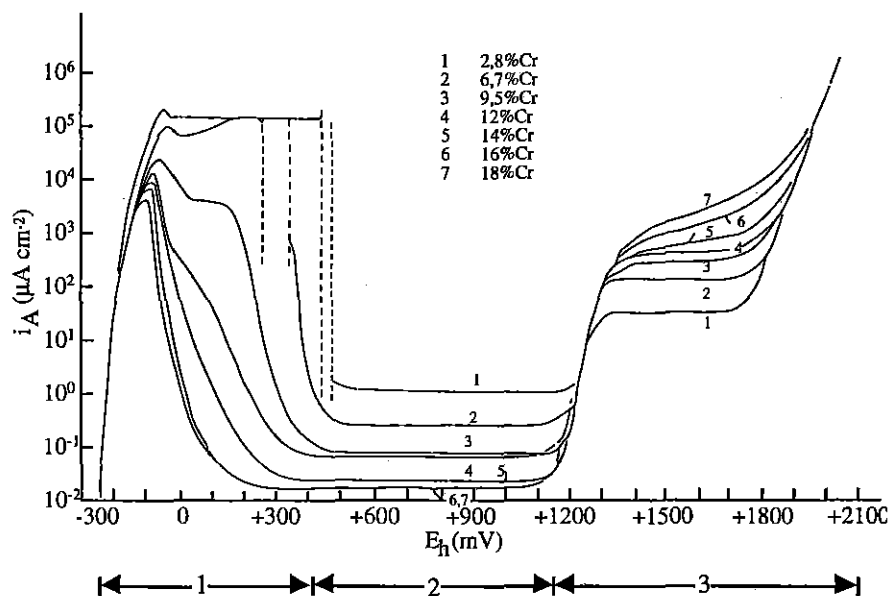
Temperaturgradienter i ett system kan orsaka potentialskillnader enligt Nernst ekvation, där den varmare ytan fungerar som anod.

En minskning i korrosionshastigheten när temperaturen ökar kan också finnas beroende på viktiga sekundära faktorer såsom minskning av syres löslighet i vatten.

3.2.8 Korrosion av rostfritt stål

Passivitet

Det starka passiva korrosionsmotståndet hos stål med krominnehåll över 16 % kan ses i polarisationsdiagrammet i figur 3.3 nedan. Detta passiva korrosionsmotstånd blir ännu större med ytterligare legering med nickel, molybden och titan [2],[5].



Figur 3.3: Anodiska polarisationskurvor för järn/krom legeringar i 10% svavelsyra [2].

Korrosionshastigheten vid passiv korrosion domineras av diffusion av joner genom ett skyddande lager av stabila korrosionsprodukter. Det finns dock en risk för snabbt korrosionsangrepp beroende på lokalt genombrott i det passiva skiktet.

"Pitting"

"Pitting" eller grop(håls)frätning i metaller är en extremt lokal korrosion som vanligtvis medför små hål med skarpa kanter.

Pitting orsakas vanligtvis av att det passiva skiktet förstörts lokalt. Pitting uppstår när en yta blir anodisk i förhållande till resten av ytan. Lokala förändringar i det korrosiva ämnet i kontakt med metallen, som i en spricka, kan orsaka en accelererad lokal attack. De vanligaste orsakerna till pitting i stål är

- partiklar på ytan som kan orsaka lokala koncentrationsceller
- upplösta halogener som orsakar lokala anoder vid sprickor i det skyddande skiktet.

Det stora förhållandet mellan katod- och anodytor får penetreringen att ske snabbt.

Omedelbart efter att en grop har initierats är den lokala omgivningen och eventuella ytfilmer instabila och gropen kan bli inaktiv efter ett par minuter om konvektionen transporterar bort de lokala höga koncentrationen av vätejoner, kloridjoner, floridjoner eller andra joner som har orsakat angreppet.

När en grop har nått ett stabilt tillstånd kommer den att förhindra drastiska förändringar i omgivningen. Den penetrerar metallen med en ökande hastighet genom autokatalys. Då lösligheten för syre är praktiskt taget noll i koncentrerad lösning, kommer ingen reduktion av syre att ske i gropen. Snabb upplösning sker i gropen medan reduktion av syre sker på den omgivande ytan.

Kloridorsakad pitting av rostfritt stål orsakar oftast underfrätning, som ger håligheter under ytan, "caverns".

3.2.9 Spänningskorrosion

Mycket höga restspänningar i materialet kan orsakas av kallformningsoperationer som djupdragning eller böjning av rör [6].

Effekten av intermediära ämnen på metallers känsligheten för sprickor orsakade av spänningskorrosion ses tydligt på de austenitiska stålen. Speciellt på stål innehållande spår av elementärt kväve utsatta för en lösning av kokande magnesiumklorid. Under 500 ppm klorid sker ingen sprickbildning. Denna sprickning är transgranulär.

I bearbetade austenitiska stål är spårerna efter sprickor vanligtvis transgranulära om lämplig värmebehandling utförts.

Om värmebehandlingen har orsakat sensibilisering beroende på karbidurskiljning kommer spänningskorrosionssprickning ofta att ske intergranulärt beroende på att kromfattiga zoner längs korngränserna blir anodiska i förhållande till resten av kornet.

Spänningskorrosionssprickning är ofta orsakad av specifika joner som finns som orenheter i omgivningen. Även med korrekt värmebehandling har austenitiska stål rapporterats spricka i vattenlösningar med 2 ppm klorid vid 200°C [6].

3.3 Korrosion i insatsrör

Risken för korrosion i rostfria stål använda i gaspannor eller avgaskanaler har studerats noggrant. Användningen av kondenserande pannor har lett till att forskning angående korrosionsmekanismer genomförts och tumregler för utformning har tagits fram för pannor. Delar av resultaten kan även användas vid utformning av insatsrör.

Kobussen [7] ger en beskrivning av korrosionsmekanismer i rostfritt stål och aluminium.

- Pitting i rostfritt stål beroende på närvaron av kloridjoner.
- Spaltkorrosion orsakad av dålig luftning i spalten (vanligast i rostfritt stål).
- Galvanisk korrosion orsakad av metallisk kontakt mellan metaller med olika elektrokemiska potentialer.

Kobussen ger också rekommendationer för utformandet av kondenserade utrustning. De punkter som är av intresse för detta arbete är att spalter skall undvikas i rostfritt stål och att tillräckligt dränage skall åstadkommas så inget kondensat blir stående.

Det finns huvudsakligen två misstänkta källor för korrosion i insatsrör nämligen klorid- eller sulfidjoner. Tillsammans med vatten bildas saltsyra och svavelsyra som är starka syror även för rostfria stål. Speciellt i kombination med avdunstningsprocesser som följd av en brännarens till/från drift, kan syrans koncentration öka kraftigt. Detta kan vara den huvudsakliga orsaken till korrosionen i insatsrör. I de utförda experimenten har dessa koncentrationseffekter kunnat visats.

Tre olika typer av korrosionsskador på insatsrör definieras av Kruse [8] :

- Sprickbildning i materialet speciellt i "dalarna" på de veckade rören beroende på temperaturer lägre än daggpunkten.
- "Pitting" i materialet beroende på kloridjoner i avgaserna
- Sprickbildning på utsidan av materialet beroende på isolering innehållande korrosiva ämnen eller sot från tidigare eldning.

I den första och tredje typen av korrosionsskador är huvudorsaken svavel och i den andra typen klorid. I gaseldade pannor är den andra och tredje typen av korrosionsskador av störst intresse. Klorid i förbränningsluften är orsaken i den andra typen och i den tredje typen av korrosionsskador kommer svavel från sot från tidigare oljeeldning.

Värmeisolering kan fungera som spridningsbarriär för korrosiva ämnen om den en gång penetrerats av vatten, och ge upphov till koncentrationsceller. Vissa isoleringsmaterial kan också innehålla halogener i sådan koncentration att de vid upprepat läckage av avgaser kan bygga upp koncentrationer på ytan till sådana nivåer att allvarliga korrosionsskador kan uppstå.

Exempel på kloridläckage från bindmedel i glasfiberisolering, som vid förhöjda temperaturer orsakat sprickkorrosion och spänningskorrosion på komponenter i rostfritt stål, finns redovisade i litteraturen [6].

Andra omständigheter som kan orsaka korrosion är spänningar i materialet. Restspänningar kan finnas kvar från tillverkningen och monteringen av insatsrören kan också innebära nya mekaniska spänningar. Ett sätt att undvika spänningskorrosion är att värmebehandla insatsröret efter tillverkning, men detta ökar risken för korngränskorrosion som motverkas med legering med niob och titan.

3.4 Resultat från undersökningar utomlands

3.4.1 Ruhrgas

Under eldningssäsongen 1988/89 gjorde Ruhrgas AG i Tyskland mätningar på 25 gaseldade pannor för att undersöka orsaken till kloridinducerad korrosion [9]. Mätningarna visade att 4 pannor var oskadade, 6 pannor var lätt skadade och 11 hade allvarliga skador.

Mätta storheter var: utomhustemperatur, vattentemperaturer, avgastemperatur före dragavbrott, gasventilens läge, pannrumstemperatur och relativ fuktighet. Inga data finns för kloridkoncentrationen i förbränningsluften eller i kondensatet.

Undersökningar visade att korrosionsskadornas omfattning stod i proportion till antalet starter av brännaren per tidsenhet och pannlastens storlek. Vidare ökade skadeomfattningen vid minskade avgastemperaturer och minskade utloppstemperaturer.

Vid ökande antal brännarstarter kommer yttemperaturen på värmeväxlaren att variera kring daggpunkten oftare och koncentrationen av aggressiva ämnen ökar när vattnet avdunstar. Antalet brännarstarter påverkas av pannans termiska massa, reglersystemet, termostatkarakteristika, vattenflödet och belastningen.

3.4.2 Gas Research Institute, GRI

GRI har bl.a. utvecklat datorprogrammet VENT-II som används för att beräkna värme- och masstransport i skorstenen.

Ett projekt sponsrat av GRI [10] är inriktat på att få fram en metod för att beräkna tiden till korrosionsskador. De kloridnivåer som användes var 3, 26 och 225 ppm. Testerna var avsedda för värmeväxlare och därför inte direkt jämförbara med förhållandena i skorstenar då de vått/torra förhållandena i en skorsten inte simulerats.

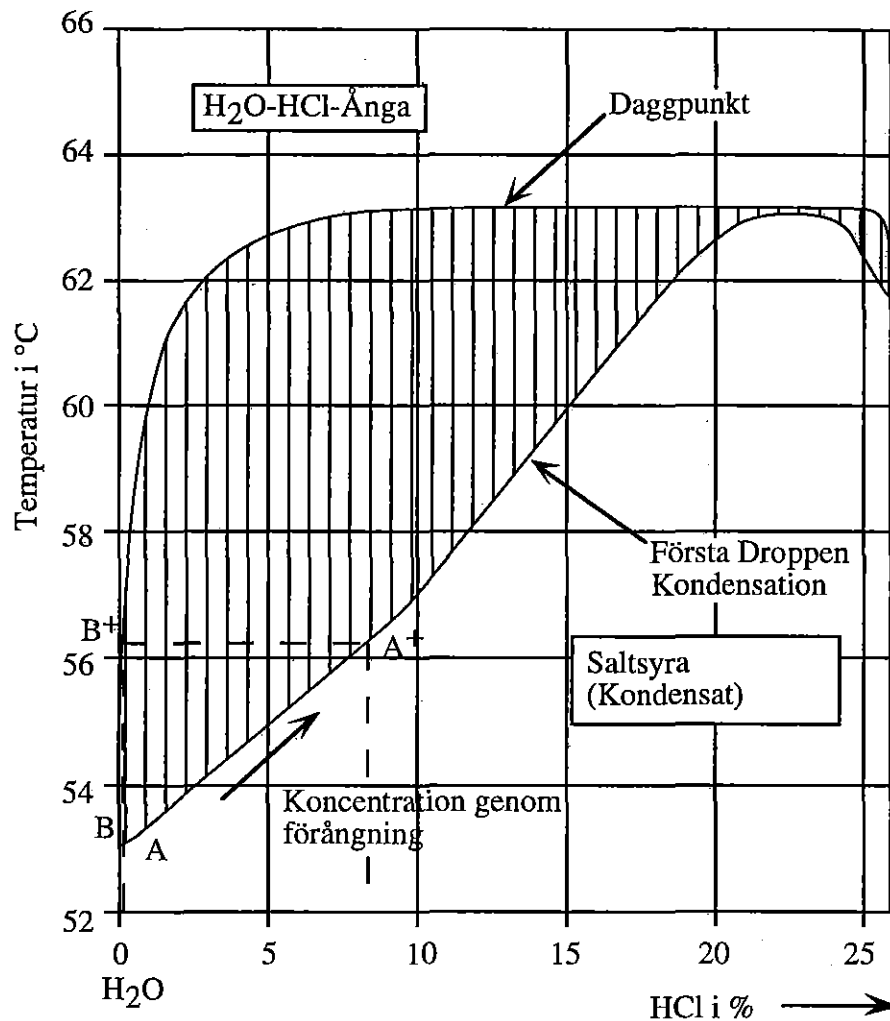
I en workshop GATC/Industry 1992 [10] fanns en session inriktad mot avgaskanaler och korrosionsteknik. En utveckling av en miniatyrsensor för korrosion presenterades. Sensorn inkluderade ytmonterade temperaturgivare, en "våttidsmätare" och en pH-mätare.

3.4.3 American Gas Association, AGA

En undersökning på korrosion i kondenserande eller nästan kondenserande anläggningar presenteras i [11]. Rapporten innehåller bl.a. ett fasdiagram för ånga/vätska med HCl/H₂O, se figur 3.4. Diagrammet visar hur en koncentration av 0,3% HCl i avgaserna kan koncentreras till 8% i den första droppen. Denna cykel upprepas till ett azeotropt tillstånd med 22% saltsyra. Med så hög koncentration måste systemet vara utfört i syrafast material. Följande råd ges också:

- Använd förbränningsluft med lägsta möjliga kloridinnehåll, i första hand utomhusluft.
- Undvik spalter i område med kondensering och möjliggör god dränering.
- Använd material som är korrosionståligt.

Det är viktigt att notera skillnaden mellan ytor utsatta för koncentrerat kondensat och kontinuerligt våta ytor med utspätt kondensat. En legering kan under våt/torra förhållande, som i en skorsten, korrodera snabbt men motstå kontinuerligt våta förhållande med samma initiala kloridinnehåll.



Figur 3.4: Tvåfasdiagram för saltsyra och vatten.

3.4.4 GASTEC

Vid GASTEC (tidigare VEG-Gasinstituut) i Holland har omfattande undersökningar på kondenserande anläggningar gjorts, se till exempel [7]. Undersökningarna är primärt inriktade på kondenserande värmeväxlardelar. En konstant korrosionshastighet på 100 μm per eldningssäsong vid ett kloridinnehåll på 100 ppm i kondensatet kan förväntas på aluminium. GASTECs rekommendation är att använda slutna {room-sealed} pannor för att undvika föroreningar av klorid i förbränningsluften.

4 EXPERIMENT

Som komplement till analyserna av fältskadorna har ett antal experiment utförts vid institutionen för Värme- och Kraftteknik, Lunds Tekniska Högskola. Då korrosionen enligt på detta stadium tillgängliga uppgifter verkade över perioder på halvår behövdes en metod att snabbare få fram dessa skador. För att kontinuerligt mäta och övervaka vissa parametrar gjordes förstudier till en rigg. Då ett tillfälle kom att kunna köpa en befintlig rigg från Danmark gjordes detta.

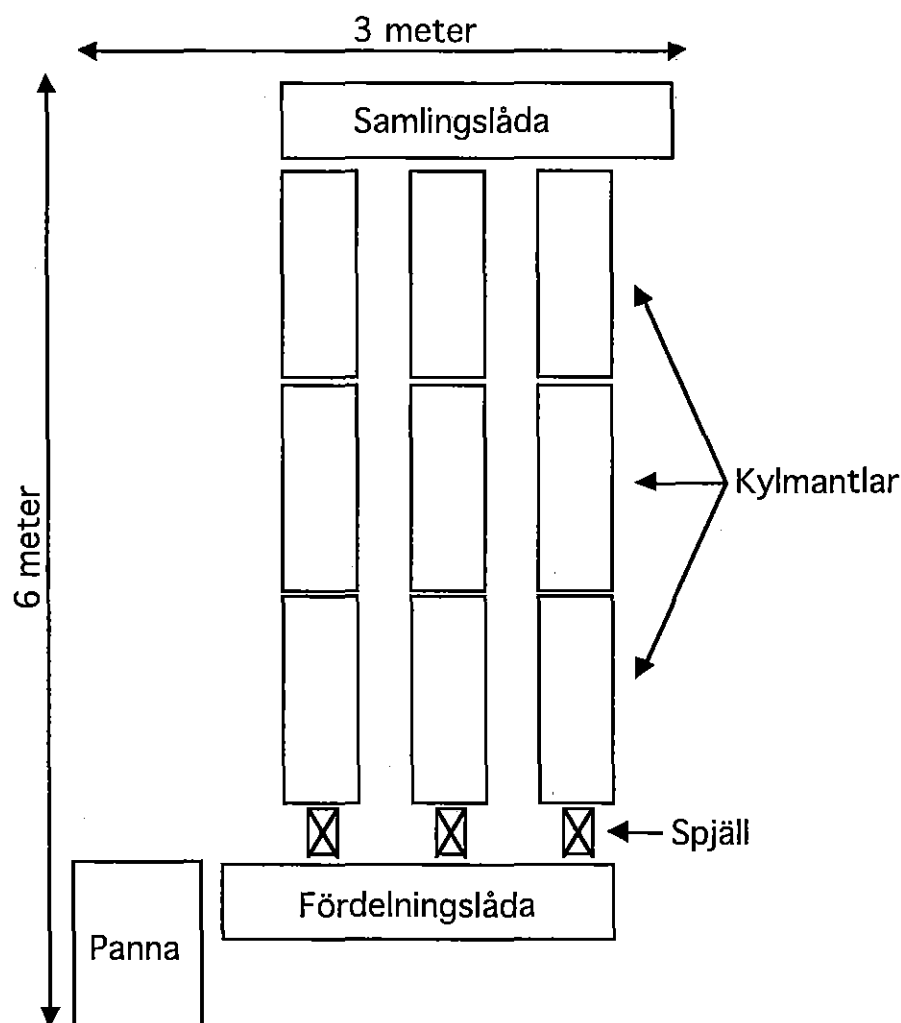
Experimenten avsåg att bestämma tiden från påbörjat korrosionsangrepp till genomgående korrosionsskador i insatsrör under olika förhållanden, t ex olika väggtemperaturer. Accelererade korrosionstest med kontrollerade väggtemperaturer utnyttjades. Provet kan antingen ha höga eller låga accelerationsfaktorer. En låg accelerationsfaktor är användbar om man vill kunna interpolera resultaten med generell korrosion och korrosion med kända tidsfaktorer. Vidare kan försöken göras med antingen materialprov eller i färdiga installationer under realistiska förhållande. Det senare alternativet valdes.

För att simulera verkliga förhållanden så noggrant som möjligt utfördes riggen med tre separata skorstenar och varje skorsten kylde av tre separata kylmantlar, se figur 4.1. Genom att köra pannan kontinuerligt och växla avgasflödet mellan de tre skorstenarna simulerades till/från-drift i varje skorsten. Genom de tre kylmantlarna kunde temperaturerna längs skorstenens vägg styras till godtycklig temperaturprofil.

Skorstensriggen inköptes från Danskt Teknologisk Institut som utformat och konstruerat den och har tidigare använt den för andra korrosionsprov. Den byggdes delvis om för att möjliggöra noggrannare kondensatanalys. Problem med kylningen minskade dock möjligheterna att välja önskade väggtemperaturer.

4.1 Provrigg

Provriggen består av en gaseldad panna kopplad till en skorstenssimulator, se figur 4.1. Via en fördelningslåda är de tre skorstenarna anslutna till avgasutloppet. I skorstensinloppet finns ett motordrivet spjäll (samma typ som används för att förhindra drag i skorstenar) som öppnar och stänger skorstenen. Vid kontinuerlig drift av brännaren kommer förhållandena i varje skorsten att likna en på/av drift i skorstenen. Skorstenarna kopplas in i en åt gången i sekvens eller en kontinuerligt. Varje skorsten har tre separata sektioner som kyles oberoende av varandra med vattenmantlar, se figur 4.2. Insatsrören i sektionerna är separerade från varandra med teflonskarvar mellan varje sektion, se figur 4.3. Skarven fungerar också som dränage med ett cirkulärt spår som leder kondensatet via en ledning till en flaska. Detta gör att riggen kan betraktas som nio olika sektioner. Kyleffekten kontrolleras med hjälp av vattenflödet i varje sektion. Det cirkulerande kylvattnet kyles av en värmeväxlare och är temperaturkontrollerad för att få konstant vattentemperatur till skorstenssektionerna.



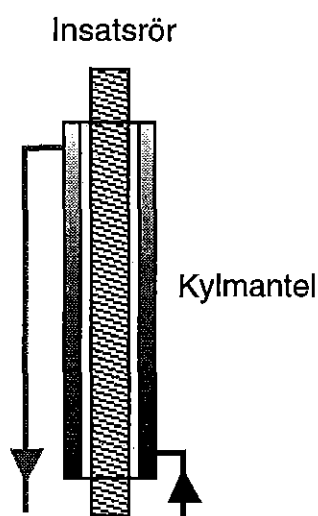
Figur 4.1: Experimentrigg.

De motordrivna spjällen kontrolleras av ett styrsystem som är programmerat via en dator. På detta sätt kan cykeltiden för varje skorsten kontrolleras och lätt justeras.

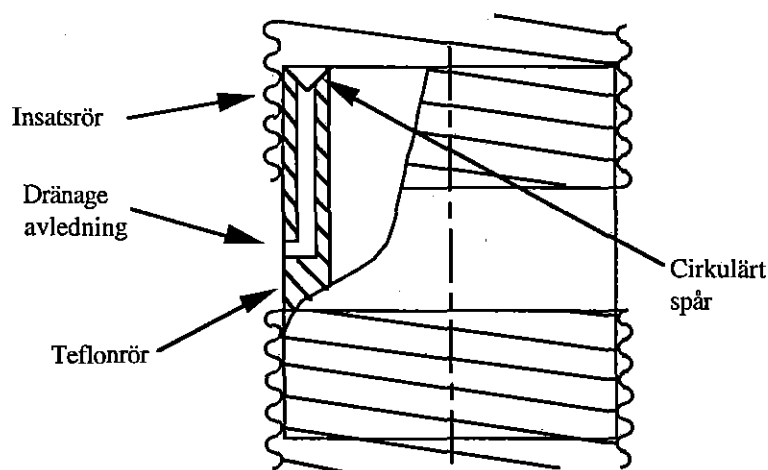
Pannan kördes kontinuerligt och kylades med en separat värmeväxlare. Korrosionshastigheten ökades med hjälp av klorid i form av metylenklorid som adderades till förbränningsluften. Tillsatsen skedde direkt i brännarfläkten och gav samma effekt som troliga externa källor skulle gett. Eftersom ingen klorid finns i bränslet antas att kloriden kommer via förbränningsluften. Tillsatsen gjordes via en flaska med ventil försedd med vernierhandtag vilket medger en noggrann inställning.

Brännareffekten var 15 kW med ett lufttal på 1,2 (56,3°C daggpunkt) enligt tillverkarens rekommendationer. Avgastemperaturen var 200°C och vattentemperaturen 90/70°C för undvikande av kondensation i pannan.

Kondensatet från varje sektion dränerades i provflaskor.



Figur 4.2: Skorstenssektion.



Figur 4.3: Teflonrör fungerande som skarv mellan insatsrör.

Efter injusteringar av temperaturer och klorid tillsats kördes riggen obevakad dygnet runt med undantag för dagliga inspektioner och mätningar. Avsikten med dessa mätningar var att kontrollera och övervaka bl.a. väggtemperaturen eftersom denna påverkar kondenseringen. Målet var att ha sektioner som var kontinuerligt våta, sektioner som torkade ut mellan cyklerna och sektioner som var kontinuerligt torra.

4.2 Mätningar

Vid inspektionerna kontrollerades väggtemperaturer och kondensatet mättes med avseende på mängd, pH och kloridjonkoncentration samt kontroll om genombrott skett. Med optiska inspektioner konstaterades om genombrott skett varefter tiden kunde beräknas.

Väggtemperaturerna mättes med termoelement (typ K), ett vid varje inlopp och ett vid utlopp av varje sektion.

Kloridkoncentrationer och pH mättes med en kombinerad pH/jon mätare med jonselektiva elektroder för kloridmätningar. Mätaren kalibrerades dagligen. Eftersom utländska prov tidigare visat på att kloridkoncentrationer kan öka i områden med varierande temperatur behövdes prov både från kondensat ur inkommande avgaser och kondensat från sektionerna. Mätningarna gjordes både på kondensatet från de skilda sektionerna och kondensatet som extraherades från avgaserna. Extraktionen gjordes med en provtagare, som bestod av en vattensugpump, som fungerade som vakuumpump, vilken sög avgaser genom en vattenkyld gaskylare. Det utfällda kondensatet samlades upp och analyserades senare. Avgaserna kylades hela tiden till 20 °C för att få ett referenstillstånd. Resultaten av kloridanalyserna på kondensatet användes för att justera klorid tillsatsen.

För att kontrollera om genombrott skett fördes en lampa inuti insatsröret samtidigt som det betraktades utifrån, ett genombrott sågs direkt som en ljuspunkt varefter tiden mellan driftstart och upptäckt genombrott kunde beräknas. Inspektionerna gjordes en gång per dag så noggrannheten i bestämningen av tiden för genombrott var ± 12 timmar.

4.3 Resultat av experiment

De två första proven gjordes för att undersöka riggens beteende och se om mätningar var möjliga och repeterbara. Kloridhalten var 1000 ppm och driftcykeln var drift 4 min/avstängt 8 min i båda körningarna. Den första omgången insatsrör byttes ut efter 340 timmars körning d.v.s. 113 timmar per skorsten. De var skadade i alla sektioner och de delar som utsatts för högsta temperaturerna var mest korroderade. Korrosionen var i form av ett flertal hål orsakade av gropfrätning "pitting". Det faktum att enbart klorid tillsats användes i avgaserna och korrosionens typ ledde till slutsatsen att skadorna var orsakade av kloridjoner. Ingen sprickbildning observerades. De första skadade sektionerna observerades efter 56 timmars drifttid i den första körningen resp 32 timmars drifttid i den andra körningen. Drifttiden definieras som den tid då avgaser finns i insatsröret.

Det tredje provet gjordes med enbart en skorsten i drift, som alltså kördes kontinuerligt för att bestämma inverkan av till/från driften. Skadorna uppkom efter 89 timmar. Denna tid kan jämföras med de tidigare resultaten där tiderna var 56 och 32 timmars drifttid.

Det fjärde provet utfördes med samma temperaturer och cykeltider som i de två första proven men med en lägre kloridhalt, 200 ppm mätt i kondensat ur avgaserna direkt efter pannan. De första skadorna upptäcktes efter 183 timmars drifttid.

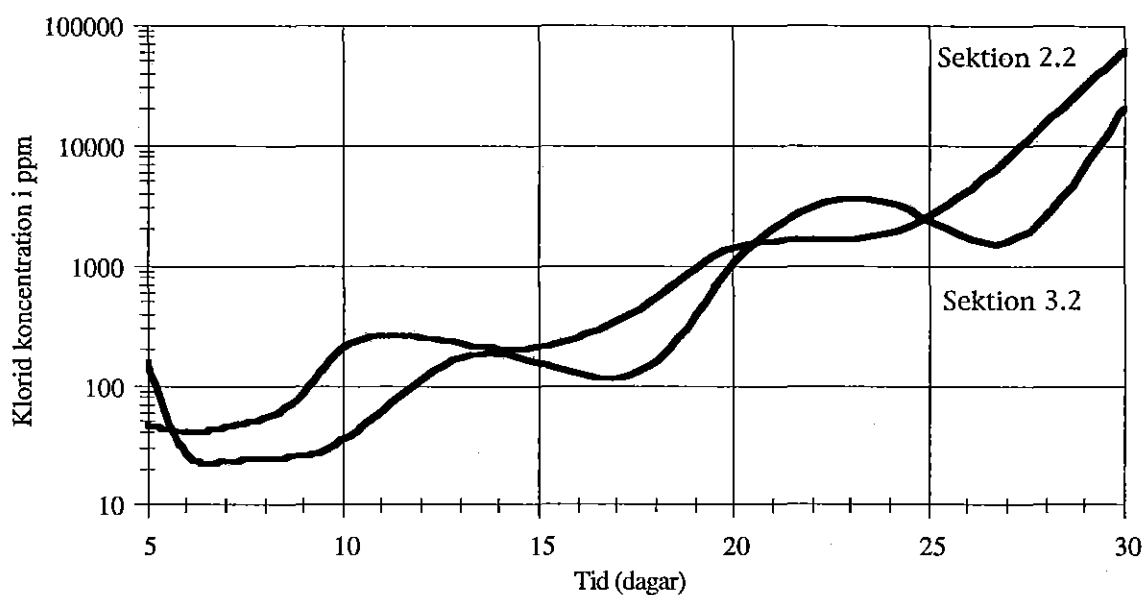
En inspektion av en skadad installation (nr 15) visade samma typ av korrosionsskador som inducerats i laboratoriet.

Tabell 4.1 sammanfattas resultaten av experimenten.

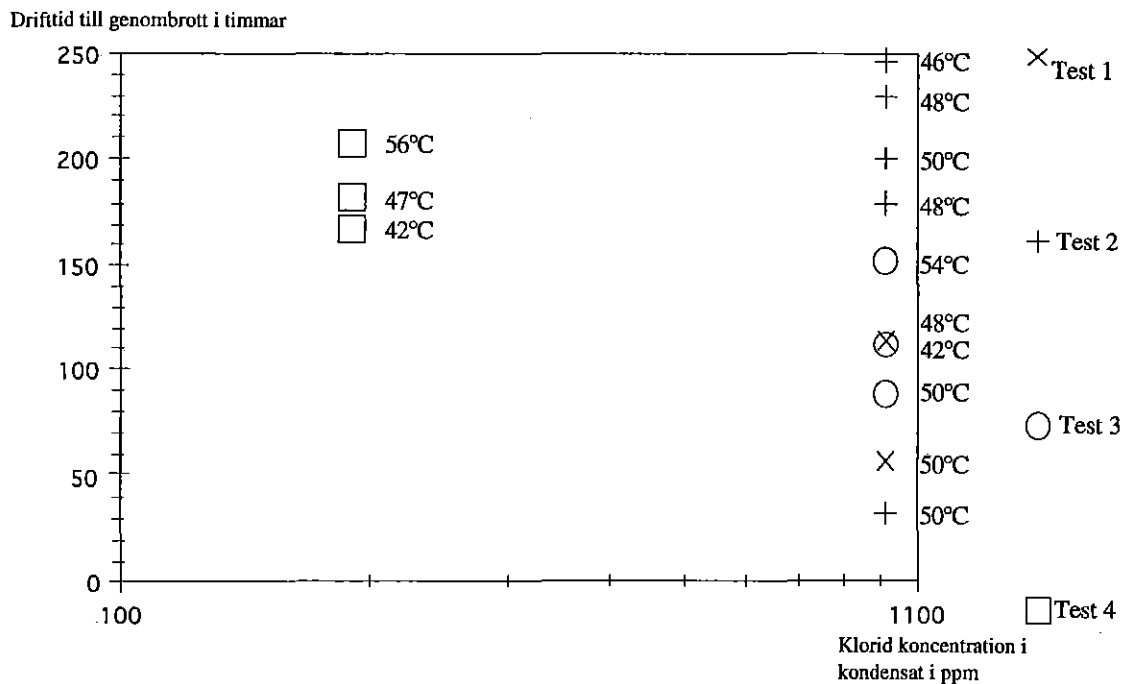
Prov nummer	1	2	3	4
Genomsnittlig kloridkoncentration ppm Cl-	1000	1000	1000	200
Cykeltid, minuter	12	12	∞	12
Tid på, minuter	4	4	∞	4
Tid av, minuter	8	8	-	8
Tid till genombrott, h drifttid	56	32	89	183

Tabell 4.1: Sammanfattning av resultat av korrosionsprov

Koncentrationen som resultat av kondensation/avdunstning syns tydligt i de dagliga analyserna, se figur 4.4. Grafen visar kloridkoncentration i kondensatet från två sektioner i olika skorstenar från prov med 200 ppm kloridjoner i avgaserna.



Figur 4.4: Koncentration av kloridjoner i kondensat från två olika skorstenssektioner som funktion av tiden

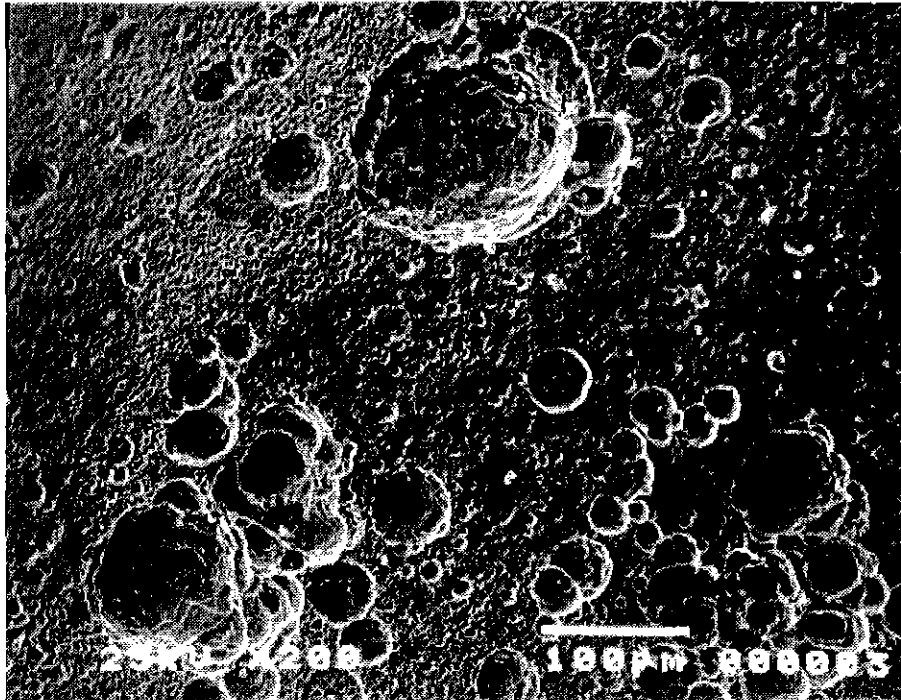


Figur: 4.5 Tid till genombrott för varje sektion

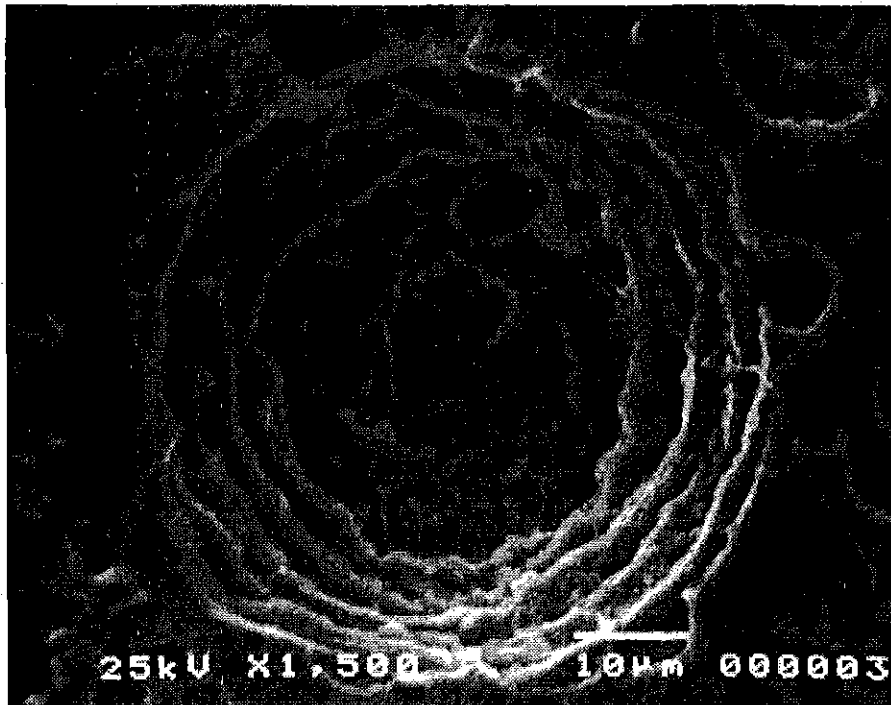
I figur 4.5 visas tiden till genombrott plottad mot kloridinnehållet i avgaserna. I figuren är väggtemperaturen noterad.

De kloridinducerade skadorna undersöktes med SEM-EDS-analys och några av resultaten visas i figurerna 4.6 - 4.9. Figurerna 4.6 och 4.7 visar insidan av ett insatsrör efter prov. Skadorna är klara fall av gropfrätning. Figur 4.8 visar utsidan av samma rör. Här syns inga skador men en viss ytojämnhet. Som jämförelse visas i fig. 4.9 ett oanvänt insatsrör.

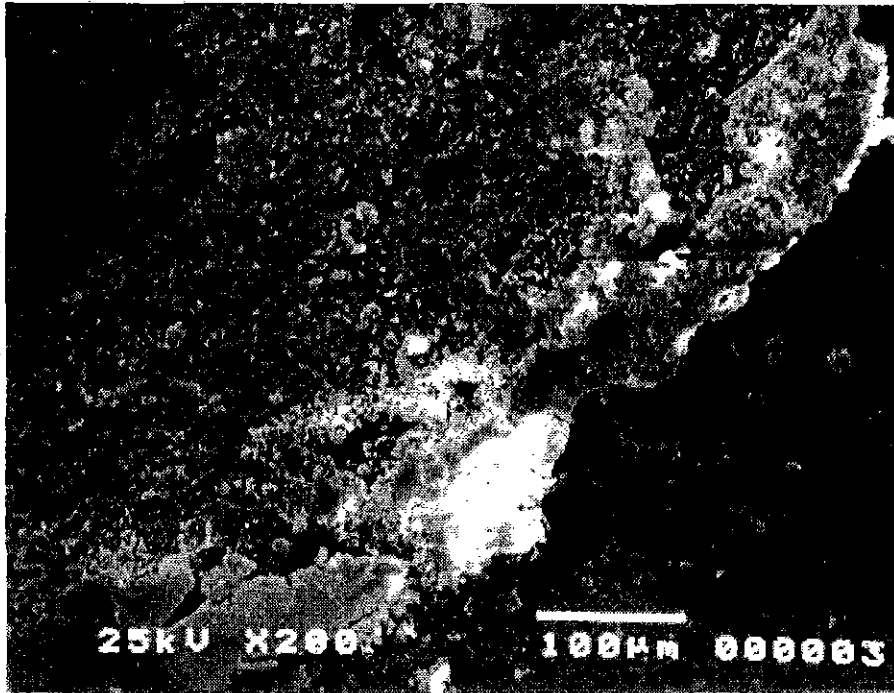
Figur 4.10 visar resultat som erhållits med SEM-EDS-analys. Bilden visar de grundämnen som finns på ytan av ett materialprov. Närvaron av klor är klar.



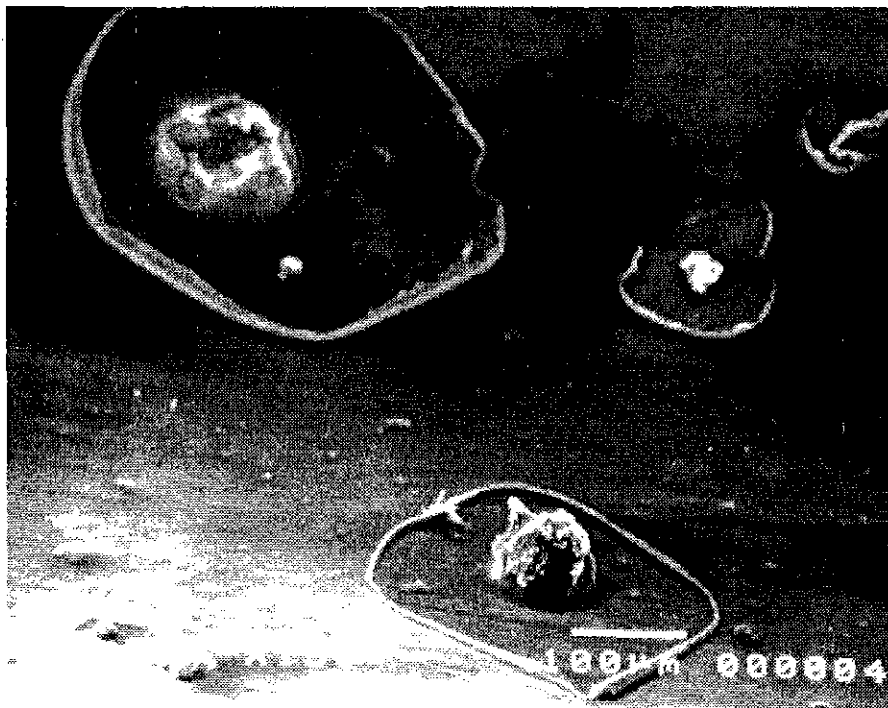
Figur 4.6: Gropfrätning på insidan av ett insatsrör, förstoring 200 gånger.



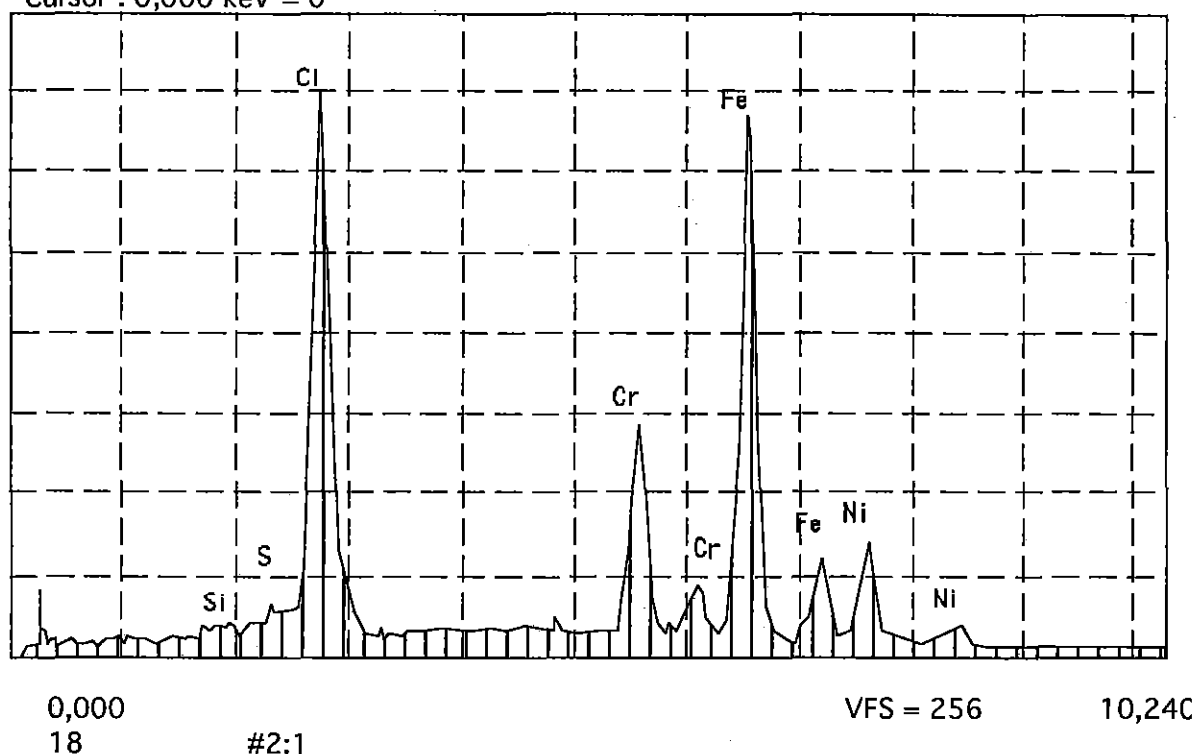
Figur 4.7: Gropfrätning på insidan av ett insatsrör, förstoring 1500 gånger.



Figur 4.8: Utsida av ett insatsrör, förstoring 200 gånger.



Figur 4.9: Utsida av ett nytt insatsrör, förstoring 200 gånger.



Figur 4.10: SEM-EDS resultat på korrosionsskada.

Resultaten av laboratorieproven kan jämföras med internationella rapporter t.ex. Farnsworth [11]. Koncentrationseffekten i kondensatet, se figur 4.4, är liknande och kan förklaras med diagrammet i figur 3.4. Där man kan utläsa att en låg koncentration genom destillation till slut uppnår ca 22 vol%. Det har visat sig att ett material som klarar syraangrepp vid kontinuerligt vått tillstånd kan vara undermåligt vid andra drifttillstånd som omväxlande torrt/vått.

Här utförda prov och prov utförda utomlands visar att en koncentrationseffekt av klorid är trolig i skorstenar speciellt när avgastemperaturerna ligger mellan 53°C och 63°C, se avsnitt 3.4.3. Under 53°C blir det ingen koncentration och 63°C överstiger daggpunkten för saltsyra. Detta tillsammans med det korrugerade insatsröret som formar dalar där kondensatet kan bli kvar och koncentreras. När ett hål uppstått kommer avgaser att läcka ut ur insatsröret. Vattenånga i avgaserna kan då absorberas och kondenseras ut i ett hygroskopiskt isoleringsmaterial. När isoleringen blir fuktig ökar dess termiska ledningsförmåga och väggtemperaturen kommer att sjunka. Detta stimulerar mer kondensering som i sin tur ökar korrosionsangreppen. Detta är en ond cirkel som en gång startad inte kan brytas utan ändringar av driften.

En första bedömning av korrosionsrisken i en skorsten kan göras genom mätningar av avgastemperaturen. Om denna understiger 150°C strax efter pannan föreligger stor sannolikhet för kondensering i skorstenen. Detta i samband med kloridjoner i förbränningsluften kan orsaka korrosion.

5 ALTERNATIVA INSATSRÖR

Utomlands används insatsrör av typer som inte finns i Sverige. En del av dessa beskrivs här men har inte utvärderats i fråga om korrosionsresistans. I Tyskland är olika insatsrör godkända för användning med pannor och ugnar men med begränsningar på godkända avgastemperaturer, det finns tre olika temperaturklasser: 80°C, 120°C och 160°C. Tabell 5.1 innehåller några material listade enligt Jannemann [14].

Maximalt tillåten avgastemperatur	Material	DIN	Svensk Standard	AISI	Anm.
80°C	Rostfritt stål PPS (polypropylen)	1.4571	SS2350		
120°C	Rostfritt stål Aluminium PVDF (polyvinyl-florid)	1.4571	SS2350		
160°C	Keramik Borosilicat glas PVDF Rostfritt stål Aluminium Rostfritt stål	1.4571 1.4404	SS2350 SS2348	 316L	Flexibelt

Tabell 5.1: Insatsrör i Tyskland enligt Jannemann [14]

Flertalet material är inte möjliga att installera på samma sätt som flexibla insatsrör. Därför kan inte några direkta jämförelser med de här undersökta insatsrören göras.

I en IGU rapport [15] finns en tabell med i olika länder av myndigheterna godkända insatsrör av aluminium och rostfritt stål i avgaskanaler med kondensering. I Österrike är aluminium förbjudet i system utan kondensering och i Kanada, Sverige och Italien är aluminium förbjudet i system med kondensering. Inget land tillåter flexibla insatsrör av aluminium eller aluminiumrör med vägg tjocklek understigande 3 mm. Flexibla rostfria insatsrör är enbart godkända i samband med kondensering i Holland och då med material AISI 316 L vilket liknar SS 2348 men innehåller 0,03 % kol istället för 0,05 %. Erfarenheterna med kloridjoner eller klorerade kolväten i förbränningsluften är i förekommande fall genomgående dåliga med sönderkorroderade pannor och/eller skorstenar. Flertalet länder har ingen eller ringa erfarenhet av insatsrör av plastmaterial. I Australien, Österrike, Belgien, Kanada, Frankrike, Holland och USA är några plastmaterial godkända med varierande krav på temperaturtålighet. Tillåtna plastmaterial i Tyskland framgår ur tabell 4.1.

I Sverige är ett flexibelt insatsrör av PVDF på väg att godkännas. Godkännandet avser temperaturer under 100°C. För att få använda detta material måste en temperaturgivare vara monterad på insatsröret och kopplad till pannans kontrollsystem så att brännaren slås av om temperaturen överstiger gränsvärdet. Insatsröret är godkänt i Tyskland för användning upp till 160°C (Institut für Bautechnik i Berlin). En av fördelarna med insatsrör av PVDF är materialets motståndskraft mot de flesta aggressiva kemikalier.

Tre länder med ungefär samma förhållanden som Sverige vad avser klimat, bostäder och pannor är Holland, Storbritannien och Tyskland. En studieresa gjordes av två av författarna till dessa länder [16][17][18]. Endast i undantagsfall används i dessa länder flexibla insatsrör tillsammans med isolering. I Holland görs undantag men det rekommenderas inte. I Storbritannien används flexibla insatsrör men utan isolering. Både Hollands och Storbritanniens installationsteknik skiljer sig från den svenska så till vida att väggpannor eller pannor monteras på ovanvåningen och därför får en mycket kort skorsten. Vid pannbyten i Tyskland monteras oftast en helt ny skorsten på utsidan av huset om den gamla skorstenen inte kan användas. Frågan om huruvida nattsänkning av inomhustemperaturen tillsammans med vissa pannor ökar risken för korrosion togs också upp och viss inverkan kan inte uteslutas. I Tyskland utförs täthetskontroll efter varje installation.

6 SLUTSATSER

Denna undersökning har försökt att förklara uppkomsten av fältskador på flexibla rostfria insatsrör och ge rekommendationer för nya installationer.

Ett antal korrosionsskador i gaseldade pannor och insatsrör har studerats. Alla skador tycks vara kloridinducerade och uppstå när vattenånga i avgaserna kondenserar. Alla pannor med skador har en avgastemperatur under 150°C och kondensation i skorstenen. Många av fältskadorna kan hänföras till åtgärder som vidtagits i samband med installationen. I några fall räcker dock inte installationseffekterna för att förklara skadorna och andra orsaker har därför sökts. Det finns ingen garanti för att ett byte till annan panna med samma avgastemperatur ger samma beteende när det gäller kondensering i pannan eller avgassystemet.

De skador som upptäckts för pannor med atmosfärsbrännare finns samtliga i rökröret eller i pannan självt, troligen beroende på låga vattentemperaturer. Inga problem med insatsrör har rapporterats och är inte troliga heller då daggpunkten sänks av dragavbrottet. Verkningsgraden är också lägre och kondensering är vanligen inte något problem.

De insatsrör som studerats här används inte i avgaskanaler i jämförbara installationer i andra länder i Europa.

De kloridhalter som använts i experimenten motsvarar de som i verkligheten kan förväntas i förbränningsluften om färgborttagningsmedel med högsta kloridinnehåll använts. I vanliga fall kan lägre kloridnivåer förväntas men beroende på koncentrationseffekter kan angreppen ske i samma takt som i experimenten.

Nya pannkonstruktioner och annan ny teknik som medför ökad verkningsgrad ställer högre krav på skorstenen med hänsyn till kondensering. Detta måste undersökas närmare och kontrolleras.

De rekommendationer som kan ges baserat på resultaten av studien är:

- Insatsröret skall om möjligt installeras och monteras så att vattenånga inte kan kondensera, dvs man skall inrikta driften på **torr drift**. Fuktig drift kan tolereras om insatsröret har en jämn insida som effektivt leder bort kondensat och därigenom hindrar avdunstning under brännarens stilleståndstid.
- Pannor med låga avgastemperaturer bör ha höga vattentemperaturer för att undvika kondensbildning i pannan. Avgastemperaturen kan höjas genom ökad brännareffekt. Dock kommer detta att minska årsverkningsgraden.
- Vattenabsorberande isoleringsmaterial kring insatsröret bör undvikas.

- Klorhaltiga isoleringsmaterial kring insatsröret bör undvikas.
- Om någon koppling inte är åtkomlig för inspektion efter installationen bör systemet täthetskontrolleras.
- Om målning av pannrummet är aktuell skall endast färger och kemikalier utan skadliga ämnen användas. Klorerade lösningsmedel skall sålunda undvikas.
- Om möjligt bör utomhusluft användas som förbränningsluft. Detta påverkar dock tryckfallet till brännaren och kan därför vara svårt att realisera.

7 REFERENSER

- [1] Näslund, Mikael; *Avgasåtervärmning i små kondenserande gaspannor*; Lunds Tekniska Högskola LUTMDN/(TMVK-7007)/1-106/(1991).
- [2] Evans, U.R.; *An Introduction to Metallic Corrosion 3rd ed.* Edward Arnold Ltd, London UK 1981.
- [3] Evans, U.R.; *The Corrosion and Oxidation of Metals, with two supplementary volumes.* Edward Arnold Ltd, London UK 1960,1968,1976.
- [4] Moore, W.J.; *Physical Chemistry*, Longmans, Green and Co Ltd, London UK 1966
- [5] Brox, B; *Anodic Dissolution and Passivity of Stainless Steels*. PhD thesis, Dept Engineering Metals, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden 1987
- [6] Metals Handbook, vol. 10; *Failure Analysis and Prevention*, ASM Handbook Committee, 8:th ed., ASM Metals Park Ohio US 1975.
- [7] Kobussen, A.G.C; Oonk, A.; Hermkens, R.J.M.; *Corrosion of Condensing Heat Exchangers and Influence of the Environment*, Proc. Int. Symp. on Cond. Heat Exchangers, Vol 1, GRI-87/0091.2
- [8] Kruse, Carl-Ludwig; *Abgasseitige Korrosion bei Öl- und Gasfeuerung*, Werkstoffe und Korrosion 7 (1986), p 344-351
- [9] Koschowitz, Michael; *Feldmessungen zur Betriebsweise von Gas-Spezialheizkesseln in Hinblick auf die Klärung der Ursachen der Halogenkorrosion*, Gas Wärme International, Band 39 (1990), p105-111
- [10] Leslie, Niel, (Chairman); *Flue-Gas Venting and Corrosion Technology*, GATC/ Industry Workshop-'92, April 23-24 1992, Washington D.C.
- [11] Farnsworth, Craig; *Materials and Design Options for avoiding Corrosion in Condensing Appliance Heat Exchangers and Vent Systems*, American Gas Association Laboratories, USA.
- [12] Samtal med Lövblad, Gun. Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning. Göteborg.

- [13] Lövblad, Gun; *Mapping Deposition of Sulphur, Nitrogen and base cations in the Nordic Countries*, Swedish Environmental Research Institute, Report B 1055, 1992.
- [14] Jannemann, Theo; *Merkmale, Marktsituation und Einsatzbedingungen der Brennwerttechnik in der Bundesrepublik Deutschland*, Ruhrgas AG Essen, Sanitär und Heizungstechnik, Sonderdruck 6/1991.
- [15] Koelewijn, A.C, Vekeman, R.R; *New Systems for Flueing and Air Supply for Domestic Appliances*, Report of Committee E, Domestic and Collective Utilization of Gases, IGU/E-91
- [16] Samtal med de Vos, Gert. GASTEC, Apeldoorn, Holland.
- [17] Samtal med Koshowitz, Michael. Ruhrgas, Dorsten, Tyskland.
- [18] Samtal med Patterson, M.C. British Gas plc, London, Storbritannien.

INSTALLATIONER MED KORROSIONSPROBLEM

Installation nummer:	1	2	3	4	5	6	7	8 ¹	9	10	11	12 ¹	13 ¹	14	15
Typ av byggnad/ antal våningar	Villa 2	Hyres-hus 3,5	Villa 1	Villa 1,5+b	Villa 1,5+b	Villa 1	Vills 1+b	Vård-hem 3	Villa 1,5+b	Vills 1	Villa	Industri	Simhall	Villa	Villa
Brännare	Bent FC46	Bent FC46	Bent FC46	Bent FC46	Bent FC46	Bent FC46	Bent FC46	Elco EGo2: 9 r-2	Bent FC46?	Atm.	Atm.	Varm lufts panna		Bent	Bent FC4
Panna	Egor EV-115	CTC 172	Albin Modul	Albin Modul	Albin Modul	Albin Mini OG 20	Albin Modul	Albin Modul	Albin Modul	TMV Gazola	TMV Gazola			Tasso 40	Albin Modul
Effekt, kW	12.5	17	17	21.3	17	17.5	15.6	47/74	15.6	12	12			17.2	16.3
Panntemp. °C	65	90	65	55		75			55		40			80	75
Avgastemp. °C	140	130	118	120		100	129	95/115	140		110		57	164	100
Målning		J		J			J		J						
Installatör		A	A	A	A	A	A	A	A		B	A		C	A
Skada i panna Ja/Nej	J	J			J	J	J	J			J		J	J	
Skada i skorsten	J	J	J	J	J		J		J				J		J
Anmärkningar	Propan /luftbländning	Samma insats-rör i inst. 9								Rökrör korroderat	Selkirk metalbestos MS	Lös-nedel TRI Corten	Klorid-dos bredvid Corten		
Skorstenslängd (m)								11		2.5			8		8,5
Arlig förbrukning 1991 kWh		58220	26044	57284	28574	35130	29461	86838	32572		36174				
Användningstid h		3424.7	1532.0	2689.3	1680.8	2007.4	1888.5		2087.9		3014.5				
Medeltid i drift %		0.39	0.17	0.31	0.19	0.23	0.22		0.24		0.34				
Lufttal	1.04	1.5	1.26	1.26		1.2	1.17	1.2	1.2		1.41			1.3	
Tid till skada (år)	1	1.5	2	0.5	4	3	0.5		1						

¹ Dessa installationer är ej jämförbara med övriga villainstallationer då de är större enheter

94-03-07

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
001	Systemoptimering vad avser ledningstryck	Apr 91	Stefan Grudén TUMAB	100
002	Mikrokraftvärmeverk för växthus. Utvärdering	Apr 91	Roy Ericsson Kjessler & Mannerstråle AB	100
004	Krav på material vid kringfyllnad av PE-gasledningar	Apr 91	Jan Molin VBB VIAK	50
005	Teknikstatus och marknadsläge för gasbaserad minikraftvärme	Apr 91	Per-Arne Persson SGC	150
006	Keramisk fiberbrännare - Utvärdering av en demo-anläggning	Jan 93	R Brodin, P Carlsson Sydkraft Konsult AB	100
007	Gas-IR teknik inom industrin. Användnings- områden, översiktlig marknadsanalys	Aug 91	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	100
008	Catalogue of gas technology RD&D projects in Sweden (På engelska)	Jul 91	Swedish Gas Technology Center	100
009	Läcksökning av gasledningar. Metoder och instrument	Dec 91	Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
010	Konvertering av aluminiumsmältugnar. Förstudie	Sep 91	Ola Hall, Charlotte Rehn Sydkraft Konsult AB	100
011	Integrerad naturgasanvändning i tvätterier. Konvertering av torktumlare	Sep 91	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	100
012	Odöranter och gasolkondensats påverkan på gasrörsystem av polyeten	Okt 91	Stefan Grudén, F. Varmedal TUMAB	100
013	Spektralfördelning och verkningsgrad för gaseldade IR-strålare	Okt 91	Michael Johansson Drifttekniska Instit. vid LTH	150
014	Modern gasteknik i galvaniseringsindustri	Nov 91	John Danelius Vattenfall Energisystem AB	100
015	Naturgasdrivna truckar	Dec 91	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
016	Mätning av energiförbrukning och emissioner före o efter övergång till naturgas	Mar 92	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	50
017	Analys och förslag till handlingsprogram för området industriell vätskevärmning	Dec 91	Rolf Christensen AF-Energikonsult Syd AB	100

94-03-07

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
018	Skärning med acetylen och naturgas. En jämförelse.	Apr 92	Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	100
019	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Glostorp, Malmö. Uppföljningsprojekt	Maj 92	Fallsvik J, Haglund H m fl SGI och Malmö Energi AB	100
020	Emissionsdestruktion. Analys och förslag till handlingsprogram	Jun 92	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
021	Ny läggningsteknik för PE-ledningar. Förstudie	Jun 92	Ove Ribberström Ove Ribberström Projektering AB	150
022	Katalog över gastekniska FUD-projekt i Sverige. Utgåva 4	Aug 92	Svenskt Gastekniskt Center AB	150
023	Läggning av gasledning med plöjteknik vid Lillhagen, Göteborg. Uppföljningsproj.	Aug 92	Nils Granstrand m fl Göteborg Energi AB	150
024	Stumsvetsning och elektromuffsvetsning av PE-ledningar. Kostnadsaspekter.	Aug 92	Stefan Grudén TUMAB	150
025	Papperstorkning med gas-IR. Sammanfattning av ett antal FUD-projekt	Sep 92	Per-Arne Persson Svenskt Gastekniskt Center	100
026	Koldioxidgödsling i växthus med hjälp av naturgas. Handbok och tillämpn.exempel	Aug 92	Stig Arne Molén m fl	150
027	Decentraliserad användning av gas för vätskevärmning. Två praktikfall	Okt 92	Rolf Christensen ÅF-Energikonsult	150
028	Stora gasledningar av PE. Teknisk och ekonomisk studie.	Okt 92	Lars-Erik Andersson, Åke Carlsson, Sydkraft Konsult A	150
029	Catalogue of Gas Techn Research and Development Projects in Sweden (På engelska)	Sep 92	Swedish Gas Technology Center	150
030	Pulsationspanna. Utvärdering av en demo-anläggning	Nov 92	Per Carlsson, Åsa Marbe Sydkraft Konsult AB	150
031	Detektion av dräneringsrör. Testmätning med magnetisk gradiometri	Nov 92	Carl-Axel Triumf Triumf Geophysics AB	100
032	Systemverkn.grad efter konvertering av vattenburen elvärme t gasvärme i småhus	Jan 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem AB	150
033	Energiuppföljning av gaseldad panncentral i kvarteret Malörten, Trelleborg	Jan 93	Theodor Blom Sydkraft AB	150

94-03-07

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
034	Utvärdering av propanexponerade PEM-rör	Maj 93	Hans Leijström Studsvik AB	150
035	Hemmatankning av naturgasdriven personbil. Demonstrationsprojekt	Jun 93	Tove Ekeborg Vattenfall Energisystem	150
036	Gaseldade genomströmningsberedare för tappvarmvatten i småhus. Litteraturstudie	Jun 93	Jonas Forsman Vattenfall Energisystem	150
037	Verifiering av dimensioneringsmetoder för distributionsledningar. Litt studie.	Jun 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
038	NOx-reduktion genom reburning med naturgas. Full- skaleförsök vid SYSAV i Malmö	Aug 93	Jan Bergström Miljökonsulterna	150
039	Pulserande förbränning för torkändamål	Sep 93	Sten Hermodsson Lunds Tekniska Högskola	150
040	Organisationer med koppling till gasteknisk utvecklingsverksamhet	Feb 94	Jörgen Thunell Sv Gastekn Center AB	150
041	Fältsortering av fyllnadsmassor vid läggning av PE-rör med läggingsbox	Nov 93	Göran Lustig ElektroSandberg Kraft AB	150
042	Deponigasens påverkan på polyetenrör	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
043	Gasanvändning inom plastvaruindustrin. Handlingsplan	Nov 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
044	PA 11 som material i ledningar för gasdistribution	Dec 93	Thomas Ehrstedt Sydkraft Konsult AB	150
045	Metoder att höja verkningsgraden vid avgaskondensering	Dec 93	Kjell Wanselius KW Energiprodukter AB	150
046	Gasanvändning i målerier	Dec 93	Charlotte Rehn et al Sydkraft Konsult AB	150
047	Rekuperativ aluminiumsmältugn. Utvärdering av degelugn på Värnamo Pressgjuteri	Okt 93	Ola Hall Sydkraft Konsult AB	150
048	Konvertering av dieseldrivna reservkraftverk till gasdrift och kraftvärmeprod.	Jan 94	Gunnar Sandström Sydkraft Konsult AB	150
049	Utvecklad teknik för gasinstallationer i småhus	Feb 94	P Kastensson, S Ivarsson Sydgas AB	150

94-03-07

RAPPORTFÖRTECKNING

SGC Nr	Rapportnamn	Rapport datum	Författare	Pris kr
050	Korrosion i flexibla rostfria insatsrör	Dec 93	Ulf R C Nilsson m fl Värme o Kraft, LTH	150