

Sodahuskommittén

Rapport 2005-1

Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

Stockholm december 2005



Sodahuskommittén

Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

**Fredrik Bruno
ÅF**

2005-08-31

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

2(74)

Handläggare

Fredrik Bruno

Tel 08-657 1324

Fax 08-657 37 57

fredrik.bruno@afconsult.com

Datum

2005-08-31

Version ordernr

1 30 31 32:25

Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor – Sammanfattning och slutsatser

Vi har undersökt bakomliggande orsaker främst till sprickbildning som uppträtt i anslutningen mellan tuberna och lådorna (främst fördelningslådorna) till ekonomisers. Härvid har inverkan av olika faktorer beaktats:

- Interna spänningar pga ojämn inre temperaturfördelning
- Interna spänningar pga ojämn utvändig temperaturfördelning
- Inverkan av sotblåsningen
- Inverkan av svängningstillstånd i panelerna

Som ett resultat av genomgången är vi benägna att tona ner förklaringsmodellen med interna spänningar i ekonomiserkonstruktionerna orsakade av temperaturskillnader mellan olika delar av dem. Snarare är vi benägna att göra sotblåsningen ansvarig åtminstone för de skador, som uppträder i de modernare panel-ekonomisertyperna (Tampellas resp. Kvaerners konstruktioner).

Beträffande de äldre två-lådesekonomisrarna från Götaverken Ångteknik AB, så kan även tuberna i dessa svänga, även om de är stagade på ett sätt som motverkar mot rörelser i pannans längsled. Stagningen sitter här så att fortfarande svängning åtminstone som grundsvängning i pannans tvärlid för hela paneler i unison svängning är möjlig.

Densitetsskillnaderna hos vattnet i ekonomisern vid olika temperaturer är fortfarande så stora att man måste tona ner antagandet att tuberna blir olika varma som en följd av skillnader i både yttre värmebelastning (t.ex. beläggningar vid vissa tuber) som inre strömningsförhållanden. Vattnet i ekonomisrarna bör rimligen vara stabilt skiktet, och då uppkommer inte – eller motverkas – de här kritiska temperaturdifferenserna.

Påverkan från själva rökgasströmningen och en eventuell återverkan genom Kårmåns virvelbildning och därmed jämförliga fenomen har vi inte funnit stöd för här.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

3(74)

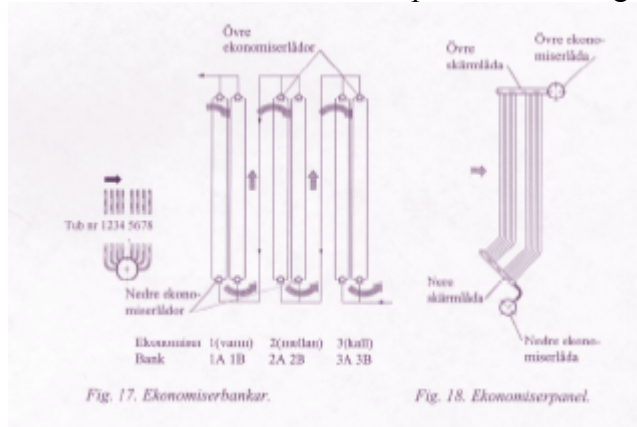
Innehåll:

1	Beteckningar.....	4
2	Skadeformer	5
2.1	Sprickbildning, inverkan av korrosion på processen	5
2.2	Sprickbildningar – läge och bildning	7
2.3	Yttre påverkan på tuberna	12
2.4	Inverkan av konstruktion.....	13
2.5	Stagning, vibrationer och inverkan från sotblåsarna.....	14
2.6	Korrosion som avfrätning.....	19
2.7	Sekundärskador	19
2.8	Att upptäcka ekonomisersprickor.....	19
3	Aktuella ekonomiserkonstruktioner	21
3.1	Äldre typ av Götaverkens ekonomisers	23
3.2	Stagning av Götaverks typs ekonomiser	25
3.3	Tampella konstruktioner	29
3.4	Stagning av Tampella typs ekonomiser	33
3.5	Kvaerner konstruktioner.....	35
3.6	Stagning av Kvaerners ekonomiserkonstruktion.....	36
4	Konstruktion.....	40
4.1	Konstruktionsdetaljer, fenor och membran.....	40
4.2	Igelkottskonstruktion.....	42
5	Påverkan från sotblåsningen.....	43
5.1	Sotångstrålen	43
5.2	Vridning av skärmarna	46
5.3	Matningstuber till paneleconomisar	48
5.4	Mätning av tubsvängningar i ekonomiserbankarna	51
5.5	Ombyggnad av äldre eko med lyror och extralådor.....	51
6	Strömning och temperaturfördelning	55
6.1	Temperaturfördelning.....	55
6.2	Variationer i värmebelastning och värmeupptag	56
6.3	Strömningsförhållanden på vattensidan i en ekonomiser.....	57
6.4	Vattenströmning i lådorna	58
6.5	Variationer i värmebelastning och värmeupptag	60
6.6	Temperaturfördelning i ekonomisern under drift och uppeldning/nedeldning.	61
7	Korrosionsbetingelser på vattensidan.....	64
8	Sekundärskador	65
9	Rökgassidan	67
9.1	Strömningsförhållanden på rökgassidan i en ekonomiser.....	67
9.2	Lågtemperaturkorrosion på rökgassidan	68
9.3	Korrosion och igensättningar med smälta salter	71
9.4	Igensättningstendenser	73
10	Erosionskorrosion i matarvattenledningarna.....	74

1 Beteckningar

I de fall där man har mer än en enda ekonomiserbank måste man ha ett entydigt beteckningssystem. Beteckningen den kalla ekonomisern för den ekonomiserbank (vilken då kan bestå av en eller två parallella ekonomiserstaplar) som är längst bak i rökgasstråket är här entydigt, eftersom både matarvattentemperaturen och rökgastemperaturen är lägre här (och vice versa i den varma ekonomisern). Beteckningar som t.ex. medför en numrering innebär lätt tvetydigheter, särskilt som man tydligt i olika fabriker kunnat numrera ekostaplarna efter i ena fallet rökgasriktningen i motsats till de som numrerat dem efter matarvattens flödesriktning.

Sodahuskommitténs Meddelande A2 ger två alternativ, dels motsatsparet varm/mellan/kall och dels en löpande numrering som följer rökgasriktningen.



Meddelande A2 utgår i all numrering från rökgasriktningen, men samtidigt så tycks löpande numrering vid många bruk vara den motsatta, d.v.s. efter matarvattenflödet. Slutsatsen blir att beteckningen varm/kall måste vara att föredra, eftersom den är och förblir otvetydig.

Parallella bankar bör fortfarande betecknas med respektive A och B med läge efter det som föreslås i A2, eftersom vi inte känner till någon annan konkurrerande beteckningspraxis.

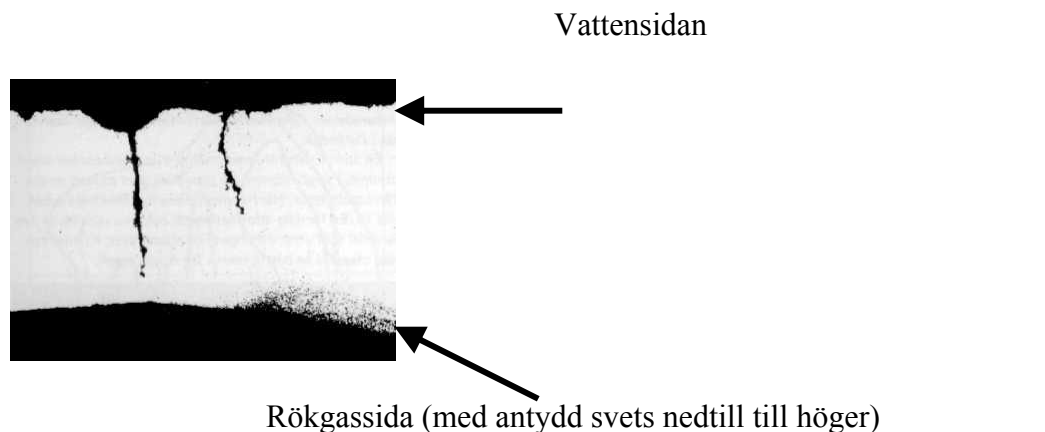
2 Skadeformer

Denna genomgång är föranledd av de återkommande skador som rapporterats till Sodahuskommittén om sprickbildning i ekonomisers. Skador uppträder i form av sprickbildning i tuberna i eller strax intill svetsarna mellan ekonomisertuberna och de nedre eller ibland de övre lådorna (fördelningslådorna resp. samlingslådorna).

2.1 Sprickbildning, inverkan av korrosion på processen

I normalfallet tillväxer de här sprickorna (alt. porerna) från vattensidan, men vad man bedömt vara initiering på rökgassidan som en följd av dålig svetsning har också förekommit.

I normalfallet intieras sprickorna i magnetitskiktet på tubens insida och växer sedan vertikalt in i tuben tills de kommer ut på andra sidan (rökgassidan). Detta vet vi eftersom vi har uttagna prover med sprickor som initierats på vattensidan men som aldrig hunnit växa hela vägen genom tubgodset så att man fått läcka på andra sidan.



Bilden visar sprickbildning i ekonomisern i Väja år 1972. Den vänstra sprickan var genomgående (lite vid sidan av snittet i bilden), medan den högra sprickan var ofullgången. Man ser rester av den kälsvets tuben var insvetsad till lådan med längst ner till höger i bilden. Sprickan har alltså börjat på vattensidan mitt emot svetsgodsets anslutning till grundmaterialet, d.v.s. där man har en utvärdig spänningskoncentration.

Den väsentlig iakttagelsen är väl att sprickbildningen går mycket lättare på vattensidan än på rökgassidan. Det behövs svåra svetsdefekter på rökgassidan för att spänningskoncentrationerna på rökgassidan skall ta över magnetitskiktets svaghet gentemot deformation av det underliggande stålet. Den helt dominerande skadeformen är sprickbildningar i ekonomisertuberna i svetsen eller alldeles intill svetsen mellan tub och låda.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

6(74)

Också dessa har ett visst samband med syre i matarvattnet, men de uppträder på de ställen där det samtidigt uppstår höga spänningar, t.ex. som följd av inspänning och termisk cykling. Spänningsbilden gör att man får skadorna i form av linjära fel, d.v.s. sprickor, till skillnad från de punktfrätningar, som nämns i avsnitt 2.6.

Sprickorna tillväxer som en följd av syre i matarvattnet och spänningsändringar, t.ex. de som uppkommer vid upp- och nedeldning. Detta beror på magnetitskiktet på insidan som skyddar tuberna mot korrosion och som är så sprött. Det behövs alltså betydligt lägre mekaniska påfrestningar, d.v.s. spänningar i ytan av tuben på vattensidan, för att det skall börja spricka, eftersom spricktillväxten till så stor del består i korrosion i botten av det uppsprickande oxidskiktet (vilket stämmer med bilden från Väja, se även sid. 59). Sprickbildningen blir därför starkt beroende av förekomsten av syre.

De spänningsändringar som ger upphov till sådana här sprickor i oxidskiktet brukar i allmänhet vara förbundna med upp- och nedeldning. I samband med nedeldning får man tunna fina sprickor i oxidskiktet som vattnet tränger in i. Det beror bl.a. på skillnaden i termisk utvidgning mellan stålet och passivskiktet, men också på de termiska spänningarna under nedeldningen och andra yttre spänningar. Under nedeldningsperioden får man sedan en syrekonzentrationscell med syrebrist i botten på sprickan och reduktion av syre på de omkringliggande magnetitytorna (en bra beskrivning finns i Värmeforsks rapport nr 53 av Göran Eklund, sept. 1977).

En annan mer svårfångad faktor är att den magnetit som bildas blir bättre beständig om den utbildas vid hög temperatur, men för det är gränstemperaturen runt eller strax över 200°C. Över denna temperatur bildas magnetit genom den s.k. Schikorr-reaktionen, vid lägre temperaturer bildas inte lika kristallint renodlade oxidskikt, vilka också följdriktigt blir mindre motståndskraftiga mot utvändiga korrosionsinfluenser.

Är sotblåsningen orsak till sprickbildning så tillväxer sprickorna emellertid under drift mer än under uppeldningsskedet i samband med stillestånd. Om man har svängningar eller spänningar i tuberna under drift så påverkar det emellertid fortfarande magnetitskiktet på samma sätt. Det krävs dock att man samtidigt har tillräckligt höga syrehalter närvarande för att det skall leda till spricktillväxt genom korrosion.

Vid dålig avgasning av matarvattnet kan dessa förhållanden uppkomma, men knappast nuförtiden. Vid uppeldningen efter ett stillestånd har man emellertid vanligen nytt friskt och därmed syrehaltigt vatten i hela pannan.

Tidigare hade man ju bland annat betydligt fler nedeldningar, i extremfall kunde pannan eldas ner varje veckohelg, och då hade man också fler tillfällen med

uppeldning med syrehaltigt vatten i ekonomiser och i panna och med möjliga sprickbildningar i magnetiskskiktet efter den föregående nedeldningen.

Om spricktillväxten sker under drift som en följd av sotblåsningen, så borde det nuförtiden vara mycket mindre syre inblandat i bilden. Fortfarande är dock det spröda magnetiskskiktet en svag länk i motståndet mot spricktillväxt genom utmattning, spricktillväxten går fortfarande snabbare på vattensidan än på rökgas-sidan.

Skador i matarvattentanken kunde också tidigare vara ett problem, skadade och nerrasade silplåtar i avgasaren kunde sätta ner dess effektivitet väsentligt. Nerrasande silplåtar i avgasaren kan ju t.ex. vara en följd av ett hastigt ångpådrag, men kan också vara en följd av ångslag.

Sprickbildningar kan ibland också uppträda i själva svetsarna som en följd av dålig svetsning eller olämpligt utformad svetsfog. Också detta är erfarenheter från tidigare, d.v.s. som inte längre känns aktuellt som förklaringsmodell.

2.2 Sprickbildningar – läge och bildning

Sprickorna uppträder mest i närheten av tubernas svetsningar till övre och nedre lådor. Mest utsatta synes också härvid fördelningslådorna (d.v.s. i våra fall de nedre) i den kalla ekonomisern vara, även om sprickor också förekommer rätt ofta vid samlingslådorna (d.v.s. de övre).

Att detta parti är mest utsatt för skador kan bero på att eventuellt förekommande syre förekommer i större mängder vid inloppet till ekonomisern än senare. Det beror på att det lilla syre som når ekonomisern från matarvattentanken sedan förbrukas i ekonomisern genom korrosion, det reagerar med järnet och bildar magnetit.

Sprickorna bildas antingen i svetsen eller ca 10-20 mm utanför svetsen. Sprickorna går här alltid i omkretsled (tubens omkretsled) och storleken på sprickan (hur lång den är) är beroende på hur länge den har kunnat ligga och läcka i det fördolda innan den upptäckts. Vi har inte rapporter om att sådana sprickor skulle förorsakat att själva ekonomisertuben gått helt av, sprickan har inte hunnit växa till mer än en mindre del av omkretsen innan den normalt upptäckts på annat sätt.

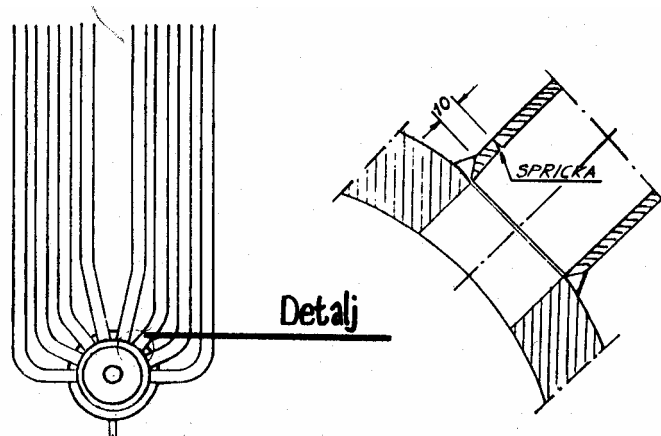
Sprickornas läge, form och orientering är ett tydligt tecken på att tuberna utsätts för böjspänningar, d.v.s. att någon kraft böjer tuben fram och tillbaka i förhållande till infästningen i lådan.

Sodahuskommittén

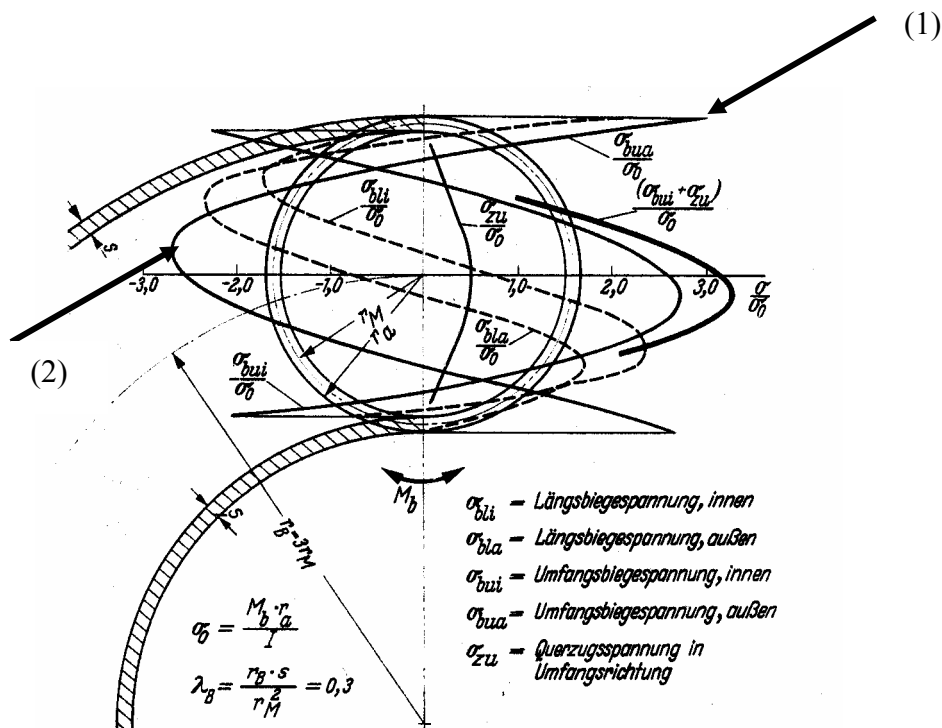


Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

8(74)



När man böjer ett cylindriskt skal, så får man först en avplattning av tubtvärsnittet där böjmomentet är som störst, även om man bibehåller det yttersta av tubändarna i cirkulär form (som en följd av insvetsningen i lådan). Den här elliptiska tvärsnittsformen får ett böjspänningstillstånd överlagrat de vanliga tryckkärlspänningarna (de senare alltså de spänningar man beräknar med den enkla "ångpanneformeln").



Vi ser här att σ_{bua} (böjspänningen i omkretsled på utsidan av tubböjen) ger en kraftig spänningstopp, större än de andra (som är kompressiv längst upp till höger i bilden (1), dels som dragning till vänster (2)). Positionen (2) ligger mitt för neutralinjen hos böjen.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

9(74)

Spänningstoppen σ_{bui} på insidan av tubväggen blir inte lika hög.

Vid böjning av en tub svetsad till en styv låda så får man en spricka i omkretsriktningen beroende på att böjmomentet är störst närmast lådan. Vid motsvarande böjning av en U-böj (överhettarslinga) får man en längsgående spricka i (längs) neutrallinjen, eftersom böjmomentet är ungefär detsamma utefter böjens längd. Skador av det senare slaget rapporteras regelbundet från primäröverhettare I och II i pannor av Götaverkentyp, där de enskilda nålarna hänger rätt fritt från varandra.

Sådana här längsgående sprickor kan uppträda i böjar också i ekonomisers, men är vanligare i böjar till överhettarslingor.



Övre böj med spricka, primäröverhettare I, Munksund

Vid böjning av tubböjen utanför tubinfästningen är böjmomentet lika stort utefter böjen och man får en längsgående spricka längs böjen.

Sprickbildningen blir på vattensidan för att även om böjspänningskomponenten på utsidan är större än böjspänningskomponenten på insidan så bidrar vattensidans sämre utmattningshållfasthet pga magnetitskiktets söndersprickning till att sprickbildningarna i alla fall initieras på insidan av tuben och inte på utsidan.

En intressant iakttagelse är att spänningstoppen (2) ligger inte exakt mitt för rotationscentrum för tubtvärsnittet utan lite utanför (ovanför i bilden). Det visar sig i praktiken att när man böjer en tubböj i sitt plan, så kommer de sprickor som bildas i den s.k. neutrallinjen att ligga lite utanför läget för tvärsnittets symmetrientrum. Neutrallinjen ligger inte mitt på tubböjen utan lite förskjutet.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

10(74)

Det hela är en följd av att tuben blir elliptisk (platt) när man böjer ihop den. Föröker man böja ut böjen istället blir böjen elliptisk på andra hållet.

Vid tubinfästningen vid lådan har man ett böjmoment i tuben som växer ju närmare lådan man kommer. Närmast lådan är tuben dock fixerad till lådan och deformeras inte på samma sätt som den gör längre ut. Resultatet blir att man antingen får sprickbildningen intill lådan på den ostörda tubytan någon centimeter ut ifrån svetsen eller just mittemot svetsens anslutning till tuben, eftersom själva svetsrågen kan bidra med en spänningskoncentration som kan ta över de rena rörspänningarna. Det är nu σ_{bli} , böjspänningen i längsled på tubens insida som är bestämmande för om det skall bildas tvärsprickor. Spänningstoppen för σ_{bla} på utsidan är visserligen större, men också här gäller samma förhållande mellan spänningen på rökassidan och spänningen på vattensidan.

Spänningstoppen ligger inte precis i mitten, utan en bit ner, vilket innebär att man har två spänningstoppar var och en en liten bit åt var sida från böjningsplanet, vilket gör att de sedan sätter sig samman till en längre spricka runt "ryggen" på tuben.

Fortsätter man att böja det här cylindriska skalet (d.v.s. röret), så övergår den elliptiska tvärsnittsförmen till att man får en plastisk led tvärs röret. Tubytorna böjer ihop till ett veck och i ytterändarna på vecket finns verkningsspunkterna för de största böjspänningarna i tuben. Då är man dock långt bortom det som händer i en ekonomisertub, men det är ändå illustrativt för att visa var och hur spänningstopparna ligger och hur de uppstår.

Är den ena änden av tuben fix, t.ex. genom att man har svetsat tuben till en större, kraftigare och betydligt styvare låda, så får man verkningsspunkterna för de maximala spänningarna en liten bit utanför svetsen. Samtidigt så har man en ganska kraftigt spänningskoncentration i övergången mellan kälsvetsen och tuben. Det innebär att man får två ställen där sprickbildning från vattensidan är gynnad, dels kan de starta på vattensidan en bit utanför svetsen och dels kan de starta mittemot svetsrågens anslutning till tuben. I allmänhet blir sprickorna i omkretsled runt tuben, men det har faktiskt förekommit enstaka rapporterade fall med sprickor i tubens längsled.

I undantagsfall kan det finnas sprickor längre ut från svetsen. De ligger då gärna i den tubböj som i allmänhet finns en bit utanför svetsen. Här blir spänningstillståndet mer komplicerat. Sprickorna vill nog här närmast bli longitudinella, d.v.s. parallella med tubens längsriktning.

Det borde gå att göra ett antagande om spänningarnas och de yttre krafternas sannolika fördelning i rummet. Sprickorna förefaller oftast finnas nära tubens symmetriplan (tubskärmens plan). Det ligger då nära att anta att tuben fjädrar ut

Sodahuskommittén

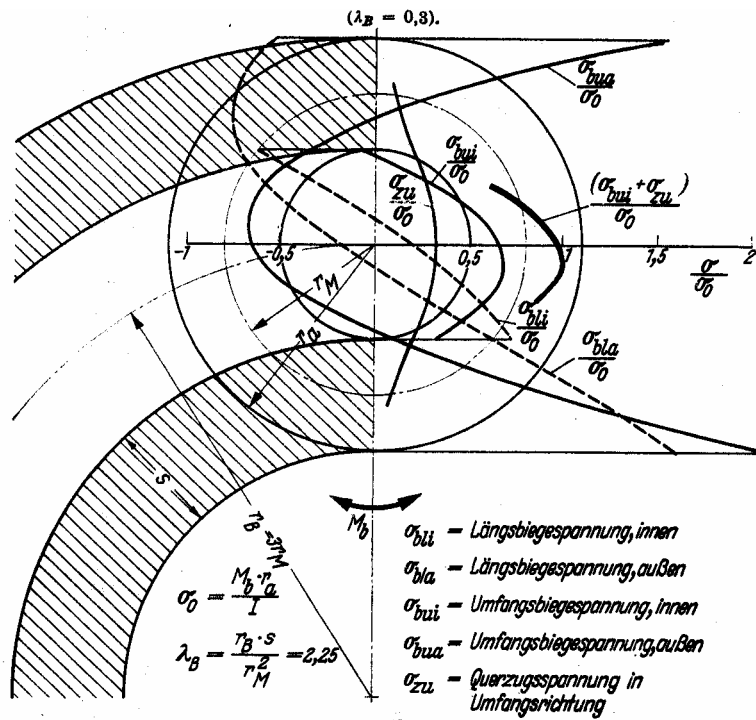


Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

11(74)

i sidled (från tubskärmens plan). Det andra alternativet är att tuben böjer ut i skärmens plan.

Tuberna i en skärm är i allmänhet stagade till varandra, ibland är de stagade i någon ytterända av skärmen till de intilliggande skärmarna också. Hur sotblåsarna kan påverka utböjningen av ett knippe tuber eller en hel tubskärm diskuteras i avsnitt 5.



Studerar man tubböjningen av en tjockväggig tub blir skillnaden mellan spänningstopparna på tubväggens rökgassidan och vattensidan tydligare. Samtidigt blir inte tvärsnittet lika elliptiskt deformerat med den tjockväggiga tuben. Man får en dubbel effekt.

Dels medverkar den högre väggjockleken till att böjspänningarna för samma böjmoment blir mindre.

Dessutom blir tvärsnittet mindre elliptiskt, vilket minskar spänningstopparnas accentuering i förhållande till de rena böjspänningarna som man får när man räknar på böjning av en massivt stång med runt tvärsnitt. Bägge dessa faktorer bidrar till att minska sannolikheten för uppkomsten av sprickbildning.

Slutsats: Det är fördelaktigt att använda tjockväggigare och därigenom lite klumpigare tuber till ekonomisern. Detta är ytterligare ett argument för den s.k. igelkottmodellen med korta tjocka stumpar på lådan som man skarvar tuberna till.

Minskningen av värmegenomgången på grund av den tjockare tubväggen är försumbar i jämförelse med värmeöverföringsmotståndet (α) på rökgassidan.

2.3 Yttre påverkan på tuberna

Orsaken till utböjningen kan förutsättas antingen vara vibrationer eller motsvarande eller inre spänningar i tubpaketet. Vibrationer skulle kunna initieras på sådana ställen där gasströmningen i huvudsak är vinkelrät mot tubernas längsriktning, d.v.s. där rökgasströmningen antingen går in eller där de går ut ur ekonomiserbanken. I området emellan är rökgasströmningen parallell med tubernas längsriktning, och det borde inte föranleda att det skulle initieras några vibrationer.

Strömningshastigheten på vattensidan är mycket långsam, så det verkar inte som om strömningen i sig skulle kunna orsaka några störningar hos ekonomiserbankarna.

Uppkommer det stora interna temperaturskillnader inom ekonomiserbankarna eller inom ekonomiserskärmar, så kan det antas att kommer att leda till inre spänningar i ekonomisern, vilket skulle kunna ge upphov till skador.

För att bilda sprickor av korrosionsutmattningsskaraktär bör vi också kräva att de här interna spänningarna inte bara är tillräckligt stora, utan att de också är repetitiva, d.v.s. spänningen växlar mellan höga och låga värden. Det är inte sannolikt att de här sprickorna är orsakade av någon form av statisk belastning.

Den bakomliggande orsaken till detta förhållande är att passivskiktet bildas på tubens yta under drift, d.v.s. när tuben är under spänning som en följd av det inre trycket. Spänningarna mellan tubmaterialet och passivskiktet uppstår därför när man eldar ner inför ett stillestånd, inte när man eldar på pannan efter det.

Visserligen förekommer också spänningskorrosion på vattensidan av pannor och visserligen är den då syre-initierad, men sprickorna har en annan form, där man mer kan iaktta de typiska drag som gäller för SCC. Här är sprickorna raka och lite bredare vilket talar för modeller som liknar spänningsinducerad korrosion.

Spänningsinducerad korrosion orsakas av att spänningarna (spänningsändringarna) vid upp- eller nedeldning spräcker sönder magnetitskiktet på tuben insida. Kommer det sedan i kontakt med syre får man galvanisk korrosion i botten av sprickan. Den spänningsinducerade korrosionen drivs i allmänhet framåt av de spänningar och den syretillförsel som främst uppstår vid upp- och nedeldning av pannan. Sprickorna i passivskiktet bildas främst vid nedeldningen och korrosionen i dem sker i samband med uppeldningen.

Här är det känt att sprickor med läckor åtminstone förr kunde uppträda i ekonomisern redan efter förhållandevis kort drifttid, vilket också talar för att det är någonting annat än enbart förhållandena vid upp- och nedledning som är avgörande för sprickbildningens uppkomst.

2.4 Inverkan av konstruktion

Det finns en tendens för sprickbildningarna att bildas i de tuber i den enskilda panelen som man uppfattar som styvare än de andra i samma panel. Detta har bl.a. medfört en konstruktionsförändring hos panelekonomisrarna, så att där man i Tampellas tidigare konstruktion hade snett liggande fördelningslådor, vilka ansluter till askfickan, så håller man nu på och prövar med raka nederlådor, liknande dem som Kvaerner nu använder. Då uppnår man en konstruktionsförändring, där alla tuber blir lika långa.

Eftersom tuberna är raka så kommer de samtidigt att bli rätt styva. Spänningarna i panelen mellan de olika tuberna skulle därför kunna antas blir rätt höga om man nu skulle få olika temperatur i bredvidliggande tuber.

Eftersom tuberna är raka, så finns det inte heller några tubböjar och om tuberna blir olika varma och därigenom också blir olika långa så får man i första hand enbart längsspänningar i dem. Det innebär att om tuberna också är tillräckligt stagade i sidled så riskerar man inte knäckning av dem. Så länge tuberna inte böjer ut, så borde därför risken för sprickor intill tubinsvetsningarna till lådorna i alla fall trots den styvare konstruktionen vara mindre. Särskilt om en tub är kallare än de övriga, så att man får dragspänningar i den, så borde det behövas ganska stora temperaturskillnader för att det skulle utmynna i skador.

Sett utifrån detta resonemang så borde panelekonomisrar med raka lådor vara att föredra framför motsvarande med sneda lådor och bockade tuber. Skadeerfarenheterna pekar hittills också åt det hållet och ombyggnader som aviserats går i samma riktning.

För de äldre Götaverken-ekonomisrarna prövar man med att göra utsatta tuber mer eftergivliga genom att förse dem med stora lyror. Tuber med stora lyror blir med nödvändighet mer eftergivliga än mer raka tuber. Om det är bra eller dåligt beror på hur skadorna uppkommer och det är därför viktigt att se om det är inre spänningar i ekonomiserskärmen (ekonomiserbanken) eller vibrationer eller utböjningar som är den bakomliggande orsaken till de skador som uppkommer.

De inre spänningarna orsakas alltså av termiska spänningar, d.v.s. interna temperaturskillnader inom konstruktionen, medan vibrationer skulle kunna uppkomma på grund av rökgasströmningen. Vid sidan av dessa har vi då också de krafter som uppkommer genom sotblåsningen.

2.5 Stagnation, vibrationer och inverkan från sotblåsarna

Ekonomiserskärmar är ju långa i förhållande till tubdiametern och de har därför konstruerats med olika former av uppstagning för att förhindra vibrationer och utböjningar. Det innebär att tuberna hindras att röra sig, medan krafter överförs på stagen. Dessa krafter uppkommer oavsett om det är inre eller yttre spänningar som är orsaken till sprickbildningen. De skador som uppkommer mellan tuberna och stagen behandlas i avsnitt 4.1.

Stagen hindrar rörelserna från de yttre krafterna (vibrationer och sotblåsning), men förvärrar samtidigt de inre spänningarna eftersom tuberna blir än mer upplåsta genom att de är stagade.

För att förhindra vibrationer och utböjningar bör man flytta stagen mot mitten av tublängderna. Samtidigt bör man placera stagen så att de inte ligger i nodpunkterna för de utböjnings- och svängningsmönster som kan ifrågakomma.

Sitter stagen exakt på mitten till exempel, så är ju fortfarande den första översvängningen obehindrad. Stagen bör därför sitta något förskjutna från mitten och oregelbundet, så att största möjliga mängd översvängningar förhindras.

Var nodpunkterna hamnar måste man räkna ut, tuberna är ju inte heller alltid raka, så utböjningsmönstret blir komplicerat, men inte omöjligt att beräkna. Att sätta stag på avstånden $0,4 \times$ längden och $0,7 \times$ längden kan kanske vara en rimlig ansats om man inte vill beräkna utböjningsmönstret exakt.

Sätter man stagen på lite avstånd från lådorna, så blir de anslutande tublängderna lösare ju längre från lådorna och närmare mitten man placerar stagen. Tittar man på ritningar av Göteverkstypsekonomiserna verkar stagen också som mest ligga ungefär på det här viset.

Stagen är ofta förskjutna, vilket skulle ge olika vibrationsmönster i olika paneler. Man uppnår då en effekt att olika vibrationsfrekvenser motverkar varandra, så det förefaller väl underbyggt. Ofta ligger stagen så att de delar upp tublängden i tre ungefär lika delar. Den översvängning som då skulle vara möjlig (den andra översvängningen) är dock så mycket svagare än grundsvängningen att tubinfästningen borde bli ganska lite påverkad. Ju ojämnare förhållanden mellan längderna, desto bättre dämpning.

Förskjuter man stagen mot mitten så kan påverkan från sotblåsarna på tubinfästningen bli starkare, det beror på var blåsarna ligger. Kraften från sotblåsarna är ganska häftig. Vi har tidigare räknat med en kraft på ca 800 Newton från ångstrålen, naturligtvis beroende på dysdiameter och sotångtryck mm (800 N för $q=0,9$ kg ånga per sekund, $w=950$ meter/sekund, 22 mm dysa, 22 bar sotångtryck, se Rune Andersson, Diamond Superior: Sodahuskonferensen år 1977, sid 62).

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

15(74)

Kraften blir ungefär hälften av detta om den skall orsaka en sidoutböjning istället för en ren återfjädring av tuben. Sen får man dela upp den på det antal tuber som är förbundna med varandra.

Vi kan analysera en tidigare beräkning, där vi beräknat utsvängningen vid en 23 meter lång tub $\text{Ø}63,5 \times 5$ mm infäst i bägge ändar och i det fallet också 8 tuber var kopplade till varandra. Det typfallet skulle ge en högsta böjspänning i ytterändan om ca 50 MPa (= N/mm²). En så låg spänning räcker normalt inte till att ge upphov till utmattningssprickor på en provstav utsatt för en pulserande dragning och med luftatmosfär. Här tillkommer dock två aspekter, den ena är att sprickorna bildas på vattensidan, som är mer känslig för utmattningssprickbildning, den andra är att de högsta spänningarna beror på tvärsnittets "elliptisering". Det innebär att den verkliga spänningsamplituden blir större än den formella man får om man bara räknar på böjmoment och yt-tröghetsmoment.

Nyare mer effektiva sotblåsare har ju ofta åtföljts av en accentuering av skadefrekvensen. Även om vi inte har indikationer från ekonomisrarna utan från andra delar av pannan (överhettare och tvådomstubsatser), så är sotblåsarnas roll uppenbarligen inte att bortse ifrån även här.

Vi har tidigare räknat på sotblåsningens inverkan både på överhettartuber och på gittertuber (ca 10 meter långa) och funnit att sotblåsningen ligger på gränsen, d.v.s. att sotblåsningen under olämpliga förhållanden (spänningskoncentration, höjt sotångtryck eller liknande) kan bli orsak till sprickbildning, särskilt då på vattensidan, där det spröda magnetitskiktet som skyddar metallen i tuben mot korrosion spricker sönder och syre i pannvattnet (eller vattensönderdelning) kan ge korrosionsreaktioner. Speciellt i en ekonomiser kan ju problem med avgasningen ge restsyre i inkommande matarvatten, vilket skulle göra ekonomisertuberna mer känsliga än andra tuber i sodapannan.

Eldstaden fungerar ju som sin egen avgasare, så där är ju alltid syrehalten i pannvattnet näst intill obefintlig. Skador som inte skulle kunna uppträda i eldstaden kan därför uppkomma under drift i ekonomisern, medan vi mer har förklarat motsvarande skador i eldstaden med vad som händer under uppeldningen, då man fortfarande har syre i det vatten som finns i panntuberna.

Det gör att sprickorna kan få lite olika utseende när man studerar dem som metallografiska snitt i metallmikroskopet.

I ekonomisern har vi ju ingen annan avgasning än den som sker i matarvattentanken (inklusive syreducerande kemikalier). Restsyret försvinner ju också i ekotuberna som en följd av korrosion i tuberna i god tid innan matarvattnet hunnit vidare till tilloppet i domen.

I vissa fall synes det uppenbart att sotblåsarna har hjälpt till att bryta upp stagningsstrukturen i ekonomiserpaketen. Det beror på hur skärmarna hänger ihop.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

16(74)

Om tuberna är stagade till varandra i skärmen och fixa i bakkanten (d.v.s. mot intilliggande uppåtgående rökgasdrag), kan skärmen tänkas svänga som en pendel runt bakkanten när sotblåsaren passerar.

Bilderna från Kvaerners skärmar antyder att stagningen inte skulle vara dragen över sotblåsargatan, så den här antagna svängningsrörelsen skulle kunna motverkas.

Även om stagningen är dragen över sotblåsargatan borde skärmarna kunna svänga, d.v.s. om man antar att skärmarna på var sida om sotblåsargatan svänger i takt med varandra. Det skulle de kunna göra om dysorna ligger mitt emot varandra, som är vanligt i äldre sotblåsarlansar, istället för förskjutna i förhållande till varandra, som t.ex. Diamond Power har i sin nya konstruktion.



Paneler till ekonomisern i Gruvöns SP5 (Kvaerner Pulping)

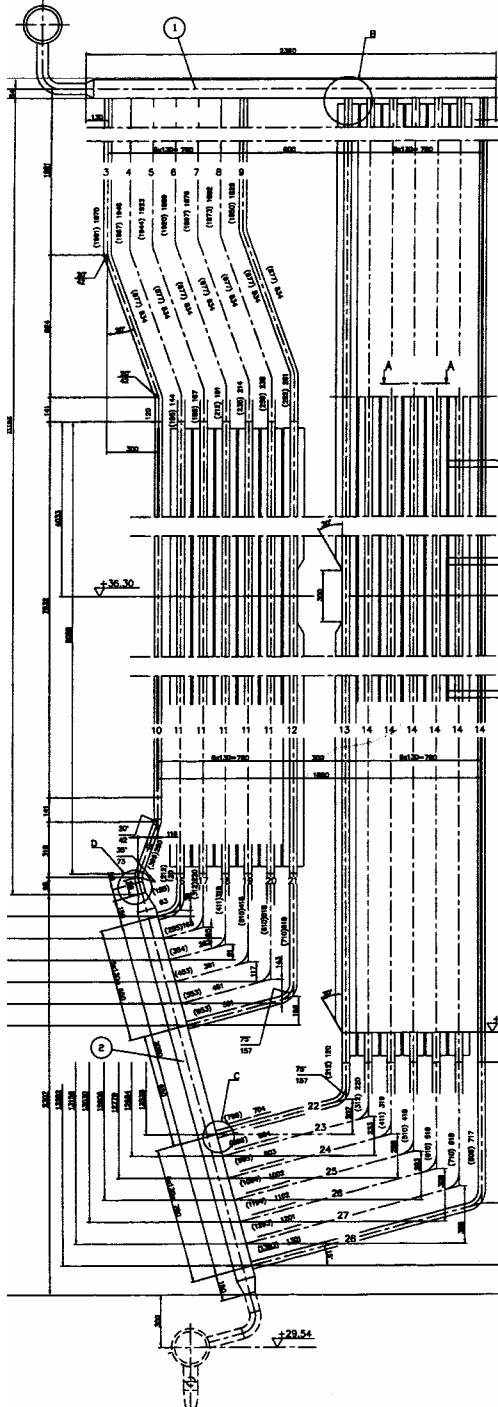
Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

17(74)

Samma gäller Tampellas skärmar, som här i Kappas (vänster) och Korsnäs SP5 (höger) pannor:

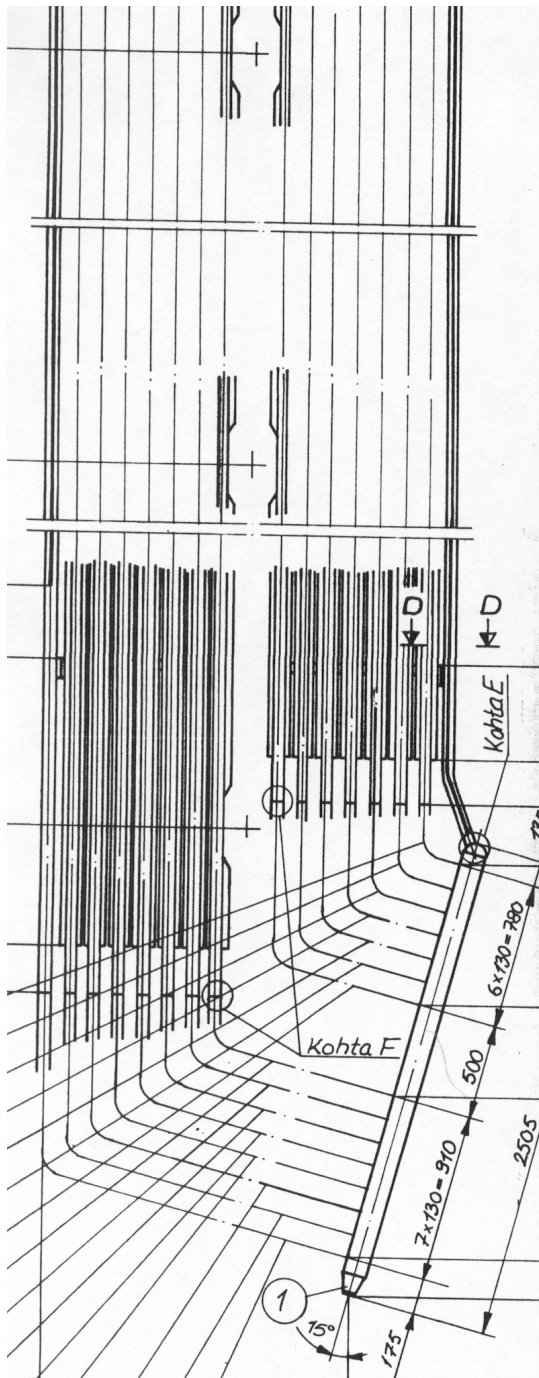


Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

18(74)



En ekonomiserbank som är så tät som Tampellas och Kvaernes modeller är svåra att åtgärda i efterhand – man kommer inte åt annat än de allra yttersta panelerna.

2.6 Korrosion som avfrätning

Skador i form av allmänkorrosion på rökgassidan har inte rapporterats annat än i vissa enstaka undantagsfall.

Inträffade skador på vattensidan är mer eller mindre detsamma som de sprickbildningar som uppträder intill tubinsvetsningarna vid lådorna. Det har i enstaka fall rapporterats om gropkorrosion ("punktfrätning") på vattensidan i närheten av den kalla änden, d.v.s. där matarvattnet tillförs.

Skador på rökgassidan kan uppkomma i form av s.k. lågtemperaturkorrosion, d.v.s. kondensation eller deponering av svavelsyra från rökgasen på sådana ytor i ekonomisern som inte är varmare än svavelsyrans daggpunktstemperatur, se avsnitt 9.2.

Problem med lågsmältande salter kan teoretiskt sett också uppkomma, också de som en följd av höga SO_2 och SO_3 -värden i rökgasen. Förekommer lågsmältande salter i smält form i ekonomisern är det dock troligare att man får problem med okontrollerad tillväxt av sulfatbeläggningarna än att det leder till korrosion. I övre och bakre delen av eldstaden, där materialtemperaturerna är högre, kan dock sådan korrosion förekomma, se avsnitt 9.3.

2.7 Sekundärskador

Sprickbildningarna kan ibland ge upphov till sekundärskador. Det vatten som sprutar ut genom sprickorna träffar intilliggande tuber och korroderar dem, så att det uppstår stora partier med tunt tubgods. Ibland kan detta tubgods bli så tunt att tuben fläker av den anledningen, men oftast upptäcks skadorna i ett tidigare skede.

Om de förtunnade partierna är stora, så riskerar man en stor uppfläkning och ett stort och plötsligt vattenflöde. Om de förtunnade partierna har endast liten utsträckning får man oftast en betydligt mindre uppfläkning och därigenom ett mindre vattenutflöde. Det har därför betydelse hur stor spridningen är av det utströmmande vattnet från primärläckaget och hur stort avståndet är mellan primärskadetuben och de intilliggande tuberna. Det avgör hur stor sekundärskadan blir om det går så långt att man inte upptäcker vattenförlusten förrän sekundärskadetuben brister.

2.8 Att upptäcka ekonomisersprickor

Ekonomisersprickorna uppträder företrädesvis på vissa kända ställen, i vissa tuber (se t.ex. avsnitt 3) och oftast inom den närmaste decimetern från respektive fördelningslåda. Beroende på ekonomiserns konstruktion kan det vara mer eller mindre svårt att komma åt de aktuella ställena med en ultraljudsökare.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

20(74)

Ekonomisers av nyare Kvaernertyp och av Tampellatyp samt ekonomisers från Ahlström har lådor som sitter så tätt att man svårligen kommer emellan med handen.



Kvaerner panelekonomiser sedd underifrån med matningstuber som går från första fördelningslådan upp till de enskilda skärmarna. Rör sig skärmarna i förhållande till askfickan måste elasticiteten i de lyror vi ser här ta upp den utböjning som sotblåsningen åstadkommer.



Bilder som illustrerar hur tätt skärmarna sitter i en panelekonomiser. Fördelningslådorna är förskjutna för att få plats (Här: Mörrum SP3, Kvaerner).

I Kvaernerekonomiserna kommer man visserligen åt lådorna underifrån, men lådorna sitter så tätt att man måst placera dem i zick-zack för att de skall få plats i sidled. Möjligen kan man komma åt de skärmar som har lådorna i nedre läget, men knappast de där lådan ligger i det högre läget.

Dessa ekonomisers har dock hittills inte varit utsatta för sprickbildning vid lådorna. Däremot har det förekommit att fenorna (membranen) på tuberna har varit för tvärt avskurna, vilket kunnat medföra att tuberna gått av i den positionen. Tyvärr är det svårt att komma åt att justera fenändarna utan att skära sig in i ekonomisern, vilket gör det mindre attraktivt att åtgärda fenändarna i förebyggande syfte.

3 Aktuella ekonomiserkonstruktioner

Undersökningen begränsar sig till vattenrörsekonomisar i sodapannor. Härutöver finns äldre typer med gjutna kamflänsar, i allmänhet dragna över ett inre stålrör. Det finns fortfarande enstaka exemplar med denna konstruktion kvar i drift, men typen är på utgående.

Sodapannor verkar inte förekomma i tvådragsutförande med ett nedåtgående drag med överhettare och ekonomisar med horisontella tuber tvärs det nedåtgående rökgasschaktet, vilket annars är en för sopförbränningspannor och biopannor vanlig konstruktion. Här skulle man kunna förvänta sig interna strömningsproblem i ekonomisrarna om tilloppet läggs högre än utloppet.

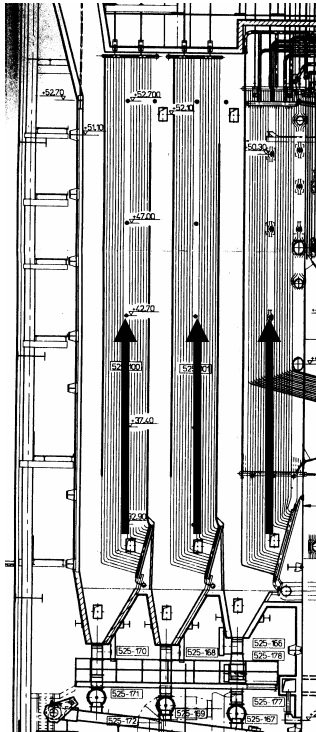
För de vattenrörsekonomisar som finns särskiljer vi två huvudtyper,

- dels de tubsatsformade ekonomisrarna med en fördelningslåda längst ner och en samlingslåda i toppen på ekonomiserpaketet, som kan bestå av med rökgasriktningen parallella skärmar med normalt 6 eller 8 tuber i varje skärm och ett beroende på pannans storlek 60-80 tal sådana skärmar tvärs pannan för varje ekonomiserstapel.
- dels panelekonomisar med fristående paneler med kanske 8-12 tuber i varje panel och med ett 80-100-tal parallella sådana tubpaneler i varje ekonomiserstapel.

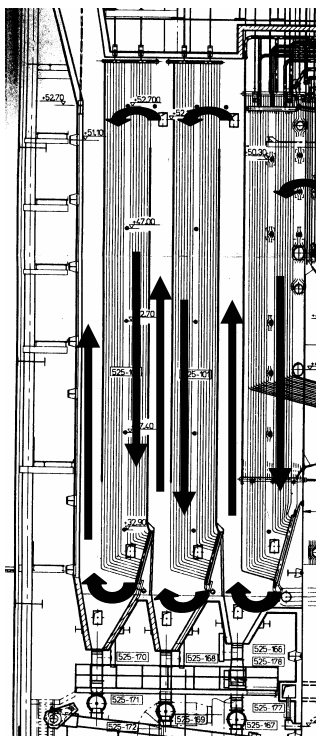
Tubdragningen är så långt vi känner till genomgående (för vattenrörsekonomisar) vertikal med fördelningslådan längst ner och samlingslådan högst upp. I utländska fabriker kan ekonomisar med horisontella tuber placerade i ett nedåtgående andra drag förekomma (?), men annars är den konstruktionen inte använd i Sverige för sodapannor, men väl för pannor med andra bränslen.

Skiljeväggarna mellan ekonomiserbankarna och de mellanliggande uppåtgående rökgasdragen är antingen i form av plåtväggar eller genom att man förbundit de yttre tuberna på något sätt, så att en tillfredsställande gastät vägg har uppkommit mellan eko-banken och rökgasdraget. Här förekommer olika konstruktioner för att bilda denna täta vägg, både med två-lådetyper (som i Tofte) och med fenor/membran mellan tuberna, som vid panelekonomisar i Korsnäs SP5 eller Gruvöns TP5.

Kall Varm Tubsats



Rökgasströmning



Vattenströmning i de enskilda bankarna

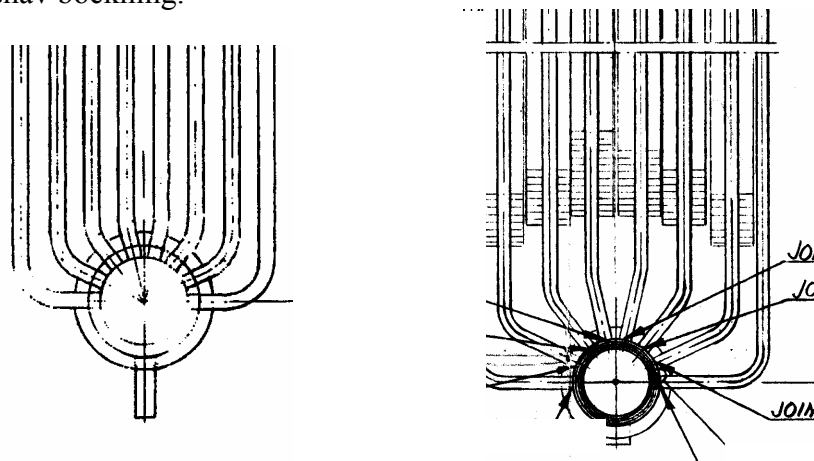
Exemplet från Korsnäs SP5

Genom tubdragningen och strömningsriktningen erhålls att vattenskiktningen i ekonomisern tenderar åt det stabila hållet (se avsnitt 6.6. Man får varmare och lättare vatten högst upp och kallare och tyngre vatten nedanför. Det ger inte spontan interncirkulation i ekonomisern.

Pannans ekonomiser innehåller sedan ett antal sådana ekonomiserstaplar, dels kopplade i serie och ibland med vardera två ekonomiserstaplar parallellt i varje rökgasdrag. Seriekopplat kan man ha 1-3 ekonomiserstaplar.

3.1 Äldre typ av Götaverkens ekonomisers

De traditionella Götaverkenekonomiserna består av tvärgående fördelnings- och samlingslådor och med ca 50-100 skärmar med 6 eller 8 tuber i varje skärm. Är ekonomisern utförd efter ca år 1975 är tuberna utförda med påsvetsade värmeöverförande fenor, medan äldre utförande är med släta ofenade tuber och en mer snäv bockning.



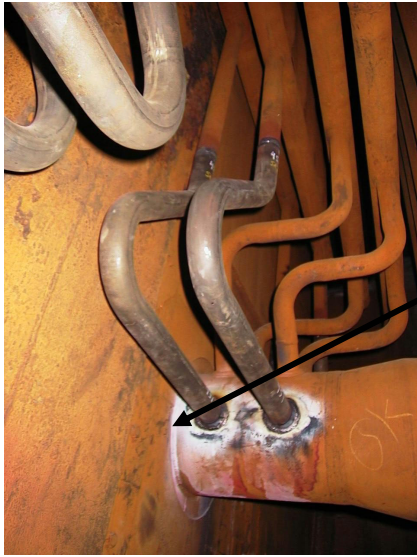
Äldre (här Aspa) och senare (här Aracruz, panna A) utförande av ekonomiserbank.

Konstruktionsändringen skedde i och med Skutskärspannan 1976. Antalet tuber i varje skärm kan vara 6 eller 8 i bägge fallen.

Rökgasstråken har plåtväggar, så själva ekonomiserbanken fungerar inte som vägg i rökgasstråket. Undantag finns, som Tofte, där man dragit ihop två tubader till en enda, så att man fått en kontinuerlig rad med tuber, som tillsammans gett en gastät vägg.

Den konstruktionen har haft sina egna problem, eftersom svällning av sulfatbeläggningarna här har medfört deformationer av tuberna.

Lådorna är normalt dragna genom plåtväggarna, vilket borde innebära risk för termiska spänningar mellan lådorna och väggarna.



*Lådan går ut genom plåtväggen.
Bilden från omkonstruerade tubbanken i Moss.*

Bankarna blir ju något hundratal grader kallare än väggarna och det innebär att lådorna inte får vara för styvt infästade i den bärande konstruktionen. Uppstår det spänningar borde dock ekonomiserbankarna vara den styvaste delen, även om det kan ge en del tillsatsspänningar även i dessa.

Lådorna är så kraftiga (ofta dimension 406x45 mm), så att de böjer sig knappast ens för dessa krafter. Lådorna har en väl avpassad tvärarea, så vattenströmningshastigheten vid en god spridning av vattnet vid inträdet i lådan borde medföra hastigheter på 10-15 cm/sekund. Så låga hastigheter ger inte upphov till några förväntad påverkan på strömningsbilden i själva "tubpaketet", tex. fördelningen av strömningen mellan de olika skärmarna.

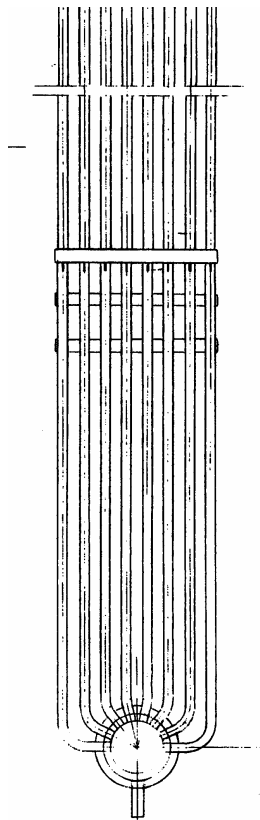
Annars så är det ett tydligt drag med dessa ekonomisers, att sprickbildningen uppträder till en överväldigande del i den yttersta, eller ibland i de bägge yttersta, skärmarna, d.v.s. närmast de bägge inloppen. Det borde antyda ett samband mellan skadebilden och t.ex. vattenströmningen i inloppet till lådan eller mängden beläggningar på de yttersta skärmarna, eller kylningen av de yttersta skärmarna genom den nära kontakten med plåtväggen och murningen.

Dessa ekonomisers har från början varit rätt korta, ca 10-12 meter, men har på senare år gjorts längre, t.ex. runt 16 meter i pannor som Aracruz och Skutskär och över 20 meter i t.ex. Östrand.

Senare konstruktioner tycks ha klarat sig från skador av det här slaget, vilket dels kan bero på den ökande längden, men också skillnaden i styvhet hos konstruktionen som åskådliggörs vid en jämförelse mellan de bägge konstruktions typerna pekar i samma riktning.

3.2 Stagning av Götaverks typs ekonomiser

Ekonomiserbankarna av Götaverkstyp är enligt ritningarna stagade med tvärstag på två nivåer för varje skärm. Stagen är i form av bultade tvärstag som sitter tvärs varje skärm. Man har valt att lägga dem olika högt på olika skärmar för att det inte skall bildas bryggor av beläggningar på dem som skulle kunna täppa till rökgasdraget. Ett exempel på äldre konstruktion är Aspa:

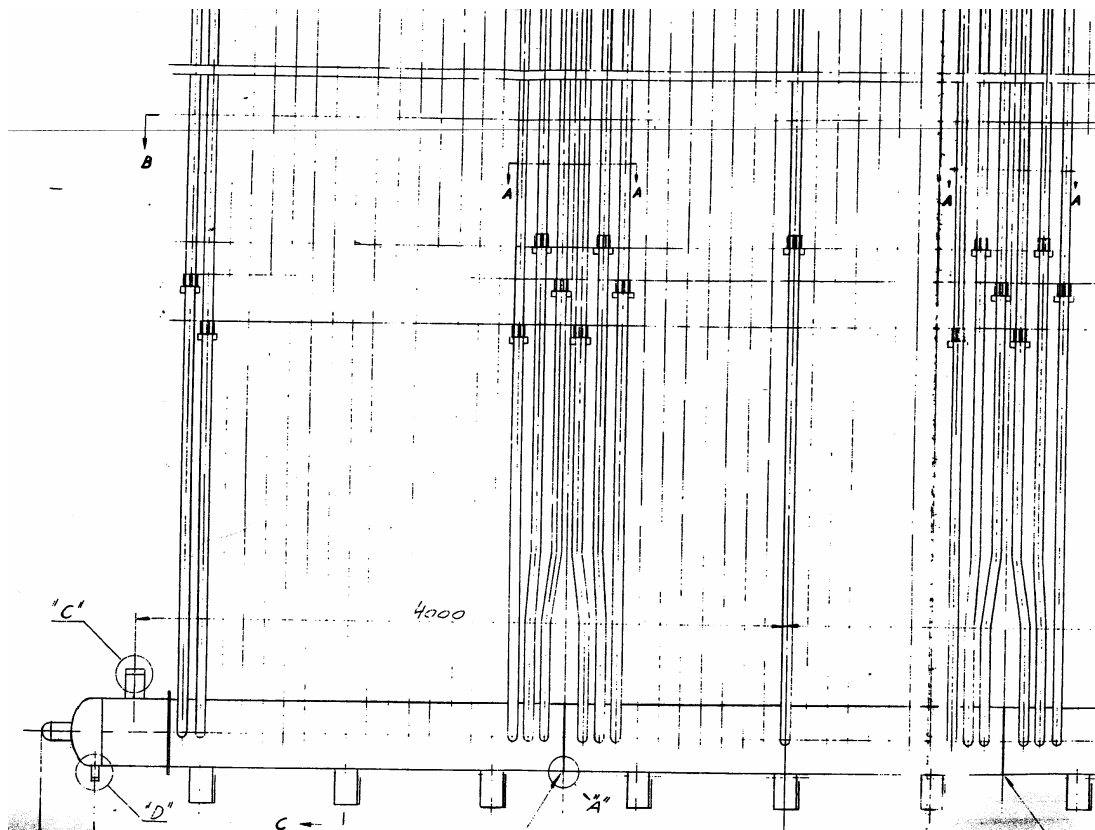


Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

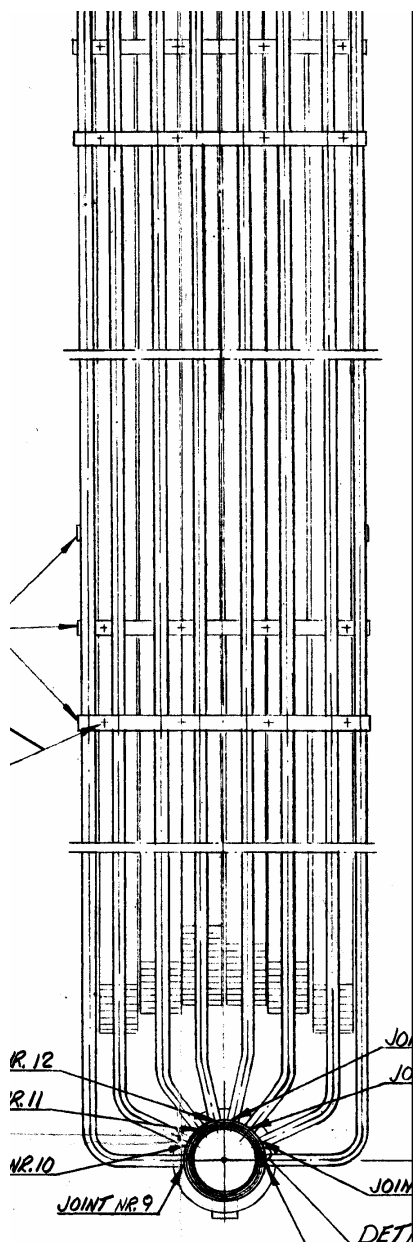
26(74)



Aspa: ekonomiserbank med två lådor och inga fenor på tuberna.

I Frövi är tuberna i varje skärm istället stagade 4 och 4.

Ett exempel på en yngre konstruktion är:



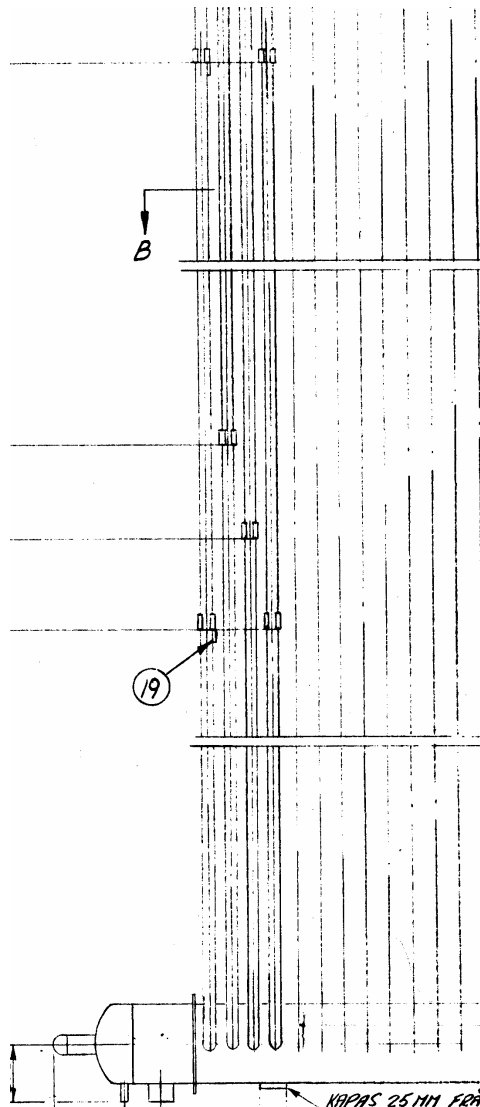
Aracruz panna A (1977)

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

28(74)

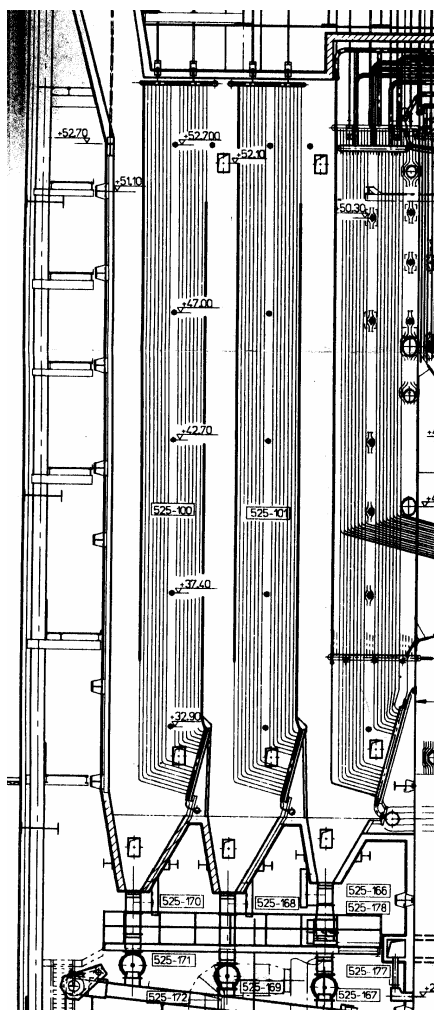


Man ser här de tre olika nivåerna av tvärstag på olika höjd för olika skärmar i ekonomiserbanken. Det finns ingen stagnation mellan intilliggande paneler utan de är som individuella paneler. Skulle panelerna komma i svängning, t.ex. som en följd av sotblåsningen, så kan de svänga ut i sidled (pannans tvärled) om de svänger alla tillsammans, men inte individuellt. Svänger panelen ut i sidled på det här sättet så kommer de korta raka tuberna närmast symmetrilinjen att böjas vid tubinfästningen, medan de längre tuberna på utsidorna kommer att vridas vid tubinfästningen.

Man kan tänka sig att skärmarna böjer ut både i tvärriktningen och i längsriktningen, men att tuberna hela tiden är bundna till varandra skärm för skärm.

3.3 Tampella konstruktioner

Tampella har gjort sina ekonomisers som panelekonomisar, där varje ekonomiserpanel utgjort ett självständigt element med fördelningslåda, tuber och samlingslåda. Fördelningslådan har gjorts "hängande" så att den stryker utefter askfickan på ensa sidan.



Korsnäs SP5 med tubsats (till höger i bilden) och två ekonomiserstaplar.

Yttersta tubraderna i varje stapel har förslutits med längsgående membran, så att man får som en gastät vägg mellan tubpaketet och det intilliggande rökgasschaktet. Det innebär att dessa tubrader värms på ena sidan från de rökgaser som går upp genom rökgasschaktet och på andra sidan av de rökgaser som går ned genom tubpaketet.

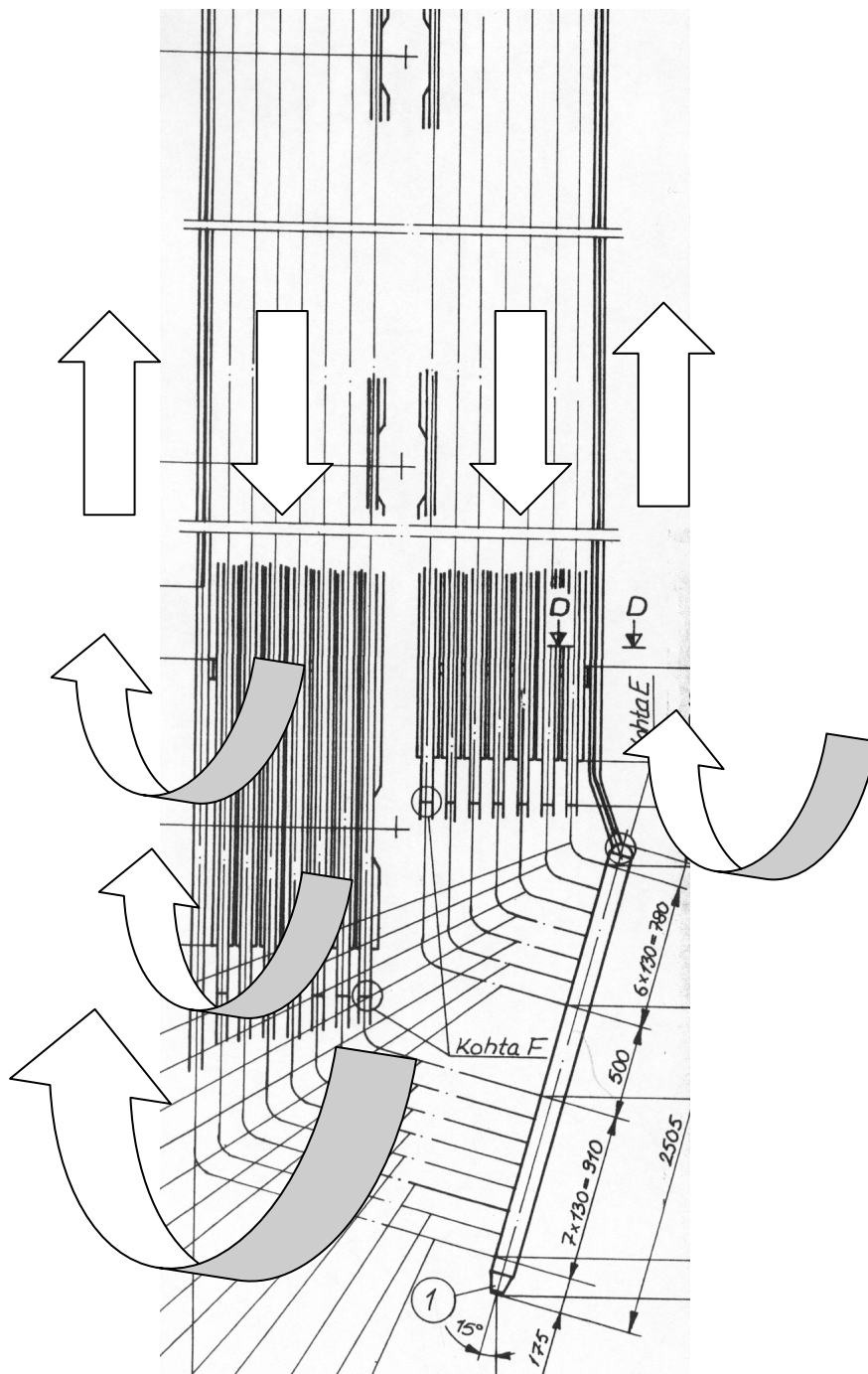
Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

30(74)

På "stötsidan" mot eldstaden kommer det att innebära att den yttersta raden tuber, den yttersta tuben i varje skärm, värms mer än de övriga tuberna. Rökgaserna omlänkas dessutom nere vid askfickan, så att de slår emot den här tätare tubväggen, vilket bör öka värmeöverföringen ytterligare. Detta påverkar rimligen spänningsförhållandena i de individuella ekonomisersskärmarna.



Nederdelen av en ekopanel med den snedställda fördelningslådan och illustrerande de yttre skärmväggarnas funktion.

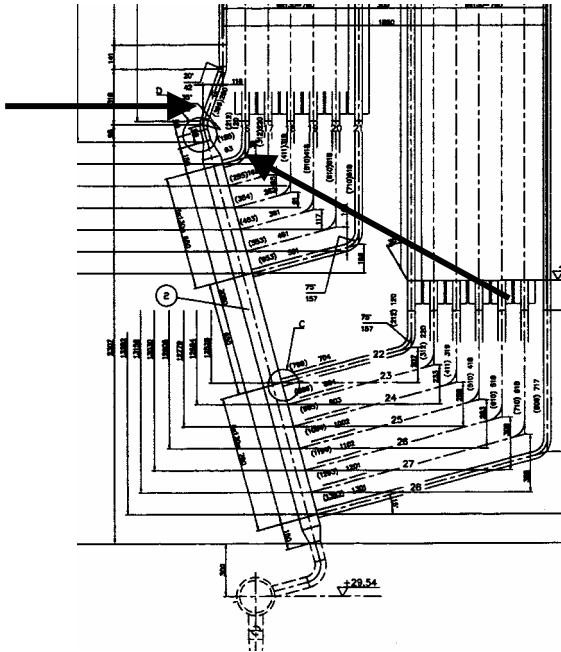
Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

31(74)

Matningen till panelernas fördelningslådor går från nedre änden av den lutande lådan, medan den andra änden matar den sista tubraden, den som sammansätter sig till den slutna skärmväggen. Övergången mellan låda och yttertub är lite olika i Tampellas Korsnäspanna från 1986 och deras Piteå-panna från 1972.

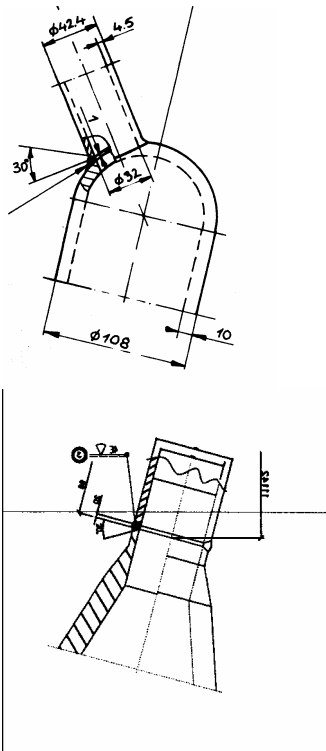


Kappas utförande (notera övergången mellan lådan och översta tub)

Utformningen kan ha betydelse, men både Korsnäs och Kappa har frekvent skador av liknande typ i de tuber som ansluter överst till fördelningslådan.

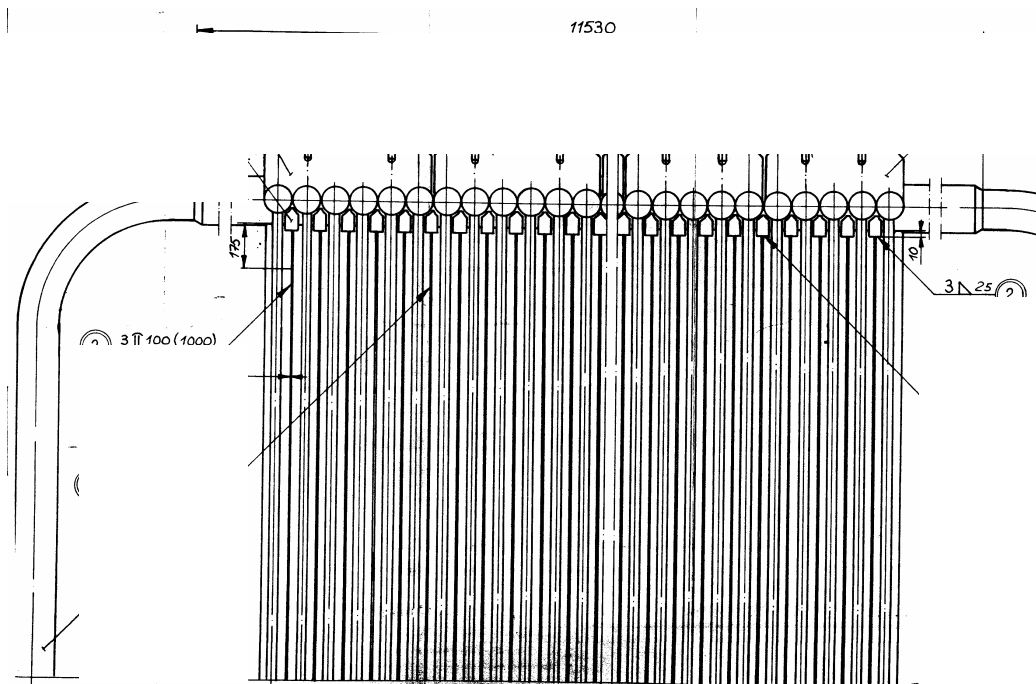
Skulle man böja en tubrad, så är de lösare på den längre sidan och de största böjspänningarna i sidled (vridning) får man i bakändan på de kortare, d.v.s. de bägge kortaste tuberna tar upp det mesta av motkraften. Där är vridmomentet (att vrida tuberna) också större, eftersom momentarmen blir kortare. Detta skulle kunna vara en intressant iakttagelse. På samma sätt blir samma tuber (de två kortaste) mest utsatta om panelens bottenlåda skulle vrida sig i vertikalplanet. Det är dock svårt att föreställa sig hur det senare skulle kunna gå till.

Sotblåsarna sitter i sotgatan vid skärmarnas mittlinje. Eftersom anslutningen därnere genom askficksväggen är så kort är det svårt att tänka sig att halvorna eller bottenlådorna skulle kunna vrida sig som en följd av sotblåsningen. Anledningen till sprickbildningen i de två kortaste tuberna är därför inte självklart sotblåsarna.



Anslutningen mellan låda och yttersta tub vid Korsnäs SP5 (vänster) och Kappa i Piteå (höger)

Varje sådan fördelningslåda har sedan haft en matningsledning till en större gemensam tvärgående låda belägen utanför askfickan. I överdelen har de individuella samlingslådorna sedan anslutits till en tvärgående utgående stam.



3.4 Stagnation av Tampella typs ekonomiser

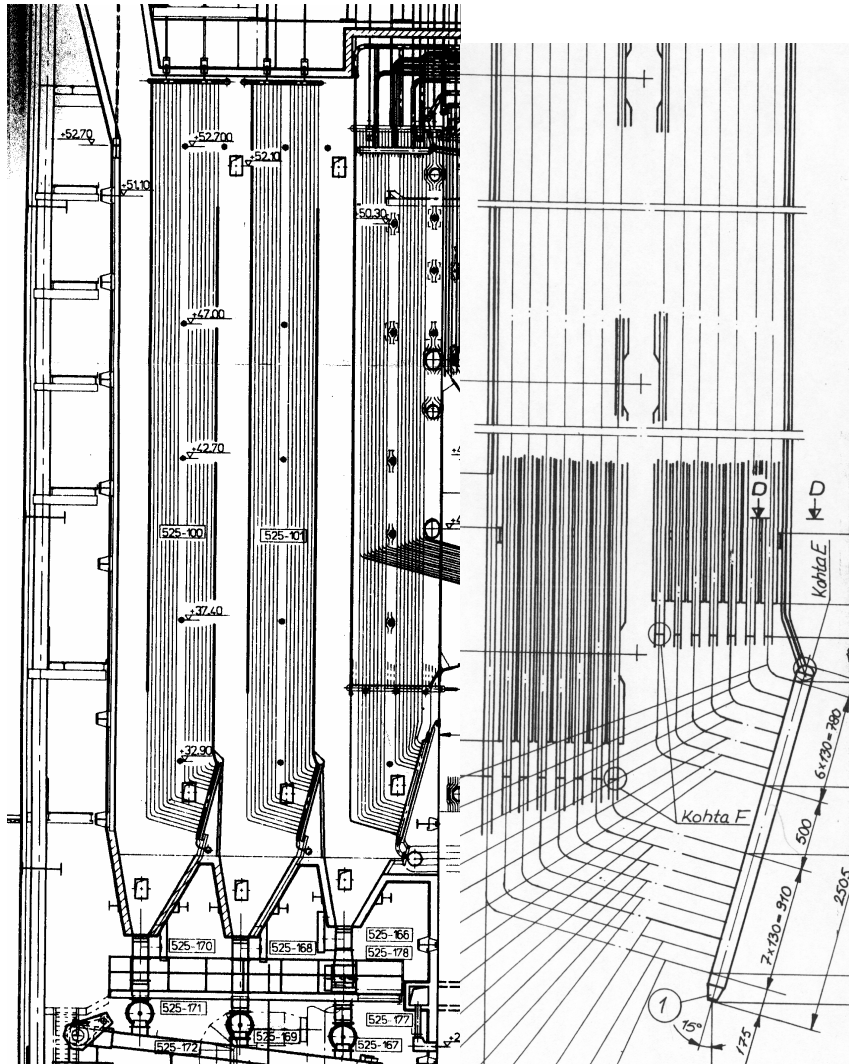
Tampellas ekonomiserpaneler byggs samman till en tät panelvägg på bägge yttersidorna. Längs mittlinjen av den enskilda panelskärmen har man ett mellanrum med särskilda öppningar som ger plats för sotblåsarna.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

34(74)



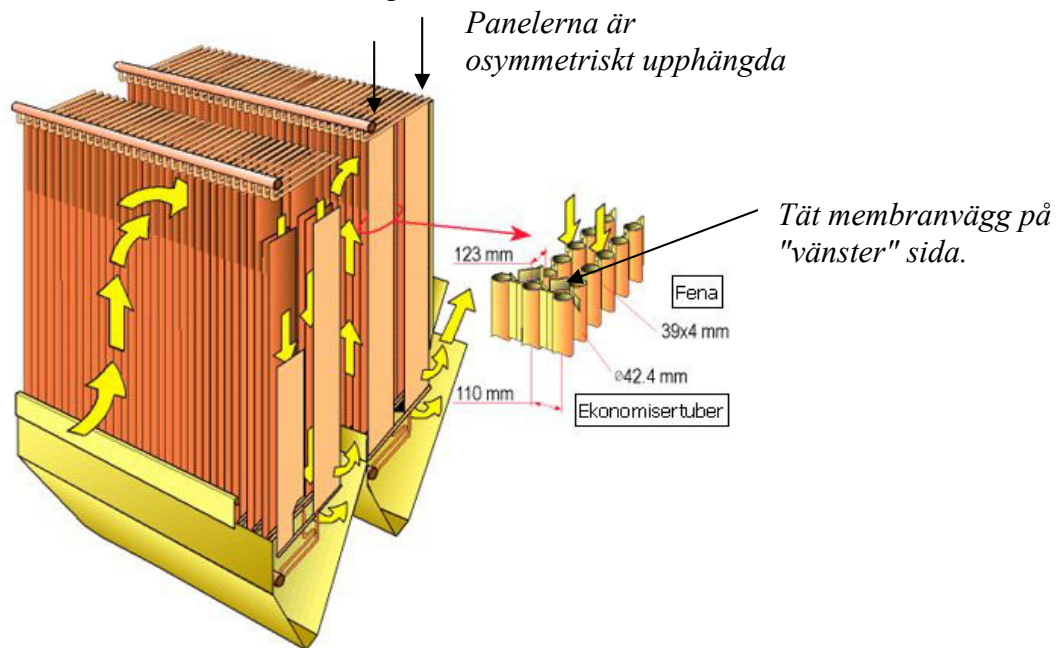
De längsgående membranerna på tuberna är intermittent sammansvetsade, så att man får en burliknande konstruktion, där de yttre tuberna har fenor åt tre håll, så att man får dels som en vägg inåt ekonomiserpanelens mitt och dels en tät vägg mot det intilliggande rök-gasschaktet. Sotblåsarna går igenom spalten mellan tuberna i mitten av panelerna.

Tuberna i de enskilda panelerna hänger alltså ihop på var sida om mittspalten för sotblåsarna och är uppfästade mot "burens" yttervägg. Samtidigt är de lösa inåt, vilket skulle kunna betyda att de skulle kunna vika åt sidan när sotblåsaren passerar.

De gastäta fenorna på den "korta" sidan är dragna ända ner till lådorna, så att man har en gastät anslutning gentemot askfickorna.

3.5 Kvaerner konstruktioner

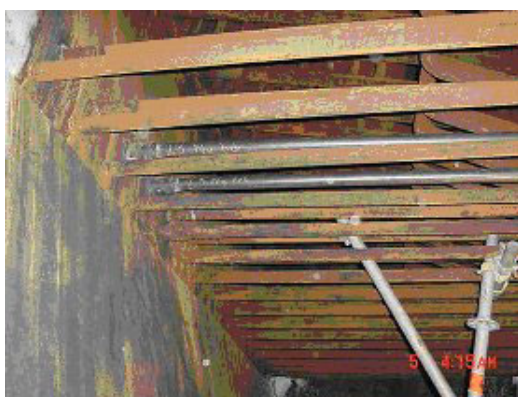
Kvaerner har numera en liknande konstruktion som den Tampella tillämpar. Det finns dock en viktig skillnad och det är att de individuella fördelningslådorna (d.v.s. längst ner) till varje skärm här har gjorts horisontellt istället för lutande. Tuberna blir då raka och lika långa.



Kvaerners ekonomiser (Gruvön SP5)

En annan väsentlig skillnad ligger i hur panelerna är infästade, eftersom Kvaernerkonstruktionen har paneler som på en sida är fria i ytterändarna, medan Tampella har konstruerat sina paneler så att de yttersta tuberna i varje panel på vardera sidan sätter sig samman till en rätt så tät skärmvägg som avgränsar tubpaketet från den intilliggande uppåtriktade rökgaskanalen.

Kvaerners ekonomiser får dessutom en annan konstruktion på de matningstuber som går från den gemensamma tvärlådan till de individuella panelernas fördelningslådor.



*Det går lyror genom askfickans vägg upp till fördelningslådorna
Stagningen av panelerna i vänstra bilden (pilen, diskuteras i nästa kapitel) är
inlagda i efterhand.*

3.6 Stagning av Kvaerners ekonomiserkonstruktion

Tuberna i Kvaerners ekonomiserbank är också stagade internt inom banken så det förefaller inte sannolikt att de skulle börja svänga med samma svängningstal som de som är aktuella för en överhettarpanel, vilken ju kan svänga ganska fritt både i sidled och i pannans längsled.

Det är sammantaget antagligt att påverkar kraften från sotblåsaren spänningarna i tuben under sotblåsningen, så är påverkan av statisk natur, samtidigt som naturligtvis påverkan är störst i de utsatta positioner intill tubinfästningarna till lådorna, där de uppstående spänningarna blir störst, eftersom böjmomenten blir störst där.

Här kan man också tänka sig att tuberna närmast sotblåsargatan i panelen kan böjas ut eller (mindre troligt) komma i svängning i sidled (pannans tvärlid, vinkelrätt mot ångstrålen). Det förekommer konstruktioner där tubpaketen är uppstagade dels då på normalt sätt som paneler, men där tuberna i panelerna sedan bara är uppstagade i sidled längs ekonomiserbankens ytterbegränsningar, där man satt samman tuberna till en gastät vägg. Sådan kritik har riktats mot Kvaer-

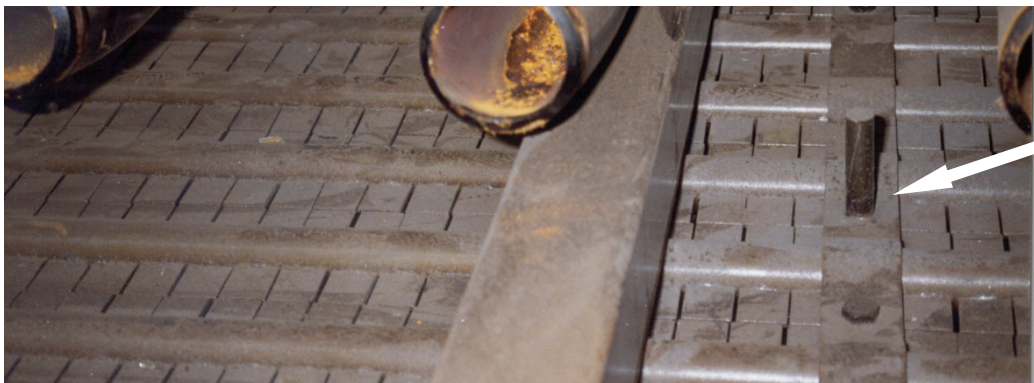
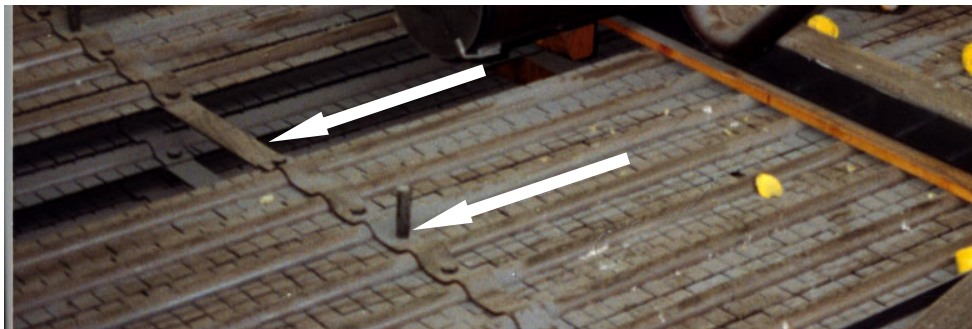
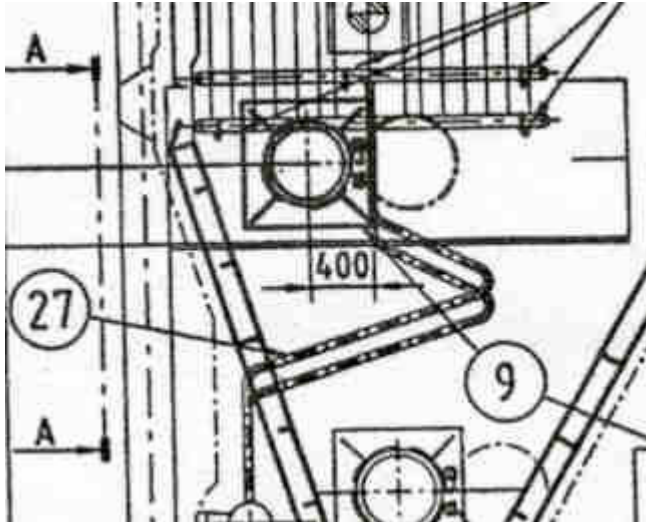
Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

37(74)

ners konstruktion, där dock tvärstagen överbryggar mellanrummet mellan de bäge halvorna av panelen.



Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

38(74)



Nedre lådorna med anslutningen till matningsröret (med gula skyddskoppar)



Vi har tyvärr inga bra bilder som illustrerar detta, men man kan se att stagen fungerar binder samman tubgrupperna på var sida av sotblåsarna och att det också finns påsvetsade distanspinnar som är avsedda att ta upp tvärkrafter mellan panelerna.

I ett skadefall (Gruvön 2005-07) har man anmärkt på att sotblåsaren har brutit ner den inre stagningen hos den här typen av ekonomiserbankar. Förklaringen skulle vara att panelstyckena är uppstagade i bakändan, medan innerändan kan svänga i sidled och också sätts i svängning i sidled av sotblåsningen. Sidoböjningarna bryter upp stagningen i bakänden så att tuberna skadas intill stagen.

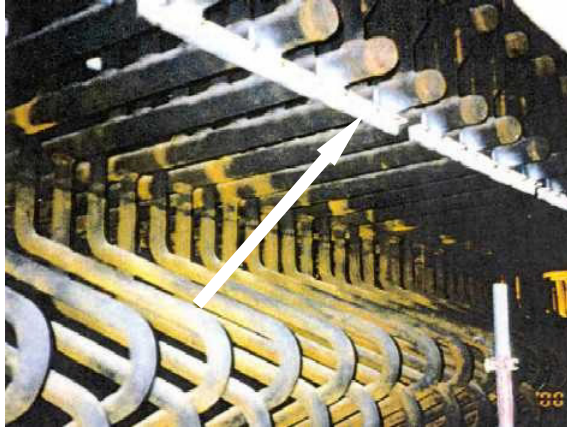
Sodahuskommittén



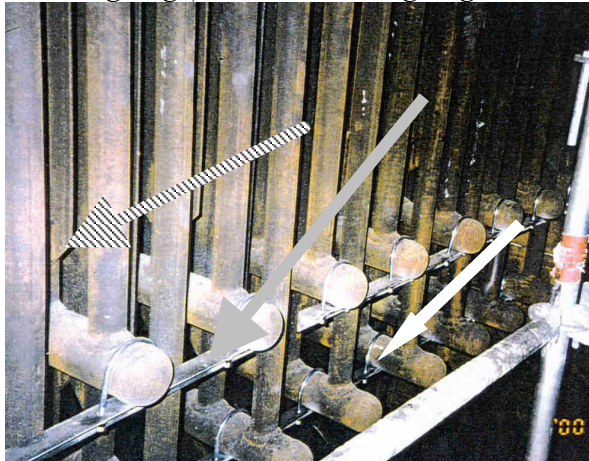
Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

39(74)

Liknande skador har rapporterats från TP6 i Husum. Där har man därför lagt in en intern stagning av fördelningslådorna som framgår av nedanstående bilder:



Med stagning (Husum TP6, stagningen insatt i efterhand).



Den tvärstreckade pilen visar hur membranerna här har gjorts pilformade för att undvika spänningskoncentration.



Utan motsvarande stagning (Gruvön SP5).

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

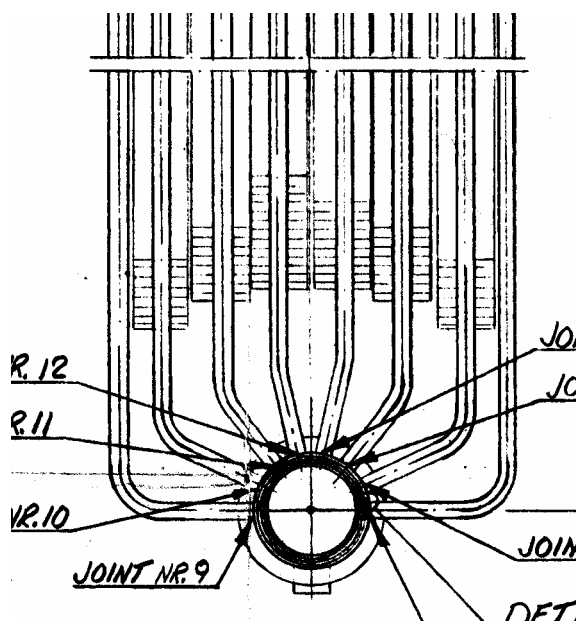
40(74)

Den streckade pilen i den övre högra bilden visar samtidigt på hur man gått över till att fasa av fenorna snett, så att man inte får en alltför kraftig spänningskoncentration i änden av fenan, som den äldre detaljbilden visar. I Husum TP6 är det längsgående obrutna membran, medan de övre bilderna visar korta fenor (bilderna är från några olika leveranser och det finns skillnader mellan hur panelerna blivit utförda i de enskilda fallen).

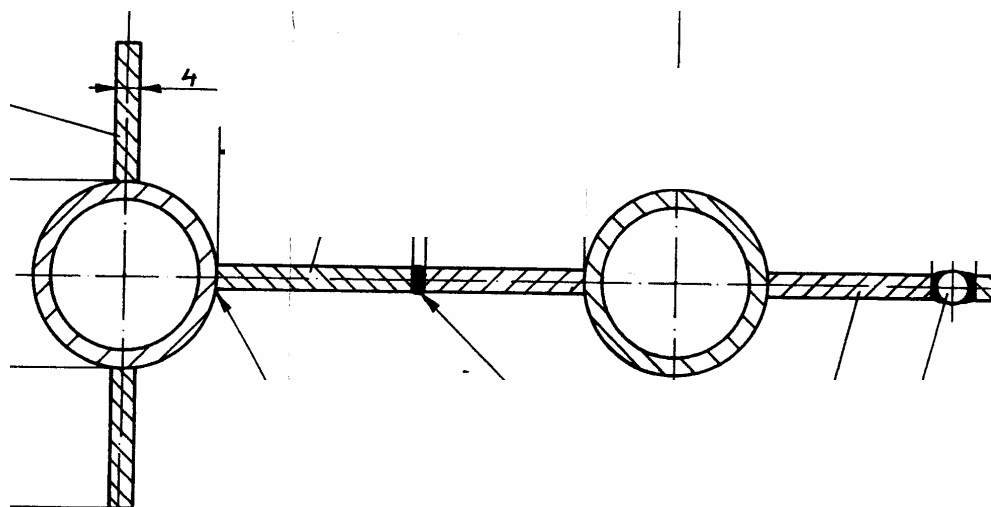
4 Konstruktion

4.1 Konstruktionsdetaljer, fenor och membran

Numera är det helt dominerande att ekonomisertuberna är försedda med längsgående fenor eller membran. Fenorna är som i nedanstående bild från Götaverkens 70-talspannor:



Särskilt när man har längsgående membran, d.v.s. då de är kontinuerliga och inte bestående av intilliggande korta rektanglar som i bilden ovan, så kan de överföra längsgående krafter mellan fenan och tuben i änden av dem. Fenorna/membranen är i de flesta fall brännsvetsade till tuberna:



Men också svetsade fenor förekommar (som här i Gruvön SP5, där sprickan ligger i ytterändan av svetsen):



Gruvön SP5, sprickor i änden av membran

I exemplet från Mörrum SP3 har man fått sprickbildning i ytterändan på längsgående fenor. Fernorna blir ju varmare än tuben, även om temperaturfältet mellan fena och tub blir kontinuerligt. Fenans ytterkant, som är varmare, drar fenändan utåt under drift och inåt vid stillestånd. Till slut uppstår en spricka längst in, där den tvärt avhuggna änden på fenan ger en spänningskoncentration.

I bilden nedan kan man se hur Mörrum åtgärdat fenändarna genom att fasa av dem så att de ansluter jämnt till tuberna:



Bilden till vänster är från en panna från början av 90-talet och visar svetsen mellan membran och tub. Man ser också hur slutet av membranet är tvärt avhugget. I Mörrum SP3 är detta åtgärdat på vidstående vis efter de skador man haft. Jämför också med bilderna från Husum TP6 på sid 39.

4.2 Igelkottskonstruktion

Sprickorna i tuberna uppträder i den del av tuben där böjmomentet är som störst, d.v.s. nära svetsen till lådan. Ett sätt att motverka att det spricker i den här positionen är att man gör tubanslutningen med en kort tubbit med större godstjocklek. Då flyttar man ut den mest spänningsutsatta positionen till skarven mellan tuben och det tjockare mellanstycket. Genom att balansera av tjockleken på mellanstycket mot tjockleken på tuben, så borde man kunna fördela den totala inspänningsdeformationen (vad den nu är orsakad av) jämnt mellan de bägge svetsskarvarna, vid mellanstyckets inre respektive yttre ände.

Det här har prövats av SMV, men det är länge sedan och det verkar inte som om den fått några uppföljare (vilket man ju kan förstå med hänsyn till extrakostnaden).

Mellanstyckena monteras på verkstad, antingen på lådan eller på tuben före montaget av ny panna eller montaget av ny ekonomiser. Man kan naturligtvis också sätta på dylika mellanstycken även vid reparationer, varvid väl bara de mest utsatta positionerna blir föremål för åtgärd. Man kan till exempel tänka sig denna åtgärd för de bägge (eller några till) yttersta skärmarna på var sida av ekonomisern.

Nackdelen är naturligtvis den extra svetsen, fogberedning etc.

Eftersom man ändå har mer moderata korrosionsförhållanden och korrosionsrisker i ekonomisern utom för tublängderna närmast matarvatteninloppet skulle man kunna tänka sig att tex. åtgärda nederdelen av ekotuberna i de yttersta skärmarna med sådana här mellanstycken.

Här föreligger en konflikt mellan två angreppssätt, där man i ena fallet lägger på en lyra längst ner och i det andra förstärker det utsatta partiet. Avgörande för vilket angreppssätt, som ger bästa utfallet är kännedom om svängningsförhållandena för ekonomisertuberna under drift och under uppstart/nedeldning.

5 Påverkan från sotblåsningen

Tuberna i ekonomiserbankarna är oftast också stagade internt inom banken så det förefaller inte sannolikt att de skulle börja svänga med samma svängningstal som de som är aktuella för en överhettarpanel, vilken ju kan svänga ganska fritt både i sidled och i pannans längsled.

Det är därför sammantaget det troligaste att påverkar kraften från sotblåsaren spänningarna i tuben under sotblåsningen, så är påverkan av statisk natur, samtligt som naturligtvis påverkan är störst i de utsatta positioner intill tubinfästningarna till lådorna, där de uppstående spänningarna blir störst, eftersom böjmomenten blir störst där.

I vissa konstruktioner kan man tänka sig att tuberna närmast sotblåsargatan kan komma i svängning i sidled (pannans tvärled, vinkelrätt mot ångstrålen). Det förekommer konstruktioner där tubpaketen är uppstagade dels då på normalt sätt som paneler, men där tuberna i panelerna sedan bara är uppstagade i sidled längs ekonomiserbankens ytterbegränsningar, där man satt samman tuberna till en gastät vägg. Sådan kritik har riktats mot Kvaerners konstruktion, där dock tvärstagen överbryggar mellanrummet mellan de bägge halvorna av panelen.

5.1 Sotångstrålen

Kraften från ångstrålen vid sotblåsning har sannolikt en inte oväsentlig betydelse för uppkomsten av skador på ekobankskonstruktionerna och för uppkomsten av sprickningarna.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

44(74)

Kraften från sotångstrålen är inte oväsentlig, vi har tidigare beräknat den till ca 800 N för en normaltyps sotblåsare med 22 mm dysdiameter (som beräknats med utgångsvärden från Sodahuskonferensens protokoll från år 1977, sid. 62). Det är ungefär samma som om någon tyngre person hade ställt sig ovanpå tuberna. Vi vet att sotångstrålen förmår sätta överhettarskärmarna i framförallt primäröverhettare III i äldre Götaverkspannor i rörelse. Det beror också mycket av om det finns någon resonans mellan sotblåsarens varvtal och panelens svängningsfrekvens i någon riktning.

Om en tub träffas av sotångstrålen i just det ögonblick då sotångventilen öppnar uppkommer ett ytterligare fenomen. Det är att tuben fjädrar ut av kraften och det ger upphov till en översläng hos utböjningen. Ideellt sett skulle utböjningen för den tub som träffas av sotångstrålen just när sotångventilen öppnar pendlar ut till ett läge som "teoretiskt sett" skulle vara dubbla den utböjning som skulle bli under statiska förhållanden.

Detta skulle kunna förklara varför sprickbildning och skador är vanligast i de yttre skärmarna, intill pannans sidoväggar. Något enstaka fall med sprickning just där sotblåsarna vänder inne i pannan (vid motstående blåsare) pekar också i samma riktning.

I andra läget, där sotblåsaren vänder, så är de numera gjorda för att kugga över någon kugg, så att de inte återvänder i exakt samma skurvrörelse som den hade på vägen in i pannan. Det blir en liten förskjutning i längsled, så att sotblåsaren inte träffar samma tub två gånger på samma ställe under det enskilda sotblåsningstillfället.

Någon gång har det alltså inträffat att man fått sprickbildning precis i mitten av en ekonomiserbank, vilket för dessa relativt fåtaliga fall skulle innebära att det fanns anledning av detaljstudera sotblåsarens rörelse just när den passerar det borte ändläget. Utsätts de gångerna den mittersta tuben för en mer omfattande påverkan än vad de andra tuberna gör?

När man vill se över skador åstadkomna av sotblåsningen finns det några åtgärder man kan studera:

1: Sänka sotångtrycket. Sänker man sotångtrycket finns det erfarenhet av att man minskar risken för uppkomst av skador (och icke minst vice versa). Teoretiskt borde det vara så att sotångtrycket inte skulle påverka kraften i sotångstrålen, däremot påverkas tydligen mängden ånga (se ovanstående referens).

Har man en Laval-dysa i munstycket och tillräckligt högt tryck för att sotångstrålen vid passagen genom dysan skall uppnå kritisk strömningshastighet, så är den kritiska strömningshastigheten konstant oberoende av trycket bakom. Praktisk erfarenhet tycks dock motsäga detta teoretiska faktum. Man får prova sig fram och se vad som händer med sotningseffekten. Eftersom man har en ut-

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

45(74)

mattningspåkänning är risken för uppkomsten av utmattningssprickor mycket starkt spänningsberoende och varje sänkning av sotångstrålens tryckkraft på den utsatta tuben bör leda till en proportionsvis betydligt starkare minskning av risken för utmattningssprickor.

2: För att kompensera det sänkta sotångtrycket kan man behöva öka antalet sotningscykler. När man studerar sotningseffekten så bör man beakta beläggningarnas aggregatillstånd och sintringsfenomenen i ekonomisern.

Det mesta som sätter sig i ekonomisern är ett fint stoft av natriumsulfat. Större partiklar fastnar redan i överhettaren och rökgaserna efter koktubsatsen bör vara rätt rena från dem. Även karbonathalten går ned ju längre bak i pannan man kommer, vilket också minskar drivkraften till smältning och sintring.

Det bildas dock nya partiklar genom de kemiska reaktioner som förekommer i gasfasen, och de partiklar som bildas i de bakre rökgasstråken blir i huvudsak i form av ett fint sulfatstoff, medan de i den varmare överhettarregionen bildar kladdiga och smälta partiklar, som näst intill kan sätta igen pannan.

Om man regelbundet blåser bort detta stoft medan det fortfarande är i pulverform bör det vara relativt lätt att avlägsna. Får stoftet sitta för länge och vid för hög temperatur börjar det emellertid att sintra, även om temperaturen inte är så hög att man är i närheten av smältpunkten (nedre begränsningen för smältintervallet).

Det innebär att en glesare sotningscykel kan ge beläggningar som sitter kvar och som då blir starkare och segare alltmer tiden går. När beläggningarna blir tjockare blir ytan av dem också varmare (eftersom kylningen sker från tuben), och så är man inne i en "djävulscirkel" med mer beläggningar som bygger på alltefter-som.

Med en olycklig sammansättning på rökgaserna (för mycket SO_3) kan beläggningarna och stoftet också komma att innehålla natriumvätesulfat och då får man smält fas i stoftet. Stoftet klibbar då och ekonomiserstråken sätter igen sig samtidigt som sotblåsningen får stora svårigheter att avlägsna det klibbande stoftet.

Kemin i rökgaserna i ekonomiserdelen har därför stor betydelse för risken för uppkomsten av skador, korrosion och igensättningar.

För att blåsa bort det fina icke sintrade stoftet kan man där så är lämpligt öka frekvensen av sotblåsningar. Medan en sänkning av sotångstrålens kraft på tuben har stor betydelse för att minska risken för utmattningssprickor så har en ökning av antalet cykler för sotångblåsningen mindre betydelse. Man måste öka antalet cykler 1000 ggr för att uppnå samma risk för utmattningssprickor, som om man istället hade ökat spänningen 10 gr, d.v.s. lutningen för kurvan i det dubbellogaritmiska diagrammet är $-0,33$ (se figur nedan).

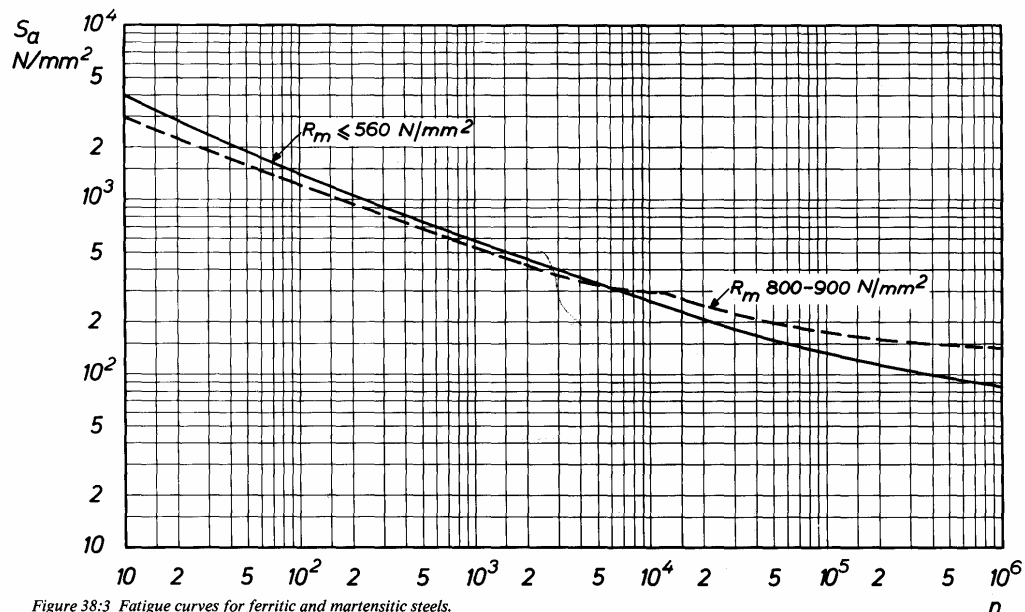


Figure 38.3 Fatigue curves for ferritic and martensitic steels.

The curves are valid for:

— temperatures below 370°C

— elastic modulus $E = 2.1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$

Note: Table 38.2 contains tabulated values and an interpolation formula.

Utmattningsdiagram för kolstål och låglegerade ferritiska stål enligt Tryckkärlsnormer 1987. Man ser att en halvering av spänningen grovt räknat motsvaras av ungefär en tiodubbling av livslängden i antal cykler.

För att minska sotångstrålens kraft torde i första hand en minskning av Lavalmunstyckets diameter vara rätt metod. Ångkonsumtionen bör vara proportionell mot munstyckets minsta genomströmningsarea. Hur en kombination av mindre munstycke och längre sotningstid för att nå samma sotningsresultat påverkar sotångförbrukningen har vi inte svar på.

Slutsats: Sotångtryck och sotblåsningsschema är viktiga parametrar för att undvika framtida problem med ekonomisers, särskilt för de av paneltyp.

5.2 Vridning av skärmarna

Tittar man på panelekonomisrarna ser man två huvudtyper, den ena med sneda bottenlådor som går parallellt med askfickan, den andra med horisontella bottenlådor som svävar fritt inne i askfickan. Tänker man sig att de här skärmarna utsätts för vridning så får man då två olika möjligheter.

Med Kvaerners horisontella fördelningslådor kommer skärmarna rimligen att vridas kring sin symmetrilinje. Påfrestningarna blir lika åt båda sidor. Vinkelvridningen av de enskilda tuberna blir lika stora för alla, till de yttre tillkommer en sidoförskjutning. För en viss vinkelvridning blir sidoförskjutningen hälften så

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

47(74)

stor i förhållande till ett tänkt fall, där lådorna vridits runt en av de yttre tuberna i skärmen. Detta gör påfrestningen och böjpåkänningarna bara blir hälften så stora.

Kvaernerskärmarna är i normalfallet infästa i ena kortänden, i vissa pannor har man stakat fördelningslådorna även på den andra sidan (som i Husum TP6).

Ser man på motsvarande situation för Tampellaekonomisrarna (Kappa och Korsnäs SP5), så är de inte symmetriska. Skulle fördelningslådorna vrida sig kommer den elastiska deformationen att bli ojämnt fördelad. Dels är tuberna i de bägge ändarna olika långa, dels är de olika styva, eftersom de längre tuberna har en längre snedvinklad del.

Fortfarande kommer vinkelvridningen att bli lika stor för alla tuber, men sidoböjningen kommer att fördelas olika. Dessutom kommer de längre tuberna att bli utsatta för en mindre kraftig vinkelvridning (torsion) än de kortare, eftersom samma vridningsvinkel fördelas dels över en längre tublängd, dels kommer den längre armen på den sneda tubdelen att medverka till en ytterligare utjämning av vridningseffekten.

Huvuddelen av påfrestningen kommer alltså på de kortare tuberna, och det är där vi har de skador som uppträder intill tubinfästningarna på de rena (membranfria) tublängderna.

Orsak till en sådan här vridning skulle kunna vara sotblåsarna. Nuförtiden är sotblåsarhuvudena (åtminstone vissa) osymmetriska, vilket innebär att höger och vänster ångstråle är förskjutna i förhållande till varandra. Det innebär att har man sådana blåsare så kommer de olika sidorna av skärmarna att träffas vid olika tidpunkter. Sotångstrålen träffar inte heller alltid symmetriskt på skärmen, vilket kan medverka till att skärmen böjer ut, än åt ena, än åt andra hållet.

Tuberna i ekonomisers av denna typ brukar vara $\varnothing 42,4 \times 4,5$ mm. Det betyder att de har ett förhållandevis litet yttre tryckmoment. Spänningarna blir då mindre för samma vridningsvinkel eller utböjning vid jämförelse med de i äldre konstruktioner vanliga ekonomisertuberna om $\varnothing 63,5 \times 5$ mm. Vid utböjning för samma tryckkraft blir förhållandet emellertid det omvända, den klenare tuben utsätts för större böjspänningar.

Att det förekommer rörelser hos fördelningslådorna styrks av det faktum att det uppstår sprickor i genomföringarna för matningstuberna genom askficksväggen. Om nu skärmarna är fixa till varandra vid kortväggen (där de korta tuberna är) och skärmarna svänger runt dessa, så skulle det kunna förklara både sprickorna i askficksgenomföringarna och i ekonomisertubinfästningarna.

Eftersom vi har haft svårigheter att härleda sprickorna till interna spänningar uppkomna genom temperaturdifferenser inom skärmarna så vinner den här

andra förklaringsformen (d.v.s. sotblåsningen) i trovärdighet. Ytterligare ett argument för detta är analysen av skadefallet 2005-07 vid Gruvöns sodapanna 5, där förklaringen till skadorna på den interna stagningen i ekonomisern enbart kan vara hänförlig till sotblåsningen.

För dessa ekonomisrar av paneltyp tillkommer sedan skador i form av sprickor vid ändarna på membranlängderna, men det är ett annat skadefenomen (se kapitel 4.1). Dessa skador tyder på rörelser i själva tuberna från sotblåsningen och är mer svåra att härleda till inre spänningstillstånd orsakade av ojämn temperaturfördelning inom ekonomisern.

Temperaturprofilen mellan membran och tub kan här dock också vara en förklaring till att det bildas sprickor i tuben mitt för ändarna av de långsgående membranen.

Som mest näraliggande motåtgärder beträffande sotblåsningen är att se över sotångtrycket och sotångstrålens kraft på tuberna. Eftersom man har Laval-dysor på blåsarna kan det behövas snarare att man drar ner på dysans diameter än att man sänker sotångtrycket, vilket man kan beräkna med utgångspunkt från nämnda data från Sodahuskonferensen 1977 (sid 62).

5.3 Matningstuber till paneleconomisar

En vanlig skadeform är sprickbildning i de matningstuber som förbinder ekonomiserskärmarnas individuella fördelningslådor med den stora gemensamma fördelningslådan tvärs pannan.



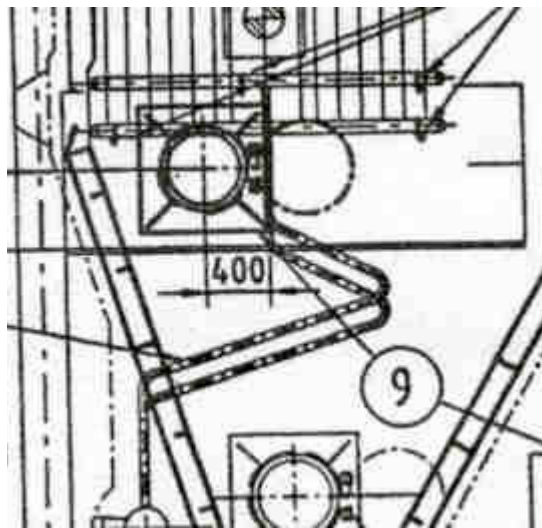
Bilder från matningstuberna i en Kvaernereconomiser

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

49(74)



Ytterligare ett par bilder från matningstuber i en Kvaernerekonomiser

Fördelningslådorna kan vara förlagda på några olika sätt, vilket påverkar hur skadorna blir lokaliserade.

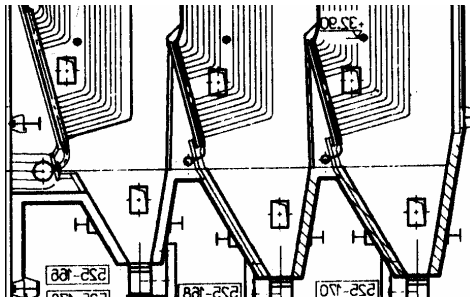
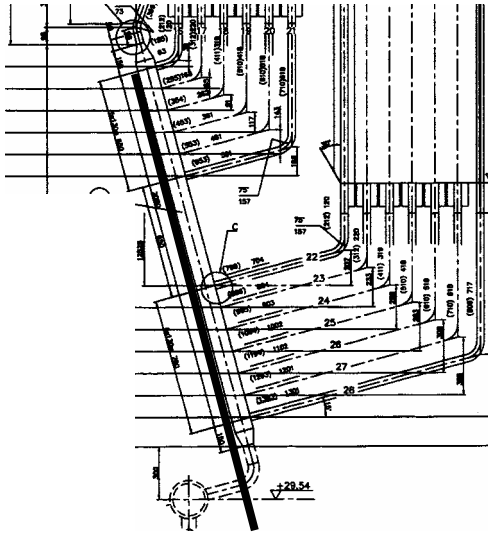
Man kan se flera olika anledningar till att de här tuberna skall utsättas för påfrestningar just i själva askficksgenomföringen. Vid konstruktionen har man emellertid redan tagit hänsyn till de termiska spänningar som uppkommer när ekonomiserskärmar förlängs när pannan är under drift och lyorna är därför redan beräknade för att ta upp den deformationen utan skador.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

50(74)



*Kappa resp. Korsnäs SP5.
Askfickor med genomföring*

Tampella har en liknande konstruktion, men lådorna stryker utmed ena väggen av askfickan och genomföringen genom askfickan till den stora fördelningslådan blir därför stummare.

Den gemensamma fördelningslådan och askfickan är fixa i byggnaden, medan ekoskärmar är upphängda i sina samlingslådor och fixa i byggnaden, men 15-20 meter högre upp. När pannan är i drift förlängs ekonomisertuberna med ~ 3 cm för varje 10 meters längd. Ekonomiserschaktet förlängs också beroende på uppvärmningen från rökgaserna. Rökgasschaktets väggar är ju i form av okylda plåtväggar med isolering på baksidan, egentligen bör de bli varmare än tubpaketen. Det verkar dock svårt att föreställa sig att byggnaden skulle anpassa sig till den här längdförändringen.

Nu har man ju normalt någon form av lyror på matningsrören för att motverka det här fenomenet, det verkar dock som om elasticiteten i rördragningen i många fall inte räckt till.

Lyrorna är rätt slanka (i Kvaernerfallet 38x4,5 mm), men uppenbarligen är det inte alltid tillräckligt.

Är inte fördelningslådorna uppstegade så kommer naturligtvis svängningar i lådorna i samband med sotblåsningen att överföra inte obetydliga krafter mellan lådor och genomföringen genom askfickorna. Detta är en trolig orsak till sprickbildning, både vid infästningen av lyran i lådan och vid matningstubens genomföring genom väggen i askfickan. Lyran är otvetydigt den svagaste länken och all elastisk deformation tas upp av den.

Om skärmen pendlar, så får matningsröret ta upp den deformation som pendlingen föranleder. Här kan en kraftigare tub minska pendlingen och en slankare tub ge efter för den, vilket i bägge fallen kan leda till mindre sprickbildning. Man kan således inte ge något generellt råd om vilken motåtgärd som är den mest effektiva, utan man får räkna på de olika alternativen.

Lyrans elasticitet kan ses som en balansgång mellan att konstruktionen blir för styv och utsatt för termiska inspänningskrafter och att skärmen blir för sladdrig och utsatt för vibrationer. Svängningar i tubpaketen främst som en följd av sotblåsningen är därför en trolig anledning. Här gäller också att stagar man upp tubpaketen med fasta stag, så ökar risken för skador på grund av spänningar i konstruktionen och har man inte internstagnation så riskerar man istället att matningsrören får ta upp skärmlådornas rörelser.

Kombinationen internstagnation och stagnation av lådorna samt väl tilltagna lyror är antagligen det bästa sättet att möta dessa motsättningar.

5.4 Mätning av tubsvängningar i ekonomiserbankarna

Vi har föreslagit enkla mätningar av ekonomisertubernas stabilitet att utföras i ekonomisern i sodapannan i Moss. För ändamålet har man tagit upp genomföringar i sidoväggarna till ekonomiserbankarnas rökgasstråk och fört in känselspröt av olika form genom dessa. Meningen är att dessa skall ha direktkontakt med någon lämplig tub och när (om) den i så fall börja svänga eller böja ut så skall man kunna uppfatta det på andra sidan. Med en ståltråd dragen runt tuben kan man uppskatta förekomsten av åtminstone svängningar vinkelrätt mot tubväggen, med en stålstav som man trycker emot tuben borde man kunna få en uppfattning om svängningsriktningen.

Metoden är inte utprovad ännu, men motsvarande angreppssätt har gett goda resultat tidigare när man mätt upp sidosvängningar hos överhettarpaneler genom ingångsluckorna till överhettarna (se t.ex. Sodahuskonferensen 1980).

5.5 Ombyggnad av äldre eko med lyror och extralådor

För "Götaverkenekonomisar" har man provat några olika sätt att försöka möta sprickbildningen genom att konstruera om ekonomiserskärmarnas nederdel på olika sätt. Det är främst de två-tre yttersta skärmarna på var sida närmast varderna ytterväggen som varit aktuella.

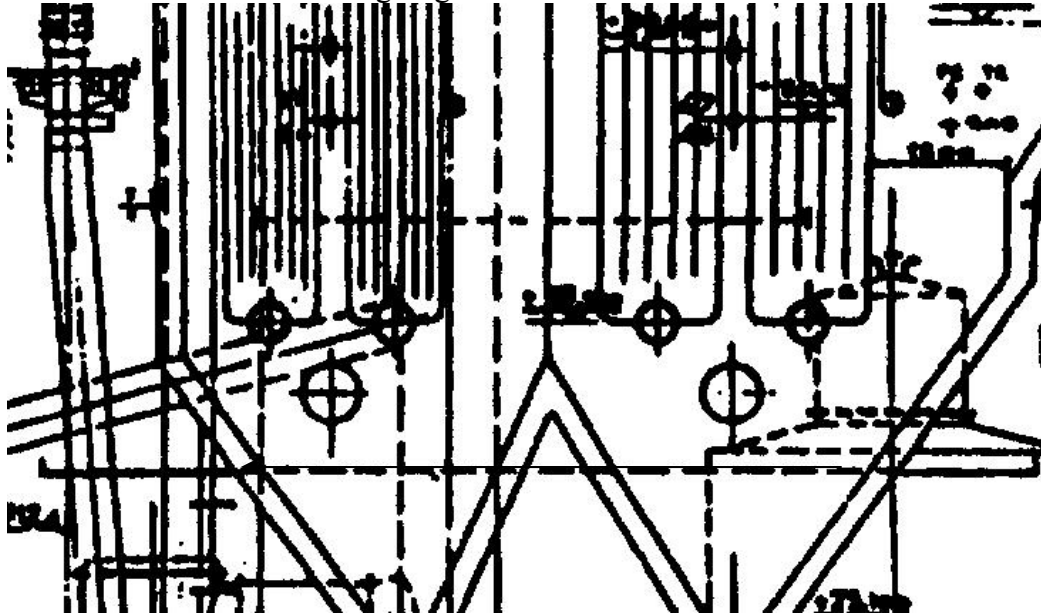
Sodahuskommittén



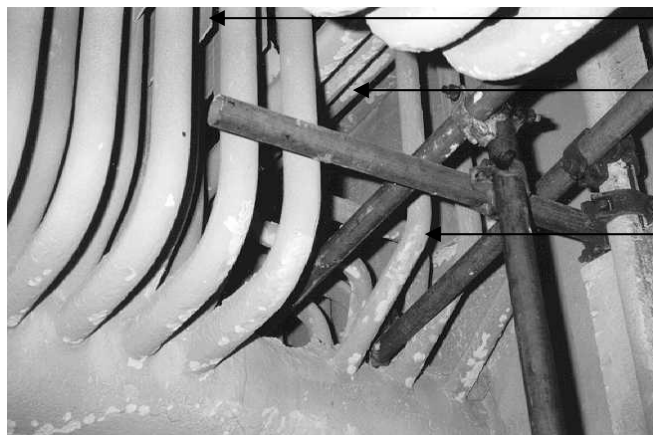
Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

52(74)

I Vallvik och i Moss har man klippt av de yttersta skärmarna någon meter ovanför fördelningslådan och lagt in extra fördelningslådor till de individuella skärmarna. Lådorna har varit horisontella och med relativt klena matningsrör för att konstruktionen skall bli eftergivlig.



Ursprunglig konstruktion



Fenor

Extra bottenlådor

Extra matningstuber

Ombyggnad av ekonomisern i Vallviks sodapanna.

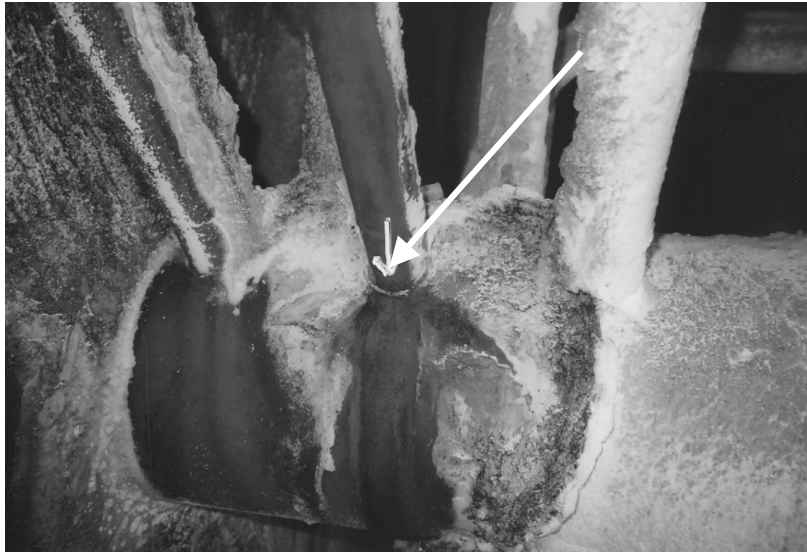
Vi ser här den kalla ekonomisern i Vallvik Tuberna är som framgår av bilden fenade ner till någon meter ovanför lådan. De tre yttersta skärmarna närmast åt höger är ombyggda med horisontella lådor och två klenare matningsrör till vardera lådan.

Sodahuskommittén

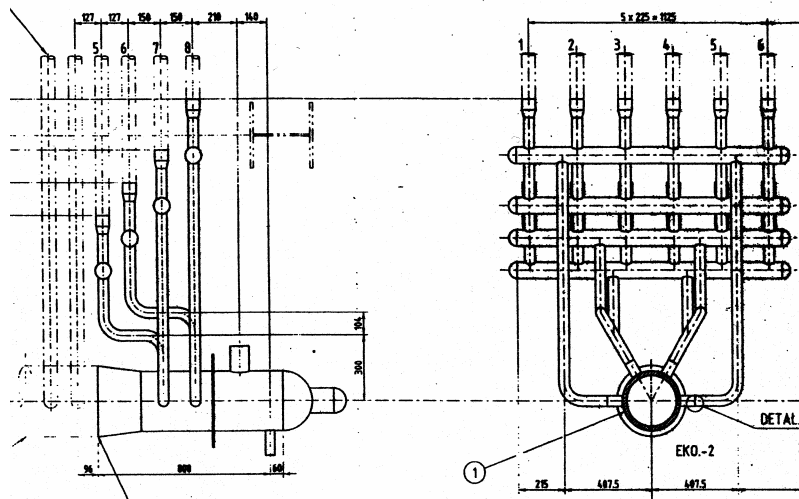


Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

53(74)



Även den omgjorda konstruktionen i Vallvik har råkat ut för sprickbildning, vilket syns vid pilen. I Moss har konstruktionen därför ytterligare utvecklats, först med enklare lyror, sedan i en andra omgång med än mer vidlyftiga lyror.



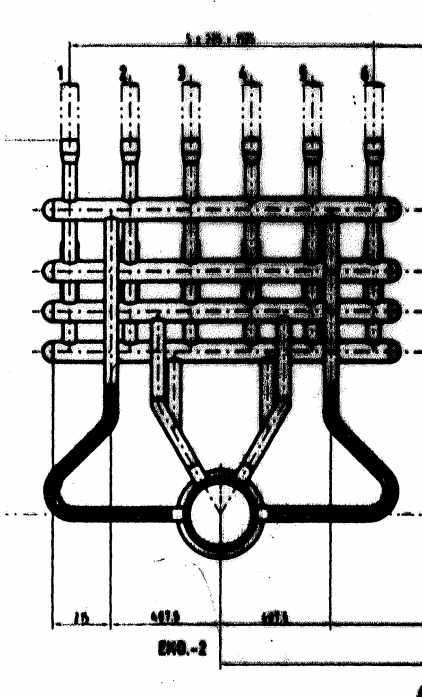
Första ombyggnad av yttre ekonomiserskärmar i Moss

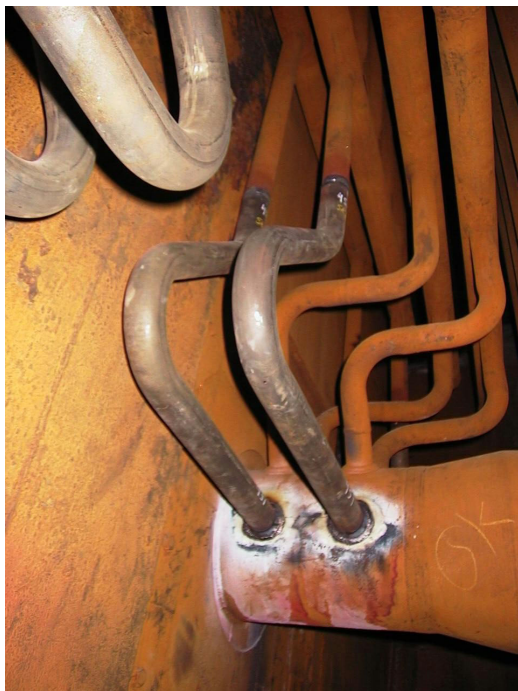
Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

54(74)





Moss: Andra ombyggnad av yttre skärmar vid yttervägg för ekonomiserpanel.

Sedan skador uppstått i matningsrören till panel-bottenlådorna så har dessa matningsrör gjorts med vidare lyror (nedre utförande). Ännu föreligger inga längre driftserfarenheter från den senare ombyggnaden, men inte heller några skador på åtminstone något års tid.

6 Strömning och temperaturfördelning

6.1 Temperaturfördelning

Det har antagits att en ojämn temperaturfördelning mellan ekonomisernas olika delar som en följd av variationer i vattnets strömningshastighet och variationer i värmebelastningen mellan de olika tuberna skulle ge upphov till interna spänningar i ekonomiserpaketen, vilka sedan skulle orsaka de uppkomna sprickbildningarna.

Utifrån temperaturfördelningen skulle man sedan beräkna spänningarna i de enskilda tuberna, vilket nog bäst görs med databeräkning (typ "PIPE"). Avvikelser i temperaturfördelningen har därför misstänkts vara en huvudanledning till att tuberna spricker i anslutningen till fördelningslådorna (bottenlådorna) och i förekommande fall även till samlingslådorna däruppe. Blir temperaturen olika i närliggande tuber kommer man att få spänningar mellan dem ungefär på samma sätt som man får i en s.k. gjutharpa.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

56(74)

Tubernas utformning med bockningarna i anslutning till lådorna påverkar också hur elastiska tuberna blir och hur stora böjspänningarna blir i tuberna där de ansluter till lådorna.

Temperaturfördelningen mellan de olika tuberna i ekonomiserbanken kan tänkas variera individuellt beroende på ett stort antal faktorer. Tuberna blir varmare allteftersom, kallare närmare inloppslådan och varmare närmare utloppslådan. Är temperaturfördelningen lika mellan de intilliggande tuberna så ger inte det upphov till några inre spänningar i ekonomiserbanken.

Olika strömningshastighet mellan olika tuber på vattensidan ger emellertid olika temperaturstegring i tuberna räknat från fördelningslådan.

Går vattnet hastigare i en tub, så hinner vattnet inte värmas upp lika högt i temperatur som vattnet i en intilliggande tub med lägre vattenhastighet, allt annat i form av yttre faktorer lika. Variationer i vattenströmningen förväntas därför på samma sätt som variationer i värmebelastningen (rökgassidans inverkan) kunna orsaka interna temperaturskillnader mellan skärmarna eller mellan de individuella tuberna i en ekonomiser, så att interna spänningstillstånd skulle uppstå.

Det finns emellertid en intern utjämningstendens orsakad av att vattnet i ekonomisern kommer att bli stabilt skiktad, vilket diskuteras i avsnitt 6.6. Vi bedömer t.ex. att gravitationseffekterna är starkare än den påverkan det bernouilliska bidraget till vattenströmningen i tubinloppen kan ge (d.v.s. att vattenströmningen från inloppet i lådan skulle ge upphov till interncirkulation mellan de enskilda tuberna).

6.2 Variationer i värmebelastning och värmeupptag

När man t.ex. granskar ritningarna till Tampellas ekonomisar (m/ä, typ Kappa eller Korsnäs SP5, den senare med en höjd på ca 22 m) så är de tuber som går nedifrån lådans nederdel betydligt längre i rökgasströmmen än de kortare tuberna.

Det vatten som strömmar genom lådan tar upp mindre värme på sin väg uppåt än motsvarande värmeupptag i de relativt slanka tuberna (vilket innebär mycket värmeöverförande yta i förhållande till tvärsnittet). Man kan också räkna med att rökgasströmmen söker sig mer åt den sidan där de längre tuberna går.

Genom att vattnet värms mer och därigenom blir lättare så bör emellertid vattenhastigheterna i de här tuberna öka pga av det mindre mottrycket från den lättare vattenpelaren. Också här bör därför tuberna ställa in sig med samma temperaturprofil, men med därtill för varje enskild tub anpassad hastighet.

Samma gäller för de yttersta tuberna i skärmen, de som vetter mot intilliggande uppåtdrag. Här är värmebelastningen på den utåtvända ytan högre, dessutom är det mer värmeyta genom att de har fenor åt tre håll, mot bara två för de flesta

andra tuberna mer centralt i ekonomiserpaketet. Det som kan motverka detta är om vattenströmningen från ekonomiserskärmens fördelningslåda blir mer intensiv så att den återverkar på strömningen i tuberna och ger en bättre kylning av de mer utsatta tuberna. Eftersom vattenströmningen blir styrd av temperaturdifferenserna kan vattenströmningen inte jämna ut temperaturskillnaderna fullständigt. Det blir också kvar en temperaturdifferens i eventuella fenor, eftersom värmeledningen genom fenan in till tubens vatten tar betydligt längre tid än den värmelednings som bara behöver ske tvärs genom tubväggen. Eftersom fenorna förblir varmare än tuben de är fästa vid, så utövar de en kvarvarande dragning i tuben, som inte helt förmås utjämnas av vattenströmningen.

6.3 Strömningsförhållanden på vattensidan i en ekonomiser

Strömningsförhållandena inne i ekonomisern är illa komplicerade, vilket vårt försök till utvärdering har visat. Det är flera faktorer inblandade och som till en del ligger i samma storleksordning och som då interfererar med varandra.

Strömningsförhållandena på vattensidan utmärks av att vattenhastigheten i själva ekonomisertuberna är mycket låg, normalt kanske ca 3-5 cm/sekund. Det innebär att strömningsmotståndet från vattenströmningen i tuberna blir obetydligt.

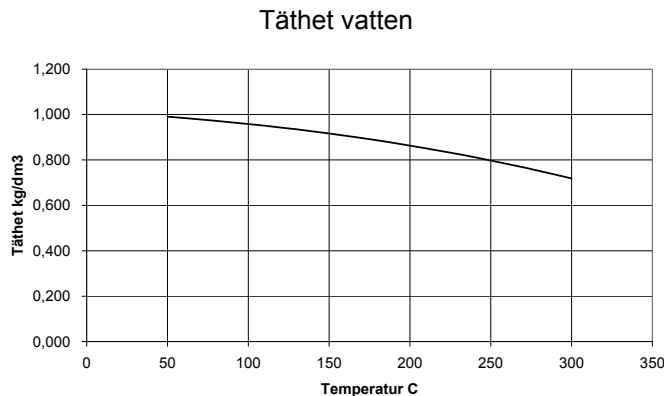
Här har vi att ta hänsyn till:

- Strömningsmotståndet för den enskilda ekonomisertuben.
- Tätheten som funktion av temperaturfördelningen i den enskilda ekonomisertuben.
- Effekter av strömningsmönstret och Bernouilliskt tryck i fördelningslådan.

Strömningsmotståndet för vattenströmningen genom de enskilda ekonomisertuberna är emellertid så långt vi kunnat beräkna det mycket lågt i förhållande till andra parametrar.

Orsaken är att strömningshastigheten för vattnet genom tuberna är så låg. Strömningsmotståndet ökar normalt med ökande strömningshastighet, men det totala strömningsmotståndet för en enskild tub är fortfarande så litet att även en fördubbling av det inte märks i jämförelse med inverkan av andra parametrar.

En viktig faktor däremot är tätheten hos vattnet i ekonomisern och hur tätheten hos vattnet är fördelad mellan de olika tuberna och mellan olika höjd i ekonomisern.



Tätheten hos vattnet minskar allteftersom temperaturen hos det blir högre och den här effekten är ganska stor. Om man bara tar hänsyn till friktionstryckfallet och till täthetseffekten, så får man stabil skiktning i ekonomisern.

Det orsakas av att om vattnet går långsammare i en tub, så värms det upp mer än vattnet i de andra tuberna. Det innebär att vattenpelaren i den tuben, där vattnet alltså går långsammare, kommer att bli lättare. Det innebär att motkraften från tyngden av vattnet blir mindre för den här tuben och vattenströmningen vill tendera till att koncentreras mot den här tuben där vattnet går långsammare.

Summan av resonemanget är att vattnet vill strömma med samma täthetsfördelning, d.v.s. också med samma temperaturfördelning, i alla tuber i hela ekonomisern så att ingen tub sticker ut. Skulle uppvärmningen vara starkare för någon tub, så ökar strömningen i den tuben, så att alla tuber får samma täthetsfördelning, samma totala motstånd när man räknar in summan av friktionstryckfall och ackumulerad vikt.

Den ackumulerade vikten för vattnet i de enskilda tuberna överflyglar i våra beräkningar alla andra faktorer, alla tuber får samma temperaturfördelning. Strömningshastigheten blir på så sätt proportionell mot värmebelastningen för den enskilda tuben. Ingen tub blir varmare än de andra och det uppstår därför inte några inre spänningar och det skulle därför också följaktligen inte heller kunna uppstå någon sprickbildning.

6.4 Vattenströmning i lådorna

Det har antagits att vattenströmningen inne i lådorna skulle kunna återverka på hur vattnet fördelas mellan de olika tuberna.

Vattenströmningen i ekonomiserlådorna kan åskådliggöras med modellförsök eller genom CFD-beräkning. Det är emellertid tveksamt om vattenströmningen i lådan i normalfallet är tillräckligt kraftig för att kunna påverka strömningen i tuberna, men med ökande kapacitet hos pannan så ökar effekten av vattenströmningen kvadratisk mot hastigheten, samtidigt som densitetskillnaderna borde minska med ökande hastighet i tuberna.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

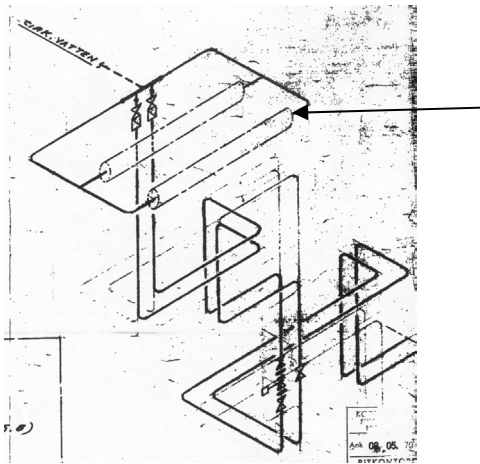
59(74)

Sammantaget borde det kunna påverka bilden om man ökar kapaciteten hos pannan i förhållande till vad pannan ursprungligen är utlagd för. Påverkan av den bernoulliska termen i tryckekvationen skulle i extremfall kunna komma upp i samma nivå som (effekten av) densitetsdifferensen mellan den berörda tuben och de intilliggande.

Återstår då att utvärdera vad strömningsbilden inne i fördelningslådan kan göra. Också strömningen i samlingslådan har naturligtvis också betydelse, men vår bedömning är att den effekten är mindre.

Strömningen i fördelningslådan påverkas av hur matarvattnet tillförs lådan. Normalt kommer det in genom att man delat upp matarvattenledningen så att det är ett tillopp från varje sida.

Olika vattenhastighet kan uppstå om sättet att tillföra matarvattnet till fördelningslådan är starkt osymmetrisk, till exempel om man för in matarvattnet direkt från matarvattenledningen genom en stuts på (vardera) gaveln av lådan.



Bilden visar matarvattenanslutningen i SP70 i Norrsundet, sedan länge utbytt mot en ny ekonomiser.

Eftersom matarvattenledningen har mindre diameter och högre strömningshastighet får man in vattnet som en stråle in i lådan. Tubinloppen till tuberna kommer då att utsättas för olika vattenströmning och fördelningen av vattnet mellan de olika skärmarna i ekonomiserbanken kan bli ojämnt fördelad.

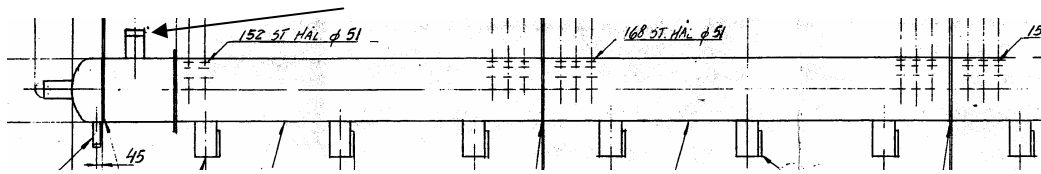
Sedan länge har Götaverken därför också förlagt inloppsstutsarna till den cylindriska delen, så att energin från strömningen (strålen från inloppsstutsen) inte kan stryka förbi tubhålerna i lådan och därigenom påverka fördelningen av strömningen mellan tuberna (bilden nedan från Aspa, 1973). Flera olika lösningar finns på detta.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

60(74)



Vattenströmningen i ekonomisern är inte heller särskilt snabb. Strömningen i tuberna kan röra sig om 5 cm/sekund, strömningshastigheten genom tvärsnittet i ekolådan som mest om ett par dm/sekund, medan matarvattnet i matarvattenledningen kan gå upp till kanske 1,5 m/sekund. Högre vattenhastighet i matarvattenledningarna skulle också kunna ge erosionskorrosion.

Strömningshastigheten i matarvattenledningarna kunde tidigare i vissa fall vara över 2 meter/sekund och det medförde återkommande skador genom erosionskorrosion. Man fick sänka vattenhastigheten genom att dimensionera om ledningarna och ersätta de tidigare matarvattenledningarna med nya med grövre dimensioner och bättre hydrodynamiskt utformade T-stycken, ventiler mm.

I Tampellaekonomisar och Kvaernerekonomisar (d.v.s. med individuella paneler) råder liknande förhållanden, även om tillförseln av matarvattnet till de individuella panelernas fördelningslådor inte är lika neutralt utformat som för de äldre två-lådeekonomiserna av Götaverkstyp.

I Kvaerners fall tillförs vattnet underifrån i mitten och det skulle kunna tänkas öka strömningen i de mittersta tuberna och i Tampellafallet tillförs vattnet från nedre ändan.

Sättet att tillföra vattnet till Tampellas ekonomiserskärmar skulle där kunna påverka strömningen med bättre strömning i de bortre korta tuberna. Strömningen skulle bli något långsammare i de längre tuberna, där vattnet strömmar förbi tubhålen i lådan, eftersom det Bernoilliska trycket skulle ge ett litet negativt bidrag till vattenströmningen i dessa.

6.5 Variationer i värmebelastning och värmeupptag

När man granskar ritningarna till Tampellas ekonomisar (m/ä, typ Kappa eller Korsnäs SP5, den senare med en höjd på ca 22 m) så är de tuber som går nedifrån betydligt längre i rökgasströmmen än de kortare tuberna.

Man kan också räkna med att rökgasströmmen söker sig mer åt den sidan där de längre tuberna går. Det vatten som strömmar genom lådan tar upp mindre värme på sin väg uppåt än motsvarande värmeupptag i de relativt slanka tuberna (vilket innebär mycket värmeöverförande yta i förhållande till tvärsnittet).

Här är värmebelastningen på ytan högre, dessutom är det mer värmeyta genom att de har fenor åt tre håll, mot bara två för de flesta andra tuberna mer centralt i ekonomiserpaketet. Det som kan påverka detta är om vattenströmningen i ekonomiserskärmens fördelningslåda är så intensiv att den återverkar på strömningen i tuberna.

Genom att vattnet värms mer och därigenom blir lättare så bör vattenhastigheterna i de här tuberna öka pga av det mindre mottrycket från den lättare vattenpelaren.

Också här bör därför tuberna ställa in sig med samma temperaturprofil, men med därtill för varje enskild tub anpassad hastighet. Samma gäller för de yttersta tuberna i skärmen, de som vetter mot intilliggande uppåtdrag.

6.6 Temperaturfördelning i ekonomisern under drift och uppeldning/nedeldning.

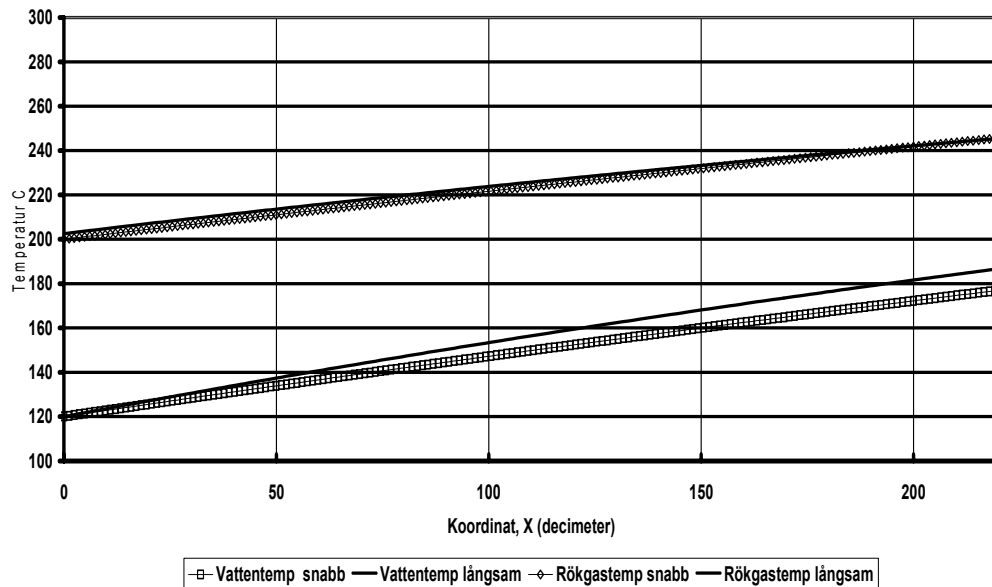
Om vi utgår från att det är interna spänningar i ekonomisern som utlöser sprickbildningen, så blir temperaturfördelningen i ekonomisern mellan olika tuber avgörande för vilka tuber som utsätts för spänningar.

Temperaturen varierar mellan de olika tuberna beroende på flera faktorer:

- vattenströmningshastigheten i den enskilda ekonomisertuben
- eventuell snedfördelning av vattenströmningen mellan olika tuber eller skärmar
- vattenströmningens riktning (!) i respektive tub
- vattnets minskande täthet med ökande temperatur
- beläggningens intensitet på tuben
- kraftigare beläggningar på vissa tuber
- rökgastemperatur och rökgashastighet m.fl. rökgasberoende parametrar
- avvikelser vid upp och nedeldning (framförallt vid uppeldning)

Temperaturfördelningen i ekonomisern bör bli med det vanliga utseendet för temperaturerna i en motströms värmeväxlare:

Temperaturfördelning (Korsnäs SP5)
Två olika flödeshastigheter (100 och 80%)
Antagen mavatemp 120C
Rökgastemp ej nödvändigt korrekt



Genom den kraftigt avtagande tätheten med ökande temperatur kan man förvänta sig att man får stabil skiktning i ekonomisern. I normalfallet bör alltså temperaturfördelningen i ekonomisern ställa in sig så att tyngden av vattenpelaren är densamma i alla tuber (efter korrigering av var infästningen i lådan sitter). Är värmeöverföringen bättre i någon tub, så går vattnet i motsvarande grad hastigare där. Detta diskuteras t.ex. i avsnitt 6.2. Temperaturskillnaderna utjämnas dock knappast fullständigt på grund av trögheten i systemet (d.v.s. att det tar tid för värmen att ledas genom de varmare fenorna in till vattnet i tuben, det blir en rest-temperaturgradient kvar i tubpanelen om den har stora fenor.

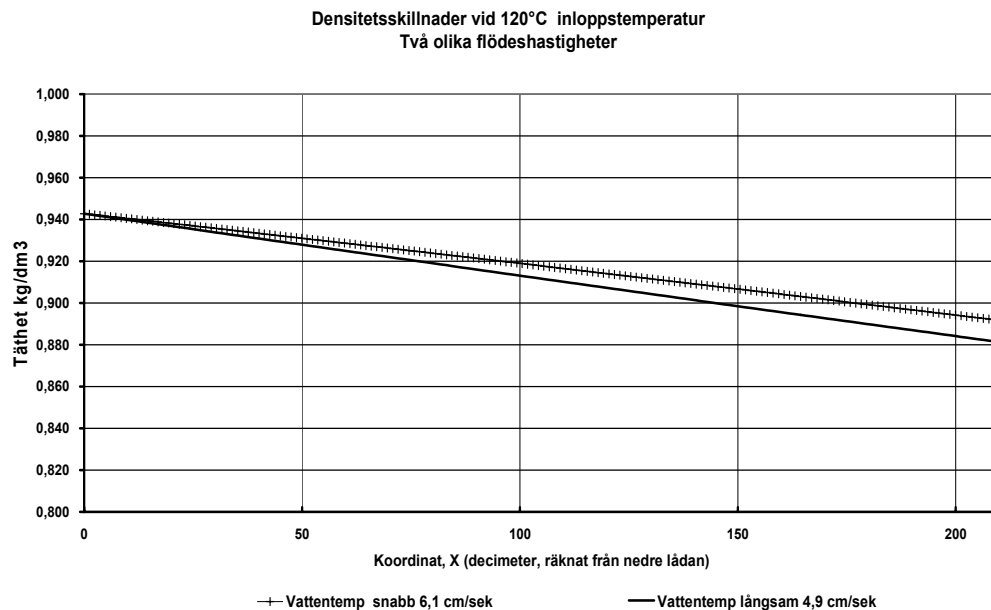
Diagrammet över tätheten hos matarvattnet som funktion av flödet genom ekonomisern är här beräknat med utgångspunkt från data för kalla ekonomisern till Korsnäs SP5.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

63(74)



Redan en skillnad i strömningshastighet motsvarande förhållandet 4 till 5 medför att vattenpelaren blir runt 1% lättare i det ben, där den uppåtgående strömningen är långsammare.

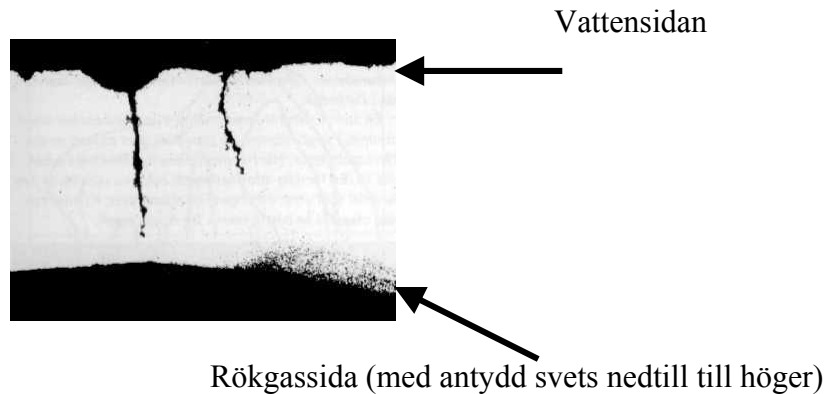
Strömningmotståndet är också högre i den tub där vattnet strömmar snabbare, vilket också verkar för att utjämna flödeshastigheten mellan de olika parallellkopplade tuberna för varje enskild ekonomiserbank. Den effekten är dock liten på gränsen till försumbar. Skillnaden i strömningmotstånd är mycket mindre än den 1% som tätheten orsakar. Eftersom tuberna är kommunicerande kärl så vill det tyngre vattnet hålla emot och rinna baklänges in i den tuben som går långsammare.

Sammantaget så verkar alla krafter på vattensidan till att jämna ut vattentemperaturen mellan de olika tuberna. Man får samma strömningmotstånd och samma densitetsmottryck när det jämnat ut sig fullständigt, d.v.s. när vattnet i de olika tuberna väger lika mycket (strömningmotståndet var ju negligerbart). Då är vattenflödet avpassat och utjämnat och då kommer flödet i de enskilda tuberna att ungefär bli proportionellt mot värmebelastningen för dem. Temperaturen i de enskilda tuberna stiger då lika mycket räknat utefter höjdkoordinaten nerifrån fördelningslådan.

Slutsats: Sluttillståndet blir att vattentemperaturen är fördelad så att temperaturerna blir lika fördelade i alla tuber, medan vattenströmningen kompenserar för de skillnader i värmebelastning som finns på olika ställen i ekonomisern. Det skulle då inte uppstå några temperaturskillnader, som skulle kunna ge upphov till inre spänningar i ekonomiserpanelerna (vare sig i eller mellan Kvaerner/Tampella-typ paneler eller i Götaverken-typ ekonomiserbankar).

7 Korrosionsbetingelser på vattensidan

Tidigare metallografi har visat på sprickor i ekotuberna som inte ännu hunnit bli genomgående. Det finns dokumenterat från gamla pannan i Väja ett fall, där man hade en genomgående och en icke genomgående spricka i tuben invid och mitt emot svetsen till lådan.



Den spricka som startade på vattensidan och som gick genom opåverkat tubgods från den orörda materialytan på vattensidan in emot svetsrågens ytterkant är ett tydligt bevis på hur sprickorna bildas. Svetsrågen ger en spänningskoncentration på rökgassidan. Spänningen blir då också högre även på den motsatta sidan och det växer in en spricka emot den från vattensidan. Detta kan bara tolkas på ett sätt, nämligen att metallytan på vattensidan är mycket känsligare för utmattning än metallytan på gassidan.

Vi har tidigare velat se ett samband så att syre i matarvattnet skulle medverka till uppkomsten av sprickbildning. Det går nog inte att bortse ifrån ett sådant samband, även om det också föreligger en samvariation mellan många nedeldningar och mycket syre i tillförda matarvattnet.

Tidigare kunde t.o.m. vissa fabriker elda ner pannan varje veckohelg, även om de flesta av dagens pannor kanske bara sett helgstopp i samband med storhelgerna.

När man eldar ner och framförallt när man tömmer matarvattentanken eller pannan så får man med stora mängder syre med det nya pannvattnet. Detta ger korrosion under uppeldningsskedet, sedan kokningen kommit igång så fungerar eldstaden som en avgasare.

Syre med matarvattnet kan fortsätta att komma in i ekon i ekonomisern, men det anses att det då förbrukas i ekon genom korrosion. Korrosionsprodukterna bidrar till bildningen av passivskiktet.

Eftersom man inte drar av någon ånga i ekon så avlägsnar man inte heller något syre där, utöver det som reagerar med tuberna på insidan av dem.

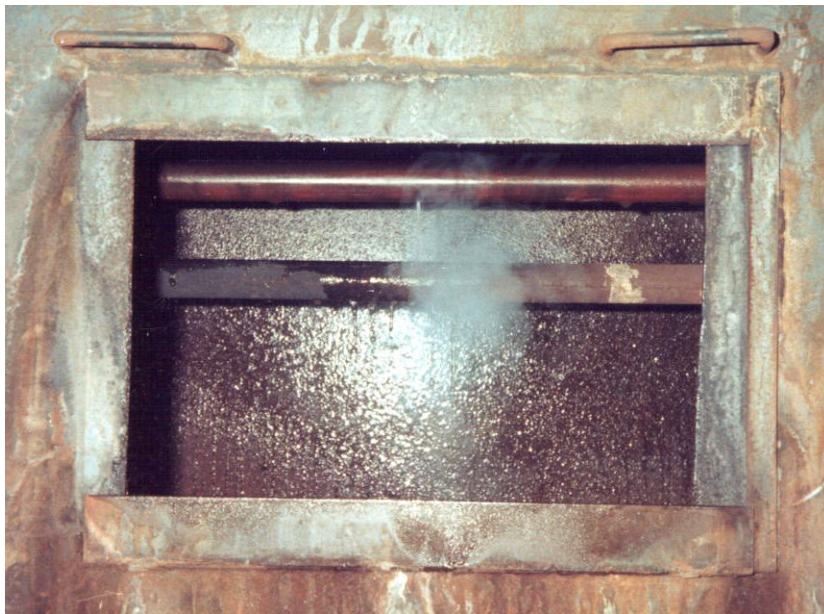
8 Sekundärskador

Huvudsakliga formen av ekonomiserskador är primärskador i form av sprickbildning i en ekonomisertub, normalt vid eller alldeles intill svetsen till någon av lådorna. Ibland uppträder det dock följdskador i form av partier med allmänskorrosion, där tubmaterialet kunnat förtunnas. Ibland är förtunningen så kraftig att tuben fläker.

En typ av förtunning som sker beror på det vatten som sprutar på tuben från intilliggande primärskada, d.v.s. när det har bildats en pora eller en sprickbildning på en intilliggande tub. Det beror på hur sprickan ligger om det utsprutande vattnet träffar en intilliggande tub inom rimligt avstånd, det är första förutsättningen för uppkomsten av en sekundärskada.

När man ser strålen från en skada så har den väldigt olika utseende om man ser den vid en provtryckning i jämförelse med hur den ser ut under drift. Utflödet från en läcka vid en provtryckning blir mer i form av en samlad koncentrerad stråle. Är det fråga om utflöde genom en spricka så ser man ofta en platt stråle som liksom samlar ihop sig för att sedan splittras upp.

Är pannan i drift blir bilden totalt annorlunda.



Bilden visar utflödet från ett borrarat hål \varnothing 1mm vid Sodahuskommitténs erosionsprovning i Skärblacka på 80-talet. Den övre tuben var ansluten till bottenblåsningssledningen i pannan och innehöll pannvatten med fullt tryck och åtminstone var det menat så – full temperatur.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

66(74)

Utflödet under drift från en skada i en tub blir här helt annorlunda. Vattnet är överhettat och så fort som det passerar genom sprickan expanderar det och strålen splittras upp i ett moln av smådroppar. Vattnet förångas partiellt och det beror på hur överhettat det är hur mycket av vattnet som övergår i ångform och hur mycket av vattnet som blir kvar som vätska i form av mycket små vattendroppar. Processen kyler av ångan/vattnet till 100°C, eftersom ju vattnet inte kan existera fritt i rökgasen vid atmosfärstryck vid högre temperatur än så.



Ledning ansluten till bottenblåsningssystemet och med uppborrat hål \varnothing 1 mm

Detta syns bra på det uppföljande försök vi gjorde där vi helt enkelt borrade ett hål i tillloppsledningen till provningsskåpet och lät vattnet strömma ut fritt i lokalen. Strålen breddas genom expansionen, så man får inte en koncentrerad stråle utan det blir liksom ett utbredd moln, som dock fortfarande erfarenhetsmässigt är mycket korrosivt.

Korrosiviteten hos detta är dock beroende av var i ekonomisern eller pannan som skadan inträffar. Vid inloppet till ekonomisern är överhettningen mindre och det blir mer vatten och mindre ånga av det som kommer ut, medan i t.ex. tubsatsen så kan man räkna med att ungefär hälften av vattnet förångas omedelbart, och en hel del av vattendropparna smälter nog också snabbt bort i värmen i rökgaserna.

I fallet med Skärblackaförsöket fick vi dock ovanliga värden, vilket vi tolkar så att tillsatsmedlet (polyaminer) i pannvattnet förhindrade den utvändiga korrosionen på sekundärtuben (den undre tuben i provningsskåpet, upphettad med invändiga värmelement till ca 280°C). Erosionshastigheten vid ett läckage i en tubsats är betydligt högre än den blev vid det då utförda försöket.

Erosionsskadorna tycks dock normalt vara mer omfattande vid en skada i tubsatsen än vid en skada i ekonomisern, speciellt om den är i inloppsdel.

Räckvidden är nog också längre i tubsatsen än den blir i ekonomisern, men där vet vi mindre. Däremot verkar det som om skadorna blir mer koncentrerade när

de uppträder i ekonomisertuberna och mer utbredda när de uppträder i tubsatsen. Det senare är farligare. Visserligen tar det nog längre tid innan tuberna blir riktigt tunna, men utbredda frätskador kan medverka till att tuberna fläks upp, medan mer koncentrerade tubskador mer ger begränsat stora hål i tuben, så att tuben i alla fall ändå håller ihop. Det viktiga är inte hur fort tuben blir som tunnast utan om förtunningen är utbredd, så att tuben fläker upp, eller om den är koncentrerad, så att man får ett mindre hål och ett begränsat utflöde.

Sekundärskadorna är mer kostsamma att reparera än primärskadorna och skadeutvecklingen blir i allmänhet mer dramatisk om det är en sekundärskada som föranleder själva haveriet, men nuförtiden är i allmänhet uppmärksamheten så skärpt att fabriker i regel upptäcker även ekonomiserläckagen i ett så tidigt skede att sekundärskadorna inte hunnit vare sig gå till brott eller att skadorna ens blivit så kraftiga att mer omfattande tubbyten blir påkallade.

9 Røkgassidan

9.1 Strømningsförhållanden på røkgassidan i en ekonomiser

I røkgasschaktet så kommer røkgaserna in tvärs tuberna i överdelen, övergår till strøming parallellt med dem till nederänden där de sveper delvis runt fördelningsslådan och sedan passerar ut genom nästa uppåtriktade och tomma røkgasschakt.

Huvudsakliga strømningsriktningen är parallellt med tuberna i schaktet. Konstruktionen utløser därför inte omedelbara farhågor för att det skulle kunna uppstå vibrationer i dem till följd av sådana fenomen som "Kårmåns virvelgata".

Virvelavløsning vid røkgasstrøming mot tuber eller ett tubpaket utløses när gasstrømingen är vinkelrät mot tubernas riktning. Så är inte fallet här, varför vibrationer utløsta av gasstrømingen synes mindre troliga, även om tubpaketen är relativt långa och borde kunna exciteras i svängning av även mindre krafter vinkelrätt emot dem.

Värmeöverföringen borde vara störst vid inloppet, också beroende på att gaserna där passerar tuberna så nära rät vinkel mot vad de gör längre ner.

Gaserna kommer in osymmetriskt och lämnar schaktet också osymmetriskt. Längre ner har de dock förlorat en del värme, så snedfördelningen vid nederdelen borde bli mindre. Detta kan möjligen inverka, men skillnaderna i värmeöverförande väglängd synes ändå små, d.v.s. det borde inte utlösa sådana temperaturskillnader att mer väsentliga interna spänningar skulle vara att förvänta.

I vissa konstruktioner fungerar yttersta tubraden i varje ekonomiserbank samtidigt som vägg mot intilliggande rökgasschakt. Det innebär att den yttersta tubraden på "stötsidan" kommer att möta rökgaser som är varmare än medeltemperaturen för de rökgaser som berör huvuddelen av ekonomiserbanken. Detta gäller speciellt för Tampellas konstruktion i Kappa/Piteå och Korsnäs TP5. Det är ju också ekonomisers som haft problem med tuberna i det här området.

I schaktet med tubpaketet kan man väl också räkna med en sned fördelning av rökgashastigheten, d.v.s. högsta rökgashastigheten, största flödet och kraftigaste värmeöverföringen på de tuber som ligger mot mitten (i tvärsnittet) av ekostaplarna och motsatta förhållandet för de tuber som ligger längst in i hörnen. Största temperaturskillnad skulle då (kanske) hamna på paret med de rakaste tuberna i de yttersta skärmarna, och det stämmer ju också med deras skaderapporter.

9.2 Lågtemperaturkorrosion på rökgassidan

Bortsett från risken med svavelsyrakorrosion så är inte ekonomisern utsatt för särskilt mycket korrosion på rökgassidan.

Framförallt kan förekomma s.k. lågtemperaturkorrosion, vilket innebär att svaveltrioxid som finns i rökgaserna kondenserar på kalla tuber tillsammans med fukten i rökgaserna och bildar koncentrerad svavelsyra.

Nuförtiden håller man upp matarvattnets inloppstemperatur så mycket att lågtemperaturkorrosion vid tubinloppen och på den kalla ekonomiserns inloppslåda undviks, men det är avbalanseringen mellan ekonomiska förluster genom korrosion och ekonomiska vinster genom bättre utnyttjande av värmets i pannan som avgör, vilken inloppstemperatur på matarvattnet som är den ekonomiskt optimala.

Risken för lågtemperaturkorrosion är alltid starkast vid uppeldning, eftersom då är vattentemperaturen lägre och man befinner sig en längre tid i ett mycket korrosivt temperaturområde. Det finns därför anledning att ge akt på t.ex. bränsle kvalitet vid uppeldning och välja att starta upp på ett svavelfattigare bränsle till dess att man får upp temperaturen på det tillförda matarvattnet.

När man fått upp temperaturen på matarvatten och rökgaser i ekonomisern till normala förhållanden så får man en minskning av lågtemperaturkorrosionen till normala förhållanden.

Det finns därför anledning att ge akt på uppeldningsbetingelserna om det skulle visa sig att man får problem av det här slaget, det är inte säkert att korrosionen bildats under normal drift, det kan likaväl vara förhållandena under uppeldningen som är ansvariga.

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

69(74)

De minskade svavelutsläppen medför också att risken för lågtemperaturkorrosion minskar. Lågtemperaturkorrosionen består i bildning av svavelsyra på tuberna genom samkondensation av svaveloxider och vattenånga i rökgasen. Kondensationen styrs av mängderna av de olika komponenterna, d.v.s. SO_3 , vattenånga och av temperaturen på den utsatta ytan.

För att undvika lågtemperaturkorrosion i ekonomisers och luftförvärmare, rökgaskanaler etc. försöker man hålla en materialtemperatur över ca $130\text{ }^\circ\text{C}$. Vilken temperatur som är kritisk beror på jämvikten med vattenångan och med svaveloxiderna. SO_3 ingår direkt i jämvikten, medan SO_2 bidrar med det som oxideras. SO_2 i sig bildar svavelsyrighet, som kokar vid temperaturer under $100\text{ }^\circ\text{C}$, vilket innebär att SO_2 i sig inte orsakar någon lågtemperaturkorrosion här.

Det kan nämnas att lågtemperaturkorrosion kan orsaka problem i rökgaskanaler om det bildas drivor med sulfatbeläggningar någonstans. Drivorna är permeabla, så SO_3 i rökgasen kommer åt att kondensera på rökgaskanalens vägg under den värmeisolerande drivan. Normalt är den isolerade rökgaskanalens väggar varmare än den kritiska temperaturen för kondensation, men har man blottor i den utvändiga isoleringen eller drivor av sulfat inne i kanalerna så kommer temperaturen på stålet i rökgaskanalens väggar där att få en lägre jämviktstemperatur. Kommer sedan rökgasen åt dessa ytor, så kondenserar det och bildas sura kondensat med korrosion som följd. Normalt är korrosionen vid svavelsyrakondensation proportionell mot mängden kondenserad svavelsyra. All syran förbrukas genom korrosion och lika mycket metall korroderar bort.

Sammanfattningsvis är det, även om numera svavelinnehållet i rökgaserna är betydligt lägre nu än det var tidigare, fortfarande viktigt att hålla rökgaskanalernas väggar rena och värmeisolerade, så att man kan hålla temperaturen på den rökgassidiga ytan av dem väl över $130\text{ }^\circ\text{C}$. Kan man inte det så är det risk för korrosion i ekonomisernas eller skorstenens rökgaskanaler.

Detta gäller alla delar av pannan, t.ex. också överhettarutrymmet. Tränger rökgaserna från pannan ut genom taket och vidare ut genom öppningarna för upphängningsjärnen, så är det risk att dragjärnen korroderar av just i genomgången genom plåtbeklädnaden. Också otäta luckor kan korrodera.

Sammanfattningsvis har dock risken för de här beskrivna korrosionsformerna minskat genom minskande SO_3 - och SO_2 -utsläpp från pannorna. Man håller dock fortfarande matarvattentemperaturer över $130\text{ }^\circ\text{C}$, även om man genom att "finlira" skulle kunna balansera en lägre svaveloxidhalt i rökgasen mot en sänkt matarvattentemperatur och på så sätt vinna en aningen förbättrad energieffektivitet. Kostnaderna för reparation blir dock för stora om det skulle "gå snett", så det är inte något man i normalfallet kan tillråda.

En "lustig" detalj när man har lågtremperaturkorrosion är att man kan få korrosion på själva tuberna när man har fenade tuber, medan fenorna förblir okorro-

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

70(74)

derade. De påsvetsade fenorna blir varmare, medan själva tubytan kyls direkt av det inkommande matarvattnet. Själva tuben, men inte fenorna, kommer att bli kallare än dagpunkten för svavelsyran och blir utsatt för korrosion. Det innebär att när man inspekterar en ekonomiser skall man kontrollera tubytorna vid inloppsdelen för korrosion. De påsvetsade fenorna kan se väl så fina ut, medan själva tuben de är svetsade på fortfarande kan vara förtunnad.

Även inloppslådan kan bli utsatt för korrosion. Det blir ju ofta en driva av sulfat ovanpå lådan. Sulfatet verkar värmeisolerande, vilket gör att lådan kommer att materialytan får samma temperatur som det inkommande matarvattnet. Är lådan "skyddad" på det här viset kan den bli föremål för kondensation av gasformiga komponenter i rökgasen, d.v.s. att fukten och eventuellt förekommande SO_3 i rökgasen tillsammans bildar svavelsyra.

Övriga komponenter som kan vara av intresse ur korrosionssynvinkel utgör ett problem först sedan temperaturen kommer ner under ca 70°C . Är vattenånghalten hög kan man då få kondensation av vattenånga och får man kondensation av vattenånga så får man samtidigt samkondensation med HCl , SO_2 , ättiksyra, myrsyra och liknande komponenter, i den mån de förekommer som "förorening" i rökgaserna. Samkondensatet blir surt, men utspätt beroende på hur de kemiska jämvikterna hamnar.

Kondensation av t.ex. HCl utan samkondensation med vatten är inte aktuellt i en ekonomiser där alla temperaturer är över 100°C , destillationskurvan för saltsyra ser inte ut på det viset och torr HCl -gas kondenserar vid mycket lägre temperaturer eftersom halterna är lägre.

Däremot är kokpunktskurvorna för saltsyra, svavelsyrlighet, ättiksyra, myrsyra inte alltför olika vattenångans kokpunktskurva, men mängderna är lägre och då hamnar dagpunkterna normalt betydligt lägre än vad som är intressant i t.ex. en luftförvärmare eller liknande pann-komponent med lägre yttemperaturer. Här dominerar andelen vattenånga i luften totalt hur och när kondensationen sker. Verkliga värden för det aktuella fallet kan naturligtvis här alltid beräknas, då de kemiska jämvikterna är väl kända och utforskade.

Allt det här kan emellertid fortfarande inträffa under en kortare tid i samband med uppeldning efter att pannan varit avställd.

Sammanfattningsvis så tycks allmänkorrosion inte vara något väsentligt problem i ekonomisers. Högre förbränningstemperatur medför lägre svavelhalter i rökgaserna, samtidigt som man också mött upp genom att successivt höja temperaturen på ingående matarvatten.

Vill man förbättra energiekonomin genom att försiktigt höja matarvattentemperaturen så bör man komma ihåg att också själva ekonomisern representerar stora värden och korrosionen är inte reversibel.

9.3 Korrosion och igensättningar med smälta salter

I vissa fall kan man få problem i de varmare delarna av ekonomisern med lätt-smältande salter, som natriumvätesulfat (natriumbisulfat) och natriumpyrosulfat. Detta förutsätter att SO_3 -halterna är höga. Surt stoft kunde tidigare framförallt medverka till att ekonomisrarna i vissa fabriker kunde mer eller mindre pluggas igen av kladdigt stoft, men med dagens lägre svavelutsläpp är det problemet mindre.

Andra ämnen att tänka på är t.ex. ammoniumvätesulfat. Vi har inte utvärderat ammoniumvätesulfat inom Sodahuskommitténs tidigare korrosionsprojekt, men Värmeforsk lär ha någon rapport. Ammoniumvätesulfatet har en smälttemperatur vid 147°C , så man kan inte helt bortse från risken att det skulle kunna bekymra. Det kan också bilda eutektiska smältor med andra salter med nära samma sammansättning, så temperaturgränsen nedåt för risken för korrosion kan vara svårbestämd i de fall man har problem med bildning av ammoniumsalter i de bakre rökgasvägarna (d.v.s. vid ammoniakinsprutning).

Den andra formen av allmänkorrosion har liknande bakgrund, då den också förutsätter förekomsten av svaveltrioxid i rökgaserna. Blir halterna av SO_3 för höga kan det bildas natriumpyrosulfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_7$, respektive natriumvätesulfat. Natriumpyrosulfatet är mest aktuellt för högre temperaturer, men natriumvätesulfatet kan bildas vid temperaturer i området ca 290°C till ca 400°C .

Diagrammet visar att man normalt inte kommer upp i så höga SO_2 och SO_3 -halter som det skulle krävas ens för natriumvätesulfatbildning. Bildning av natriumpyrosulfat ligger ännu längre bort i sannolikhetsgrad.

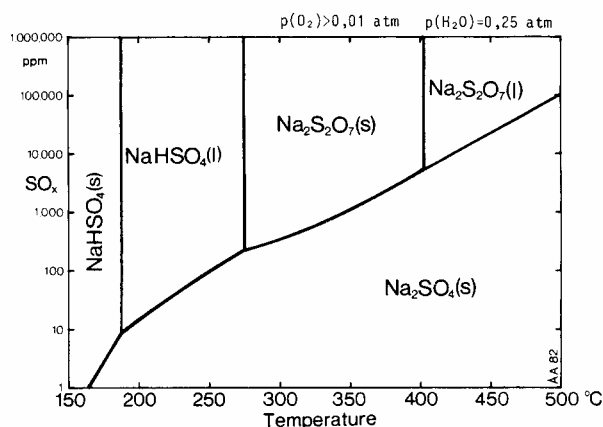


Figure 1. The stability diagram $\text{Na}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-SO}_x$.

Natriumvätesulfatet i sig självt (NaHSO_4) uppges ha en rätt hög smälttemperatur på mer än 315°C , men får det ta upp kristallvatten ($\text{NaHSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) sjunker smälttemperaturen till strax under 60°C . Hupa och Backman uppger lägre temperaturer för natriumvätesulfatet, smältpunkten ligger i deras arbeten kring 185°C .

Sodahuskommittén



Korrosion och sprickbildning i ekonomisers till sodapannor

72(74)

°C för det vattenfria saltet och nere vid rumstemperatur för formen med en kristallvatten.

Gränsen mellan smält natriumvätesulfat och fast natriumpyrosulfat ligger i storleksordningen 280°C, vilket skulle innebära att korrosionsrisk föreligger för pannor med lägre tryck, medan pannor med högre tryck (över säg ca 60 bar) skulle gå fria. Det smälta natriumvätesulfatet ersätts då av fast natriumpyrosulfat och man kommer in i ett område med mindre korrosion.

Vi har också erfarenheter av detta, speciellt från Domsjö, där SO₃-halterna åtminstone tidigare har varit högre och där trycket i pannorna inte är det högsta. Nordens andra (tidigare) natriumsulfatfabrik, i Rauma, har haft högre panntryck, vi har i alla fall inga rapporter därifrån.

Över 280°C omvandlades natriumvätesulfatet till natriumpyrosulfat, vilket då föreligger i fast form. Korrosionen minskade här alltså när man höjer temperaturen. Även natriumpyrosulfatet kan smälta, men det är vid högre temperatur och då måste SO₃-halten vara orealistiskt hög för att det fortfarande skall föreligga något natriumpyrosulfat. Natriumpyrosulfatet orsakar därför knappast några problem, vare sig med korrosion på tuberna eller som orsak till igensättning av rökgasstråken.

Eftersom en vattenlösning av natriumvätesulfat är rätt så starkt sur, så innebär det en risk för rätt kraftig korrosion om man får vätesulfatbildning i rökgaserna i ekonomiserområdet. Även det smälta saltet som sådant är kraftigt korrosivt på kolstålstuber.

Vätesulfatbildningen brukar åtföljas av kraftiga igensättningar, eftersom man får vätesulfatet som ett smält klister, vilket får det normalt förekommande natriumsulfatet att baka ihop. Den här sintringen och okontrollerade tillväxten av beläggningarna är nog det största problemet som natriumvätesulfatet kan åstadkomma. Beläggningstillväxten styrs dock av rökgastemperaturen och inte av ekonomisertubernas materialtemperatur.

Den natriumvätesulfatkorrosion som skulle kunna tänkas uppkomma vore i de varmaste delarna av ekonomisern, där vattentemperaturen är tillräckligt hög, d.v.s. över 170°C. , risken för att det skulle uppstå en situation med vätesulfatkorrosion på tuberna i ekonomisern är nog ändå rätt obetydlig.

Vätesulfatbildning kräver ju relativt höga SO₂- och SO₃-halter och var därför även tidigare ganska sällsynt förekommande. Idag när man driver upp torrhalterna så ökar förbränningstemperaturerna i eldstaden med än mindre svavelutsläpp som följd. Den andra positiva konsekvensen är då minskade igensättningar och frånvaro av vätesulfatkorrosion på tuberna.

Möjligen kan fortfarande igensättningsproblematiken bli besvärande, men även där är förutsättningarna för att det skall uppstå problem mindre "gynnsamma" idag. Svåra igensättningar i ekonomisern kan dock uppkomma om förbränningsförhållandena spårar ur.

9.4 Igensättningstendenser

I föregående kapitel berördes inverkan av natriumvätesulfat m.fl lågsmältande salter, vilka kan medföra kladdigt stoft. Även det rena natriumsulfatet ger avsättningar, här har man också att ta hänsyn till att natriumsulfatet är hygroskopiskt och kan ta upp icke obetydliga mängder kristallvatten ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$). Det kan leda till expansion och deformationer.

Natriumsulfatet i ekonomisern avsätter sig annars som damm, d.v.s. rökgasströmningen avgör hur och var man får hårt packade drivor av natriumsulfatkorn.

Natriumsulfatbeläggningarna får betydelse som värmeisolerande skikt om de tillåts bygga upp, så att t.ex. panelerna närmast rökgasgångarnas sidoväggar tillåts bli inbäddade i sulfatet. Detta kan ha betydelse vid uppeldning.

Sulfatet är samtidigt resultatet av reaktioner i rökgaserna. Sulfatkristallerna är ju utskiljda från gasfas (sublimering), det är därför stoftet här bak är så fint. Samtidigt är ångtrycket för natriumsulfat så lågt att man har ingen avångning av sulfat tidigare i processen, vilket skulle resultera i natriumsulfatånga, som sen kunde kondensera (sublimera) ut när det blir kallare längre bak i rökgasvägarna (d.v.s. i ekonomisern).

Sulfatet bildas istället genom reaktion med det svavel som finns i rökgaserna när de lämnar eldstaden, det bildas alltså genom en kemisk reaktion mellan förångade svavelföreningar och förångade alkalier (Na_2O (g), Na (g)) och inte genom att rökgasen blir övermättad på natriumsulfat.

Sulfatpartiklarna sätter sig sedan gärna också på fördelningslådorna, eftersom man har omlänknings av rökgaserna här nere. Om matarvattentemperaturen inte är tillräckligt hög kan det medföra risk för kondensation av SO_3 till svavelsyra från rökgaserna.

Speciellt om det lägger sig drivor av sulfat på t.ex. fördelningslådan vid inloppet för matarvattentillförseln, så kommer materialet här att få samma temperatur som matarvattnet har, d.v.s. lite lägre temperatur än vad godset har runtomkring, där man har en temperaturgradient på grund av värmetransporten genom godset.

Vid diskussioner så säger man nu, att man har tillräckligt höga matarvattentemperaturer (över 130°C) så det skulle inte längre vara ngt problem. Här har ju

också de lägre svavelhalterna i rökgaserna med de högre torrhalterna och högre förbränningstemperaturerna i eldstaden också en positiv inverkan.

Det anses annars allmänt att en yta som är utsatt för allmänkorrosion skulle vara mer känslig för bildning av utmattningssprickor än en icke korroderande yta. Detta faktum tycks dock inte ha påverkat uppkomsten av sprickor intill svet-sarna mellan tub och låda. Sprickorna var ju också i huvudsak initierade från vattensidan och inte från rökgassidan och det visar att korrosionspåverkan på mekanismen är mindre på rökgassidan än på vattensidan.

10 Erosionskorrosion i matarvattenledningarna

Risken för erosionskorrosion i matarvattenledningarna ingår inte i uppgiften för denna undersökning, men fortfarande kan det vara meningsfullt att påpeka vissa förhållanden:

När man ökar pannans kapacitet så ökar alla vattenhastigheter proportionellt mot den ökade ångproduktionen. Kommer vattenhastigheten i matarvattenledningarna upp emot 2 meter/sekund, så finns det anledning att beakta risken för erosionskorrosion.

De faktorer som inverkar är bl.a.:

- vattenhastigheten (gärna lägre än 1,5 meter/sekund)
- vattnets pH (bör vara högre än 9,2, ännu hellre högre än 9,4).
- materialet i ledningen (framförallt kromhalten i materialet)
- temperaturen (störst risk vid ca 150 °C)
- strömningsstörningar vid T-stycken, ventiler etc.

Kan man inte möta upp emot kraven så bör man överväga att konstruera om ledningarna. Man kan också se till att man håller pH över 9,4, vilket dock kan ge problem om kondensatsystemet innehåller föremål av koppar, t.ex varmlufts-batterier.