



F O R S K N I N G S R A P P O R T

Förutsättningar för experimentella studier av vätskesidiga panntubsprocesser

Författare; Magnus Nordling

KIMAB-2008-124

Status *Slutrapport, Öppen*

Swerea KIMAB AB ● Box 55970, 102 16 Stockholm
Telefon 08-440 48 00 ● Fax 08-440 45 35 ● E-post kimab@swerea.se ● www.swreakimab.se

Titel: Förutsättningar för experimentella studier av vätskesidiga panntubsprocesser
Författare: Magnus Nordling
Rapport nr: KIMAB-2008-124
ISSN:
ISRN: SIMR/R--08/053--SE
Tryck: Swerea KIMAB AB, Stockholm, 2008

Förord

Denna rapport redogör för förutsättningarna för att bedriva verklighetsnära studier av vätskesidig panntubskorrosion. De olika metoderna som finns beskrivs utifrån vetenskapliga förutsättningar, nuvarande nyttjandegrad, tillgänglighet och kostnad.

Projektet är en samfinansiering mellan Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse och medlemsprogrammet Korrosionsinstitutet på Swerea KIMAB.

Sammanfattning

Förutsättningarna för att kunna göra studier av vätskesidig panntubskorrosion vid förhållanden som efterliknar de mest extrema, d v s nära kritiska punkten (378 °C, 218 bar) har undersökts.

Tre varianter har kunnat konstateras; rörströmningskrets, autoklav och fullskaleförsök.

Med utnyttjande av en rörströmningskrets, där provtuben uppvärms med något slags värmeelement, exempelvis värmemanschetter, kan de verklighetsnära kraven efterlevas, samtidigt som exponeringsförhållandena kan hållas under kontrollerbara former och exponeringsmiljön varieras inom vida gränser. Däremot är tillverkning av en sådan rörströmningskrets hög, och driftskostnaderna likaså om man eftersträvar strikt verklighetsnära förhållanden, ca 1.3 MKr respektive 360 000 kr/månad, där kostnaden i det senare fallet till viss del grundar sig på en flödes hastighet för mediet på 2 m/s och en inre rördiameter på 5 cm. Driftskostnaderna kan dock sänkas markant om man till viss del frångår kravet på att optimalt efterlikna verklighetsnära förhållanden. Exempelvis skulle en flödes hastighet på 0.5 m/s och en inre rördiameter på 2.5 cm ge en driftkostnad på 17 000 kr/månad. Den enda rörströmningskrets anpassade för extrema tryck som stått att finna är en som finns på Studsvik Nuclear AB. Den efterliknar visserligen förhållandena i en genomströmningspanna, vilken är en i Sverige ovanlig variant av panntyp, men skulle eventuellt kunna byggas om för att efterlikna en dompanna. De uppgivna månadskostnaderna är dock relativt höga.

Även den enda högtrycksautoklav som kunnat hittas finns på Studsvik. Här uppges en kostnad för hyra på 15-40 000 kr/månad. Det är att jämföra med en inköpskostnad på 405 000 kr för en mer avancerad och en konstruktionskostnad på 250 000 kr för en mindre avancerad variant. Autoklavbaserade försök är dock bristfälliga vad gäller verklighetsnära tester. Detta främst beroende på att ingen förångningsprocess sker på provytorna, inget kraftigt flöde passerar över materialets provyta och att provmaterialet inte utsätts för en temperaturgradient.

Det mest realistiska fullskaleförsöket utgörs av att provtuber ersätter befintliga delar av panntuberna. Detta ger då en förhållandevis billig undersökningsmetod, men möjligheterna att variera exponeringsmiljön är dock kraftigt begränsad med anledning av att det inte går att riskera anläggningens driftssäkerhet.

Summary

Three different types of making realistic examinations of water side corrosion for combustion plants exists - by using a loop, by using an autoclave and by doing in situ measurements. If using a loop, the exposure of the sample can be made very realistic, and the environment can be held under strict control and at the same time be changed towards extreme characteristics. No loops for doing investigations of water side corrosion is however available in Sweden. The focus was therefore on the testloop, by ascertain the different variations of construction possibilities and the cost. The cost of building a loop capable of doing measurements at extreme pressures e.g. 200 bar, is however very high. A level of 1.3 million SKR is not an understatement and the cost of operating is also not low, e.g. 20 000 SKR per month for a measurement on a tube with an inner diameter of 2.5 cm, a flow rate of the tube water of 0.5 m/s and having a pressure of 200 bar. It is a cost that can be overcome though, if some sort of cooperation is made.

Doing measurements by using an autoclave is less expensive but far less realistic due to that no heat gradient occurs through the sample, due to no risk of boiling and therefore increase of water soluble species concentrations and due to no erosive effects from the water flow. Doing in situ measurements by changing the plant tubes are even less expensive, but the exposure environment can not be varied as much as wanted because of the plant safety.

However, all three methods have their own advantages and can be of useful complement to each other when trying to increase the knowledge of waterside corrosion and how to attain a good magnetite layer.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	1
1.1	BAKGRUND.....	1
1.2	PROBLEMOMRÅDEN.....	1
1.3	MÅL OCH MÅLGRUPP	2
1.4	PROJEKTBESKRIVNING OCH GENOMFÖRANDE	3
2	VÄTSKESIDIG MILJÖ FÖR FÖRBRÄNNINGSANLÄGGNINGARS PANNTUBER.....	4
2.1	PANNTYPER	4
2.2	PANNVATTNETS KÄNNETECKEN	5
3	UNDERSÖKNINGSMETODER.....	9
3.1	AUTOKLAVBASERAD	9
3.2	LOOP.....	13
3.3	FULLSKALEFÖRSÖK	23
4	DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	25
5	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBEDE	27
6	ACKNOWLEDGEMENT	28
7	REFERENSER.....	29
8	BILAGOR.....	31
8.1	ÅNGTRYCKSKURVA FÖR VATTEN.....	33
8.2	BESTÄMNING AV EFFEKTKRAV FÖR FÖRÅNGNING.....	35
8.3	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR ELDISTRIBUTION	39
8.4	FÖRETAG MED LOOPUTRUSTNING.....	41
8.5	FÖRETAG MED UTRUSTNING FÖR RÖRSTRÖMNINGSKRETS, EXKLUSIVE PUMPAR	43

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I en ångpanneanläggning är huvudkomponenterna på vatten-ångsidan matarvattenpumpen, ekonomisern, förångaren och överhettaren. På vatten-ångsidan hos panntuberna i förångaren är tryck och temperatur ofta mycket höga, och tuberna utsätts därför för påfrestningar av extrema slag. Framför allt gäller det panntuberna i kraftverkspannor där tryck uppåt 150 -160 bar är vanligt förekommande, men även cellulosapannor är det allt vanligare med tryck på upp till 80-100 bar [1]. De extrema förhållandena gör att kraven på matarvattnets kvalitet är mycket hög, och även mindre avvikelser från rekommenderade värden kan få allvarliga följder i form av kraftigt påskyndad materialförbrukning, driftsstopp och i värsta fall anläggningshaveri.

Frågeställningar rörande effekt av olika renhetsgrader exempelvis med avseende på syre, rörande lämpliga gränser av pH och rörande lämpliga nivåer för olika konditioneringsmedel, exempelvis fosfater och ammoniak är därför mycket viktiga. En möjlighet att öka kännedomen om detta vore på experimentell väg. Denna rapport presenterar ett antal olika metoder för experimentell undersökning av pannvattnets påverkan på panntubernas vätskesida, samt de vetenskapliga och ekonomiska förutsättningarna för dessa. Dessutom anges i rapporten ett antal projekt vilka med utnyttjande av de lämpligaste av de experimentella teknikerna skulle kunna klargöra några av för branschen aktuella frågeställningar.

1.2 Problemområden

Vilken kvalitet som pannvattnet måste ha för att skador på panntubernas vatten-ångsida ska kunna undvikas, hur denna kvalitet ska kunna erhållas och hur övervakningen av kvalitén ska kunna ske på ett betryggande sätt får anses till allra största delen ha fastställts [1]. De skador som ändå uppkommer kan därför oftast härledas till att rekommendationerna inte har följts. Ett exempel på anledningen till detta är ett medvetet kalkylerande med riskerna av att med hänsyn till ekonomiska besparingar dra ner på de kostnader som behövs för att säkerställa en god kvalitet på matarvattnet. Ytterligare exempel på varför rekommendationerna inte har följts kan ha varit att kunskap hos personalen varit bristfällig, och att det varit skador i systemet exempelvis i form av felställda och skadade ventiler, eller bristfälligt fungerande utrustning för övervakning av vattenkvalitén.

Frågeställningar rörande effekt av viss vattenkvalité kan dock ändå uppkomma. Det gäller i exempelvis de fall där anläggningsansvarige kan konstatera att befintlig utrustning inte räcker till för att hålla vattenkvalitén på en tillräckligt hög nivå för att undvika driftsskador. Valet står då mellan att investera i en kostsam reningsutrustning för systemets vatten, eller att pröva med de på marknaden förekommande kemikalier, för vilka utlovas att de som tillsats till pannvattnet ska göra att beläggningar eller andra problem relaterade till panntuber uteblir. Även för de fall där hanteringen av pannvattnets kvalitet varit eftersatt och medfört att kvalitén redan sjunkit till sådan nivå att korrosionsskador riskerar uppkomma, finns kemikalier vilka utlovar att inte heller någon kostsam rening av systemet vatten eller av panntubernas insidor behöver utföras. Någon oberoende granskning av dessa kemikaliers effekt har dock inte utförts och anläggningsansvarige är därför utlämnad till kemikalieleverantörens egna undersökningar.

Oxidskiktstillväxt i form av magnetit sker kontinuerligt i förbränningsanläggningars panntuber. Ett heltäckande, homogent och väl vidhäftande oxidskikt utgör ett skydd mot korrosion på det underliggande materialet. Blir oxidskiktet för tjockt hämmas dock värmeöverföringen för mycket och oxidskiktet måste avlägsnas, varefter tillväxten startar på nytt. Kostnaderna i samband med rengöring är höga, främst i form av produktionsbortfall. Exempel finns på att vissa tvingas beta så ofta som vart tredje år mot normala 10 [1]. Om tillväxthastigheten för oxidskiktet skulle kunna minimeras skulle också anläggningens tillgänglighet kunna ökas markant. Vad värre är, är att om en normal oxidskiktstillväxt störs så kan skador i oxidskiktet lätt uppkomma, och detta kan resultera i korrosion på det underliggande materialet, eventuellt så pass omfattande att panntuben penetreras och läcka uppstår. Dessutom gör ett tjockt magnetitskikt att kylningen från pannvattnet minskar med risk för överhettning av panntuben, en risk som ökar vid högre driftstemperatur p g a att magnetitskiktet då växer snabbare. Tillsatser till pannvattnet görs i de flesta fall, främst av fosfater och ammoniak. Även andra ämnen som nya varianter av konditioneringsmedel föreslås regelbundet och tillsätts också i vissa fall. Hur fosfater och andra tillsatser påverkar magnetitskiktet finns det liten kännedom om, framför allt vad avser ideala halter för magnetitskiktets tillväxt.

Vid kraftproduktion medför en höjning av ångdata en ökning av effekten. Ytterligare en frågeställning rörande vattenkvalité som blir aktuell med anknytning till detta inträffar när en anläggning funderar över att höja ångdata till sådana nivåer som är ovanliga för svenska förhållanden. En extremare nivå på ångdata medför att kravet på pannvattnets kvalité också ökar. Visserligen finns utanför Sveriges gränser ett flertal anläggningar med ångdata över 200 bar för vilka erfarenheter finns att tillgå. Flertalet av dessa använder dock kol och olja som bränsle, medan den för svenska förhållanden vanligt förekommande användningen avfallsförbränning och biobränsle medför en annan karaktär på värmebelastningen på panntuberna. Dessutom är det inte ovanligt att anläggningar utanför Sveriges gränser använder sig av tillsatser till pannvattnet och har driftsrutiner som skiljer sig från svenska förhållanden på ett tydligt sätt [1]. En fråga som exempelvis inte är helt utredd är hur närvaro av fosfater påverkar magnetitskiktet vid extrema ångdata, där bl. a uppgifter om så kallad hideout förekommer [2]. Erfarenheter från dessa anläggningar rörande pannvattenhantering riskerar därför att inte vara direkt översättbara till svenska förhållanden. Osäkerhet uppstår därmed på vilket sätt anläggningen ska anpassa sina rutiner rörande kvalitén på pannvattnet.

Exempel på frågeställningar att utreda rörande pannvattnets effekt på panntuberna är alltså effekt på kvalitén för pannvattnet, och på kvalitén och tillväxten för oxidskiktet, vid tillsats av olika konditioneringsmedels samt effekter av en höjning av ångdata. En möjlighet, att öka kännedomen om dessa frågeställningar, och snarast en nödvändig sådan, är att göra det på experimentell väg.

1.3 Mål och målgrupp

Klarlägga vilka möjliga experimentella undersökningsförfaranden det finns avseende studier av vätskesidiga panntubsprocesser, samt de vetenskapliga och ekonomiska förutsättningarna för dessa.

Om förutsättningarna för en eller flera av metoderna är goda ska lämpliga projekt föreslås för dessa.

Målgruppen utgörs av ansvariga för förbränningsanläggningars verksamhet i allmänhet och ansvariga för förhållandena hos vätskesidiga panntubsförhållanden i synnerhet i samarbete med forskningsutförare.

1.4 Projektbeskrivning och genomförande

Vätskesidiga panntubsprocesser förekommer givetvis båda för eldrör- och rökrörspannan och för vattenrörspannan, men en experimentell utformning av en utrustning för att efterlikna respektive förhållande skulle skilja sig kraftigt åt. Eldrör- och rökrörspannan utgör dock en mindre betydande del av de ångpannor som finns. Dessutom byggs dessa vanligen med tryck på upp till högst 25 bar, att jämföra med vattenrörspannan på upp till 150-160 bar, varför det finns vattenrörspannor som utsätts för betydligt större påfrestningar på tubernas vätskesida jämfört med de mest utsatta eldrör- och rökrörspannorna. Detta projekt riktar sig därför in sig på att främst ta reda på de experimentella förutsättningarna för att efterlikna förhållanden i vätskesidiga panntuber. Resultaten som redovisas i denna rapport och resultat som kan erhållas från experimentell utrustning anpassade till vattenrörspannor bör dock ändå till stor del kunna utnyttjas till gagn för utformning och rekommendationer vid drift även av eldrörspannor.

Främst har förutsättningar för att konstruera experimentell utrustning och då framförallt en rörströmningskrets utretts. Kostnad för inköp av behövlig utrustning för detta har också undersökts.

Litteraturen har granskats för att ta reda på och bedöma de metoder som har använts eller som fortfarande används för att studera vattensidiga panntubsprocesser.

Kontakt har tagits med universitet, övriga forskningsorganisationer och anläggningsägare för att ta reda på vilka experimentella metoder dessa eventuellt använt sig av. Metoderna har bedömts ur vetenskaplig och ekonomisk synvinkel, varav det sistnämnda inkluderat kostnaden för möjligt upplåtande av behövlig utrustning av mer avancerat och kostsamt slag.

Slutligen har ett antal projekt beskrivits vilka med utnyttjande av de lämpligaste av de experimentella teknikerna skulle kunna klargöra några av för branschen aktuella frågeställningar.

2 Vätskesidig miljö för förbränningsanläggningars panntuber

2.1 Panntyper

2.1.1 Vattenrörspanna respektive eldrörspanna

Vid energiproduktion genom förbränning kan konstruktioner med panntuber utnyttjas i samband med överföring av värmen till ett lämpligt medium, vanligen vatten eller ånga. Är konstruktionen av sådant slag att förbränningsgaserna går genom tubernas insida medan det värmeupptagande mediet ligger utanför kallas konstruktionen för "eldrör- och rökrörspanna" eller kortare "eldrörspanna", medan benämningen vattenrörspanna används för det motsatta fallet. Vätskesidiga panntubprocesser förekommer givetvis båda för eldrörspannan och för vattenrörspannan, men en experimentell utformning av en utrustning för att efterlikna respektive förhållande skulle skilja sig kraftigt åt. Dessutom byggs dessa vanligen med tryck på upp till högst 25 bar, att jämföra med vattenrörspannan på upp till 150-160 bar, varför det finns vattenrörspannor som utsätts för betydligt större påfrestningar på tubernas vätskesida jämfört med de mest utsatta eldrör- och rökrörspannorna. På detta och på att betydelsen av vattenrörspannor är större än eldrörspannor riktar sig detta projekt in sig på att främst ta reda på de experimentella förutsättningarna för att efterlikna förhållanden i vätskesidiga panntuber.

2.1.2 Typer av vattenrörspanna

Vattenrörspannan kan i sin tur delas upp i dompanna och genomströmningsspanna. Skillnaden mellan dompanna och genomströmningsspanna är att dompannan har två separata flödeskretsar, en för ångvattenblandning och en för ånga, förenade via ångdomen (se figur 1a), medan genomströmningsspannan består av en serie parallellkopplade rör, där vattnet i en följd förvärms, förångas och överhettas (se figur 1b). Drivs pannan under subkritiska förhållanden, dvs inte vid eller över den kritiska punkten (374 °C, 218 atm), kan vattnet förekomma i två separerbara faser, ångfas och vätskefas. Detta innebär i sin tur att man med en pannkonstruktion där det ingår en ångdom, kan kvarhålla en del av förångningsmediet, dvs vattnet, i förångningsdelen, medan den resterande delen, dvs ångan, går vidare till värmeväxlare för värmeupptag, eventuellt föregången av en turbin. Fördelen med dompanna jämfört med genomströmningsspanna är att ångans renhet kan hållas betydligt högre i dompannan vilket är av största vikt för pannor där ångan utnyttjas för att driva en turbin, dvs i ett kraftvärmeverk. Genomströmningsspannans fördel är å andra sidan att en pannkonstruktion utan ångdom är blir billigare, och att den kan startas relativt snabbt. För tämligen stora anläggningar är starttider på ca 1 timme normalt.

En annan uppdelning av vattenrörspannan kan göras efter huruvida de har cirkulationspump eller ej, dvs pannor med påtvungen cirkulation eller pannor med självcirkulation. En förutsättning för självcirkulation är att trycket är sådant att det är tillräckligt stor skillnad mellan vattnet och den mättade ångans densitet, varför trycket inte kan vara för högt. Dessutom måste ångvattenkretsen ha en tillräcklig nivåskillnad, varför man inte kan ställa förångningstuber horisontellt. Tvångscirkulationsspannan har därför fördelen att högre tryck kan nyttjas för förbättrat effektuttag och att även horisontella förångningstuber kan nyttjas, möjliggörande ett bättre värmeupptag i förbränningskammaren. Ytterligare en fördel

gentemot självcirkulationsspannan är att man kan tillåta stora strömningsmotstånd. Man kan därför använda sig av små tubdiametrar (25-30 mm). I en genomströmningspanna upprätthålls vattencirkulationen med hjälp av matarvattenpumpen, varför genomströmningsspannan kan sägas vara ett specialfall av tvångscirkulationsspannan.

Genomströmningspannor är relativt vanliga utanför Sveriges gränser. Antalet genomströmningspannor i Sverige begränsar sig dock till tre, och de är belägna i Stockholm (Värtaverket, ägt av Fortum Värme), Uppsala (Uppsala KVV, ägt av Vattenfall) och Västerås (Mälarenergis KVV).

2.1.3 Panntub

En vanligt förekommande tubdimension är innerdiameter på 5 cm och ytterdiameter på 6 cm, och en höjd på eldstadens vertikala delar på 12 m är inte ovanligt.

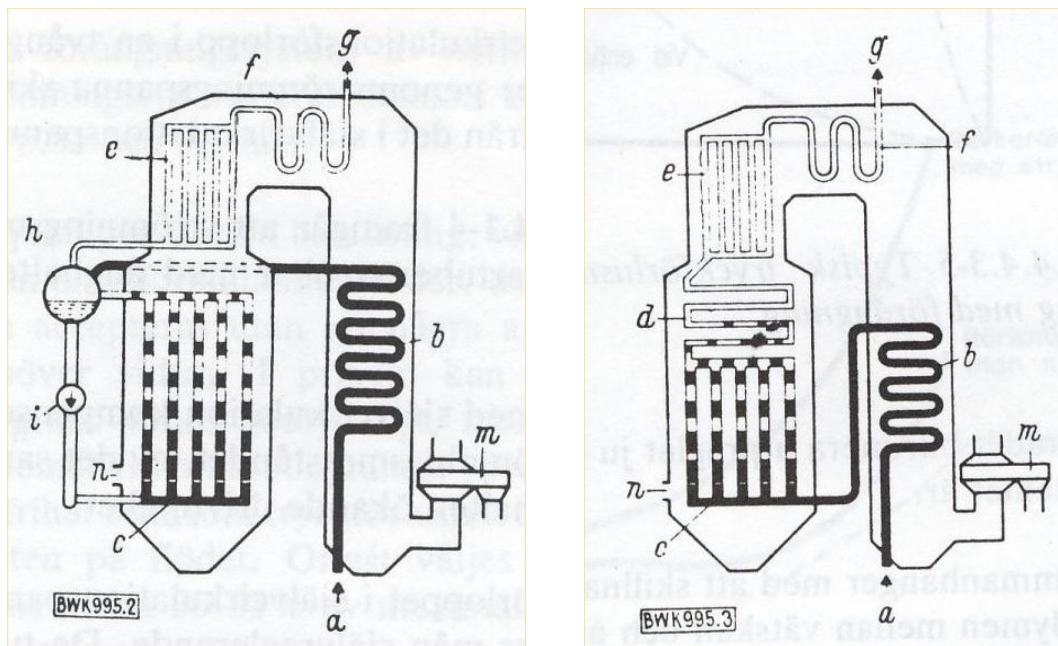
Tryckklass avgör stålmaterial, men generellt gäller att materialen i panntuben är kolstål. För ångpannor brukar höghållfasthetsstål användas medan detta är mer ovanligt för hetvattenpannor. Rostfritt skulle kunna klara trycket i panntuberna men är förhållandevis kostsamt jämfört med kolstål utan att ge något nämnvärt högre korrosionsmotstånd.

Panntubens yta utsätts på eldstadssidan för både strålningsvärme och rökgasernas värmeinnehåll. Panntubens pannvatten kyler dock panntuben varvid panntubens yta får en betydligt lägre temperatur än vad som annars skulle varit fallet. Generellt gäller dock att ju tjockare väggmaterial ju sämre värmeöverföring. Temperaturen varierar beroende på tubens läge i eldstaden men ett inte ovanligt exempel på skillnad i temperatur mellan eldstads- och vätskesida för en panntub är att temperaturen på panntubens eldstadsyta 500 - 600 °C medan kylmediets kylande effekt sänker temperaturen på panntubens insida till exempelvis 200 °C.

2.2 Pannvattnets kännetecken

2.2.1 Ångbildningen

En principiell skillnad mellan genomströmningspanna och dompanna är att allt vatten som strömmar genom panntuberna i en genomströmningspanna måste förångas. Detta främst för att undvika att vätskepartiklar ska kunna utöva en eroderande, eller, p g a i vattendropparna lösta gaser, även en korroderande effekt på turbinen. För en dompanna gäller däremot att endast en begränsad del av vattnet genom panntuberna behöver förångas.



Figur 1. Schematisk beskrivning av dompanna (1a) och genomströmningspanna (1b)

Förångningen i en panntub börjar där temperaturen på pannvattnet blivit tillräckligt hög för förångning. Därefter kommer förångningsgraden att öka - i en genomströmningspanna tills allt vatten förångats och i en dompanna till viss del av vattnet förångats. Detta innebär att förångningsgraden längs en panntub där förångning sker kommer att bero på läget längs denna sträcka. Dessutom kommer förångningsgraden att variera mer per längdenhet för en längre panntub än för en kortare panntub.

Cirkulationstalet beskriver vad som i en dompanna tas ut som ånga. För merparten av dompannorna gäller vanligen att 1/20-1/30, d v s ca 3 - 5 % av vätskeflödet tas ut som ånga [3].

2.2.2 Ångtryck

Ju högre ångdata en anläggning kan hålla, desto mer ökar anläggningens effektuttag. En koppling till det är att den temperatur vatten kokar ökar ju högre trycket blir, vilket kan ses i diagrammen i bilaga 8.1. Begränsar sig ånguttaget till 5% av totaleffekten klassificeras pannan som en hetvattenpanna och brukar då begränsa panntrycket till 12-18 bar [4]. För ångpanna brukar gränsen gå vid 40 bar. För panndriften anses det fördelaktigt att ligga på en konstant last varför man inte försöker ligga på maximal last utan istället på exempelvis 90 % av denna [4].

Svenska pannor drivs vanligen långt under kritiska punkten. Enligt uppgift från Ångpanneföreningen [5] är förbränningsanläggningars pannor enligt statistik från 2002 fördelade på tryck enligt 2-60 bar 84 st., 61-100 bar 23 st., 101-200 bar 17 st, och över 201 bar 2 st. Man kan dessutom se att nybyggda anläggningar med tiden ges förutsättningar för att hålla allt högre ångdata, för att därigenom förbättra möjligheterna till utökat effektuttag. Det är dock långt kvar till att den kritiska punkten överstigs.

2.2.3 Flödes hastighet

Val av pannvattnets flödes hastighet sätts av värmebelastningen. Detta genom att en för låg flödes hastighet riskerar ångfilmbildning på tubens insida med risk för materialförstörelse som följd, och en för hög hastighet ger för låg temperatur på pannvattnet och vid ångutnyttjande för låg ångproduktion, med effektförlust som följd.

Samtidigt gäller att ju högre flödes hastighet desto större är de erosiva krafterna som flödet orsakar på pann tubens insida. Generellt anses dock problem kopplade till erosion uppstå av någon större omfattning först då flödes hastigheten är upp till 5-10 m/s, vilket kan ge upphov till flödesinducerad korrosion[6], och ren erosion först vid 20-25 m/s. Detta ska jämföras med att en för många anläggningar vanlig flödes hastighet uppges vara 2 m/s och då med pann tuber med innerdiametrar på 5 cm [4]. Detta ger ett flöde på 4L/s. Det bör dock påpekas att flödet genom en pann tub kan inte fastställas utifrån enbart pannvattenpumpens kapacitet utan relativt avancerade beräkningar måste till för detta [4].

Flödesprofilen har också betydelse för den erosiva effekten. Den är dock svårbedömd, bl. a med anledning av att ett mediums flödesprofil i ett visst läge är delvis påverkat av hur flödesprofil för samma del varit i ett tidigare skede [7].

2.2.4 Vattenkvalité

På grund av den höga värmebelastningen på ett tubrör riskerar föroreningar att kraftigt anrikas på pann tubernas vätskesidiga yta med beläggningar och pH-avvikelser som följd. Detta är av större betydelse ju högre temperatur pann tubsvattnet och därmed pann trycket ligger på, och upp till 40 bar anges formellt att avhärdat räcker, även om uppfattning framförs att detta är otillräckligt [8], medan det för över 40 bar rekommenderas avjonat.

Konduktiviteten är ett mått på vattnets renhet och riktvärden enligt DENÅ [9] är för pann tubsvattnet enligt "konduktivitet (domtryck)" <80 (<6.4), <50 (<8.0), <30 (<10.0), <15 (<1.5) och <4 (<16) med enheterna mS/m (bar). För spädvattnet är renhetskravet än större, 0.05 mS/m. Ett annat är att mäta partikelhalten. Utifrån analysen av vattenkvalitén görs bottenblåsning följt av tillsats av spädvatten. En förekommande omfattning av bottenblåsning är en gång per dygn av volymen 1-1½ m³. Relateras detta till pannans volym, 93 m³, ges en omsättning av 1-2 % per dygn.

2.2.5 Tillsatser

Vid frånvaro av pH-reglerande ämnen skulle ett pH på 5 inte vara ovanligt. Detta är inte en gynnsam miljö mot korrosion eller tillväxt av magnetitskiktet, och därför behöver pH-reglerande ämnen tillsättas. Av många ansedd som bra pH-nivå för pannvattnet är 9.8 [8].

Fosfattillsatser kan göras av två skäl, dels för att binda upp hårdhetsbildare och dels för att ge pannvattnet en hög buffertkapacitet för skydd mot oönskat inläckage med extrema pH. I Sverige använder de flesta av kraftverkspannorna och nästan alla industripannor fosfatsdosering. Bland många pannor i utlandet är bränslet kol eller olja, och värmebelastning är därför ofta mycket högre än pannor som eldas med biobränslen, vilket är det vanligaste bränslet i Sverige. För pannor med hög värmebelastning har s k hideout rapporterats för pannor där fosfat doserats [2], så ock i viss mån för koleldade anläggningar i Sverige [1], och det är troligen en orsak till att det ses negativt på fosfatdosering i många länder exempelvis

Danmark, Tyskland och USA. I dessa länder är istället lutdosering vanligt, vilket även görs i ett fåtal riktigt stora anläggningar i Sverige. Nackdelen med lutdosering är dock att buffertkapaciteten är låg. För panntuber med över 160 bar brukar dock ingen fosfatdosering göras i Sverige, och troligen inte heller någon lutdosering. Exempelvis är gränsen i England för panntubstrycket vad avser fosfatgränsen också 160 bar [8]. Huvudanledningen till att undvika fosfat och lut som tillsatsmedel i anläggningar med hög värmebelastning är att den höga värmebelastningen riskerar ångfilmsbildning på vätskesidan, och därigenom en kraftigt förhöjd koncentration av i pannvattnet ingående ämnen. Exempelvis så skulle detta för lutdoserade pannor riskera lutförspädning [2].

Tillsatser av flyktiga ämnen såsom AVT (All Volatile Treatment) görs för samtliga kraftverks-pannor. Detta för att undvika att det kondensat som faller ut på turbinerna ska få för lågt pH, något som annars skulle blivit fallet på grund av koldioxidens surgörande effekt. De flyktiga pH-påverkande ämnena utgörs vanligen av aminer av vilka det finns många sorter. För kraftverkspannor är ammoniak vanligast. För cellulosapannor används till viss del ångan i industriprocessen och man vill då inte ha för mycket ammoniak i ångan. Vad som beskriver fördelningen mellan vatten och ångfas av ett flyktigt tillsatsmedel är fördelningskoefficienten, och för exempelvis etanolamin är fördelningskoefficienten sådan att etanolamin har större andel i vätskefasen. Därför är etanolamin ett mer vanligt ämne i pannvattnet för cellulosapannor. Andra flyktiga aminer som nyligen upptäckts vara intressanta är ammoniumbensoat (mavakonf).

Konditioneringsmedel och dispergeringsmedel uppges dock vara ovanliga som tillsatser [1]. Även blandningar av fosfater och dispergeringsmedel förekommer men är ovanliga [10].

3 Undersökningsmetoder

Huvudsakligen tre principiellt olika metoder för att studera vätskesidig panntubskorrosion kan konstateras; med autoklav, med rörströmningskrets och fullskaleförok.

För en autoklavbaserad undersökning är materialet exponerat i ett tryckkärl, med det vatten som ska motsvara pannvattnet antingen i kontakt med tryckkärlet eller i ett separat kärl. Dessutom kan proverna antingen vara helt nedsänkta i vattenlösningen eller endast ha en del av provet nedsänkt i vattnet, därigenom möjliggörande att provet samtidigt exponeras för ångfas. För varianten med vattenlösningen i kontakt med tryckkärlets innerväggar kan också ett flöde av exponeringslösningen erhållas genom att pumpa lösningen genom en extern krets. Det som främst utmärker den autoklavbaserade undersökningen är att materialet som ska undersökas är exponerat i en miljö som är densamma för materialets båda sidor. Det är inte heller möjligt att över materialytan efterlikna det flöde som föreligger på en panntubs vätskesida.

För en rörströmningskrets är provmaterialet i form av en tub i rörströmningskretsen, där uppvärmningen sker från utsidan, och förutsättningar finns för att efterlikna det flöde som föreligger på panntubens vätskesida. I laboratoriemiljö kan uppvärmningen vara elbaserad eller ske med någon typ av brännare. Möjlighet finns också att bygga rörströmningskretsen i en förbränningsanläggning och låta en del av rörströmningskretsen med provtuben exponeras i eldstaden. Slutligen finns för rörströmningskretsalternativet också möjligheten att konstruera en testanläggning där utformningen motsvarar en förbränningsanläggning i miniatyr.

För ett fullskaleförsök används den befintliga anläggningens panntuber. Här kan en tublängd bytas ut mot det material som ska studeras. För en anläggning med flera pannor finns också möjligheten att hålla fast lasten i en panna under det att exponeringsperioden pågår. Att variera panntubsvattnets sammansättning är också möjligt även om det rimligen måste göras inom vad som kan bedömas som säkra gränser.

I det följande ges en beskrivning av förutsättningen för de olika metoderna och hur pass vanligt förekommande metoderna är.

3.1 Autoklavbaserad

3.1.1 Förutsättningar för att efterlikna förhållanden i panntub

Genom att använda sig av en autoklav finns det en förutsättning för att hålla det tryck och den temperatur som förekommer i panntuber, även för de anläggningar där mer extrema förhållanden råder. Här placeras proverna i en homogen miljö av antingen vätska eller gas. Exempelvis har NACE utformat en standard för autoklavbaserad utprovning av metalliska material i högtemperaturmiljöer, upp till 360 °C [11].

De faktorer som påverkar de vattensidiga processer som panntuberna i en anläggning utsätts för, är dock inte begränsade till vätskesidans temperatur och tryck. Andra faktorer som påverkar de vattensidiga processerna är svåra eller ogörliga att erhålla vid autoklavbaserade försök, vilket begränsar möjligheterna att efterlikna verkliga förhållanden. Av dessa faktorer kan främst nämnas följande:

- För ångpannor förångas vattnet på panntubernas insida. Detta för med sig en koncentrationsökning nära tubytan, vilket riskerar att utsätta tuben för mer extrema förhållanden exempelvis i fråga om pH eller av i övrigt försumbara halter av ämnen, exempelvis klorider. Koncentrationen vid ytorna för proverna i en autoklav är dock desamma som för autoklavens bulklösning, varför provmaterialet utsätts för mindre aggressiv miljö än som skulle ha varit trolig i en panntub med motsvarande bulkkoncentration.
- Förångningen i en panntubinnebär också att kylmediets kylande effekt försämras, och tubmaterialets innetemperatur blir förhöjd. Om förångningen är kraftig och tillflödet av kylande vätska inte tillräcklig kan pannmaterialet utsättas för så kraftiga temperaturhöjningar att fasdeformationer av materialet kan ske, med påföljd att andra vätskesidiga reaktioner gynnas än vad som skulle ha varit fallet vid utebliven förångning. Även om temperaturökningen inte är så pass kraftig att fasdeformationer sker av materialet, kan enbart den förhöjda temperaturen på tubmaterialets insida också göra att andra vätskesidiga reaktioner gynnas, eller åtminstone att reaktionshastigheten för de redan förekommande reaktionerna ändras. På provytorna i en autoklav sker ingen förångning, varför inte heller följd effekterna av en förhöjd temperaturyta, som för materialet i panntuber, uppkommer.
- För en genomströmningspanna är det längs ett visst läge i tuben ett övergångsområde mellan mellan vätska och gas [7]. I en autoklav med vätskesystemet i jämvikt och ett tryck under kritiska punkten förekommer både vätska och gas. Är mängden vätska rätt avvägd i förhållande till autoklavens inre volym kan gränsen mellan vätska och gas ges vid en förutbestämd nivå i autoklaven. Om proven som ska exponeras i autoklaven görs tillräckligt höga och ställs vertikalt i autoklaven finns förutsättningar för att i en autoklav få en gräns mellan vätska och gas även på proven. Denna gräns blir dock i en autoklav skarp i förhållande till den som uppkommer i en panntub. Dessutom gäller för en dompanna att endast en del av pannvattnet förångas vilket inte över huvud taget ger upphov till någon skarp gräns mellan ånga och vatten.
- Panntubernas utsida utsätts för en temperatur på ca 500 - 600 °C medan kylmediets kylande effekt sänker temperaturen på panntubens insida till exempelvis 200 °C. En vanlig godstjocklek är ½ cm vilket då innebär en temperaturgradient på ca 700 °C/cm. Denna temperaturgradient är av en sådan storleksordning att man inte kan försumma dess bidragande orsak till spänningar i materialet, något som i sin tur kan påverka de vattensidiga panntubsprocesserna. Proverna i en autoklav utsätts däremot för samma förhållanden på båda sidor av provet, vilket gör att temperaturgradientens bidrag till spänningen i materialet uteblir.

3.1.2 Befintlig utrustning

Utrustning för lån eller hyra

Kontakt har tagits med forskningsinstitut, universitet, högskolor och övriga för att höra efter om tillgänglighet på högtrycksautoklaver och om möjligheten att för externa utnyttja dessa autoklaver. Uppgifter från de kontakter som tagits presenteras nedan, se tabell 1. För Swerea KIMAB gäller att de har tre stycken autoklaver, och för vilka prestanda och övriga uppgifter presenteras i en separat tabell.

Tabell 1. Enheter som kontaktats rörande tillgång till högtrycksautoklav.

Företag	Kontaktperson	Autoklaver (3)	Spec
Bodycote	Lars Åberg	-	
Carbonia Composites	Lennart Persson	-	
Composite Design	Fredrik Wettermark	1 st: 120-160°C (8bar)	
Höganäs AB	Alexander Heinrich	-	
Kemira	Hans-Gunnar Viberg	1 st: 125°	Ej utlåning
Kockums	Kenneth Håkansson	Sterilisering	
Nordic Aircraft	Petter Bladh	1 st: 340° (25bar)	Uthyrning
Outokumpu	Anna Iversen	Max 250° (vätska)	Gem. projekt
SAAB Aerostructures	Susanne Dalskog	400° (15bar)	Hög belastning
Sandvik	Daniel Leander	300 (150bar), "flera"	Klarar klorid Kan anlitas
SICOMP (4)	Lars Liljenfeldt	-	
SIK (2)	Lisbet Mers	2 st: 124°C, 134°C	
SP (1)	Måns Ackerholm	Ej högtrycksautoklav	
SSAB Oxelösund	Petra Lanesjö	1: 160° (4bar)	Ej utlåning
Studsvik	Anders Molander (?)	Kritiska punkten	Hyra; 15-40 kkr/mån (enstaka närmare 40 kkr/månad)
Westinghouse El. S (5)	Anders Jackson	Standardförsök kemi	

1) Sveriges Tekniska Forskningsinstitut 2) Institutet för Livsmedel och Bioteknik AB 3) Temperaturgränser
4) Swedish Institute of Composites 5) Westinghouse Electrical Sweden AB

KIMAB har tillgång till tre autoklaver, specificerade enligt tabell 2. Ingen av dessa når då upp till de mer extrema tryck och temperaturer som det eventuellt kan bli fråga om för test av korrosion i miljöer motsvarande panntubers vätskesida.

Tabell 2. Autoklaver på Swerea KIMAB

Nr	T (°C)	p (bar)	Cirkulation	Volym (dm ³)	Material
1	100 (ev. 200)	100	Nej	3	316
2	250	40	Ja	4	Duplex
3	250	40	Ja	8	Hastelloy

Utrustning för köp

Här har endast ett företag hittats som säljer autoklaver anpassade för extrema tryck och temperaturer. Det är Roland Carlberg Processystem som saluför en autoklav som klarar tryck upp till 350 bar, temperaturer upp till 350°C, kan hålla ett flöde på 450 ml, har en volym på 2 liter 2L, och är gjord av 316L [12]. Företag som kunde förmodas ha högtrycksautoklaver men som inte hade det var Christian Berner AB, Allmedical And Electronic HB, Lab 360° AB och Ninolab AB.

3.1.3 Autoklavkonstruktion

En för laboriemiljö möjlig konstruktion av autoklav för att ge förhållanden som motsvaras av förhållanden i en panntub ges i en av NACE utformad standard för autoklavbaserad utprovning av metalliska material i högtemperaturmiljöer. Den variant som här beskrivs är ett cirkulationssystem vilket gör att det till väsentligaste delar liknar den under 3.2 beskrivna loop, dock utan att ha de fördelar som loop har i fråga om att efterlikna förhållandet i en panntub. Med hänsyn till detta och med hänsyn till det betydligt mer kostsamma i att konstruera ett cirkulationssystem än ett cirkulationsfritt system väljes här att endast beskriva utformningen av ett cirkulationsfritt system. Visserligen innehar ett cirkulationssystem

jämfört med ett cirkulationsfritt system den fördelen att någon speciell utrustning för omrörning i autoklaven inte behöver utformas, men detta får ändå ses som marginellt jämfört med kostnader och komplexiteten för ett cirkulationssystem.

Konstruktionskomponenter

Väggmaterial

För att minska risken för att autokalven i sig korroderar, och därmed dels minskar dess livslängd, och dels genom korrosionsprodukterna skapar en miljö för proverna som avviker från den fastställda, är rostfritt att föredra. Rostfritt tappar dock i hållfasthet vid högre temperaturer, medan däremot kolstål inte gör detta, åtminstone inte upp till de temperaturer som det här maximalt är fråga om, alltså kring kritiska punkten (378 °C). En variant är att ha kolstål utvändigt och ett rostfritt eller annat material exempelvis emalj eller någon form av keram på insidan. En annan variant är att ha provmaterialet i en behållare av ett i vissa fall mer korrosionshärdigt material än kolstål om än mer tryckkänsligt, exempelvis glas. Dock finns då inte här möjligheten att låta vätskemediet flöda förbi provet med hjälp av en extern krets.

Uppvärmning

Uppvärmning av autoklaven sker lämpligen med ett utanpå autoklaven liggande spiralblock. Beroende på att det inte förekommer standardiserade utseenden på autoklaver finns inte heller till autoklaven passande spiralblock tillgängliga utan måste konstrueras. Vid de höga temperaturer som det här är fråga om är det vid utformningen av spiralblocket att rekommendera någon form av keram för spiralblockets utsida, för att undvika värme- och därmed kostnadsförluster.

Omrörning

För ett cirkulationsfritt system krävs omrörning för att undvika stagnerade områden med miljö avvikande från det förutsatta d v s bulkmiljön. En metod att åstadkomma detta är genom att ha en magnetloppa i autoklaven samt en magnetomrörare därunder. Detta förutsätter dock att autoklavens väggmaterial är gjort av icke-magnetiskt material vilket utesluter bl. a användning av kolstål och ferritiskt material. En annan metod är att använda sig av mekanisk omrörning genom att ansluta en omrörare genom autoklavens ovansida. Detta kräver en drivenhet för omröraren som klarar miljön i autoklavens ångfas. Dessutom krävs en något mer komplicerad utformning av autoklavens överdel med avseende på tätningskravet för den elektriska kopplingen till omrörarens drivrutin.

Övrigt

Vad gäller vattenanalys, rening, säkerhet, besiktning med mera finns uppgifter under kap 3.2.2, Loopkonstruktion.

3.1.4 Kostnader

Autoklaverna 2 och 3 har konstruerats av Swerea KIMAB för ca 250 kkr. Denna saknar dock en del av de mer sofistikerade delarna som förekommer i den autoklav som är Roland Carlberg Processystem säljer, och klarar inte heller samma höga tryck och temperaturer. Utifrån detta bedöms det vara mer prisvärt att köpa den färdiga utrustningen än att konstruera autoklaven själv.

3.2 Loop

3.2.1 Vetenskapliga förutsättningar för att efterlikna förhållanden i panntub

Med en loop finns förutsättningarna att efterlikna den genomströmning som sker i en anläggnings panntub, och också att efterlikna den uppvärmning av pannvattnet som sker. Därmed finns också förutsättningarna att efterlikna de specifika påfrestningar som panntubernas insida utsätts för i fråga om temperaturgradient med bidragande orsak till spänningar i materialet, koncentrationsökning nära tubytans vätskesida, försämring av kylmediets kylande effekt samt erosion (se kapitel 3.1.1).

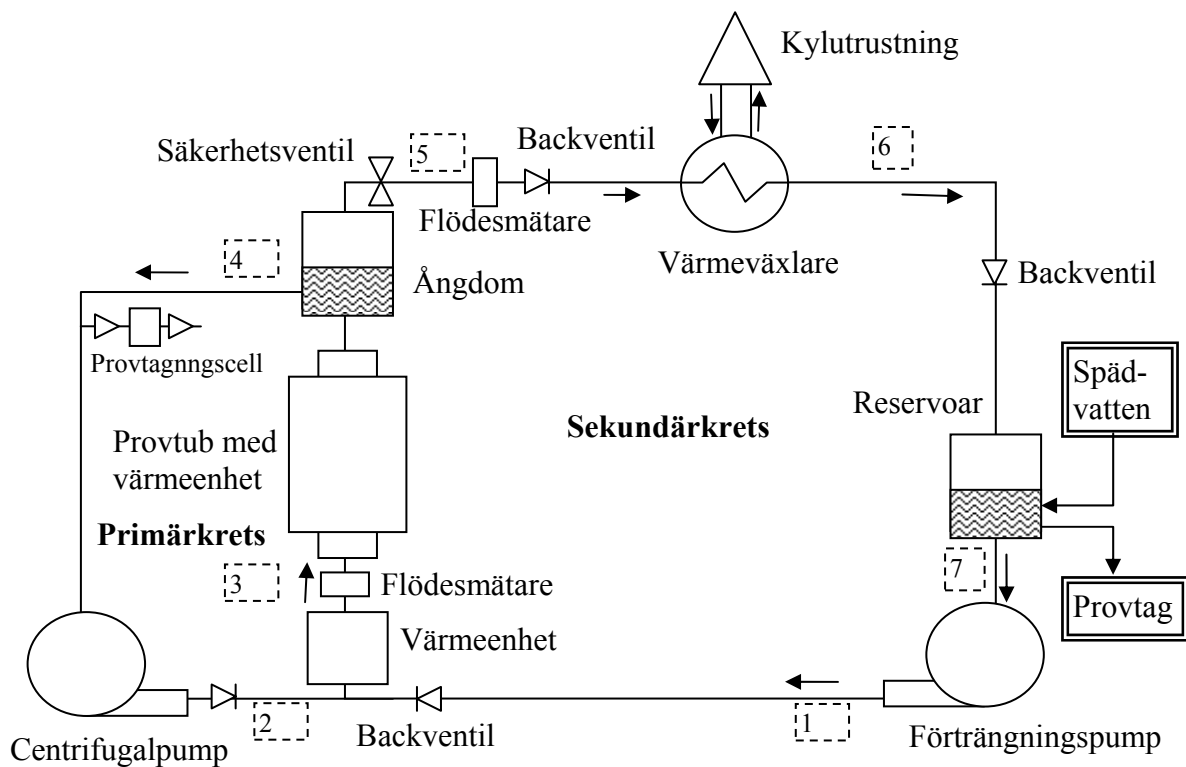
För att efterlikna förhållandena för en panntub i en anläggning fullt ut måste uppvärmningen ske med en rökgasmiljö som liknar den i en förbränningsanläggning. Att få till stånd detta i en laboriemiljö är dock inte möjligt, utan testloopen måste i sådant fall anslutas till förbränningsugnen i en anläggning. En för laboriemiljö möjlig uppvärmningsmetod av panntuben är med någon typ av elektriskt uppvärmd värmeenhet. Exempelvis finns en standard utformad av NACE för loopbaserad utprovning av metalliska material i högtemperaturmiljö, och där uppvärmning av provtuben sker med värmeelement [13]. Denna testloop är dock utformad för att efterlikna förhållandena i en genomströmningsspanna vilken i Sverige inte är en vanligt förekommande variant. Någon standard för en testloop liknande den i Sverige vanligt förekommande dompannan har dock inte gått att finna, ej heller någon i Sverige existerande testloop som efterliknar förhållandena i en dompanna. Eldrörspannor är också en variant av förbränningsanläggning men är av mindre betydelse p g a att de numer är alltmer ovanliga och att de inte har förutsättningen att producera energi av samma omfattning som en vattenrörsspanna. I det följande beskrivs förutsättningarna för att konstruera en testloop, men med anledning av dompannans större betydelse har denna beskrivning begränsat sig till en testloop som efterliknar förhållandena i en dompanna.

3.2.2 Loopkonstruktion

Utifrån figur 2 diskuteras i det följande först den generella utformningen av en loop ämnad för test av vätskesidig korrosion på panntuber, och sedan mer utförligt aspekterna på loopens olika delar.

Allmänt

Utifrån figur 2a kan ses två kretsar, en primär- och en sekundärkrets, där bl. a en provtub med en värmemantel ingår. Flödet i systemet drivs runt av en cirkulationspump medan trycksättningen istället eventuellt görs med en förträngningspump. För att kondensera ångan utnyttjas en kylare. En förvärmare används för att få upp vattnets temperatur nära det för trycket beroende kokpunkten, vilket avlastar effektkravet på provtubernas värmemantlar. Övriga delar är reservoar, flödesmätare, provtagningsventil, koppling för från- och tillflöde med reningssystemet, och koppling för tillflöde från spädvattenssystemet.



Figur 2: Schematisk figur av rörströmningskrets

Tabell 3. Parametrar av vattenångcykeln i olika delar av i figur 2 utformad rörströmningskrets.

Nr	Medium	Tryck (bar)	Temp (°C)	Flöde (L/s)
1	Vatten	200	ca 70	0.2
2	Vatten	200	ca 300	4
3	Vatten	200	ca 350	4
4	Vatten	200	360	4
5	Ånga	200	360	200 g/s
6	Vatten	1	70	0.2
7	Vatten	1	ca 60	0.2

Provtub

Förångningsbildningen i en vertikal panntub varierar beroende på höjdläge i panntuben, och dessutom varierar förångningsgraden mer per längdenhet för en längre panntub än för en kortare. En förångning som sker i en provtub längs en sträcka av avvikande längd jämfört med den sträcka där förångningen sker i panntuben innebär därför att ångbildningen inte kommer att efterlikna ångbildningen i panntuben.

Det ena sättet att efterlikna ångbildningen i en panntub är därför att låta ångbildningen i provtuben göras så att ångbildningen i provtuben sker längs en lika lång sträcka som ångbildning sker i panntuben. En vanligt förekommande längd av den sträcka där förångningsprocessen i panntuben sker är ca 12 m. Att låta ångbildningen i provtuben ske längs en lika lång sträcka som ångbildning sker i panntuben innebär alltså att provtuben minst måste

vara 12 m. Det inses lätt att detta skulle innebära stora problem för nyttjande av en loopen, både vad avser utrymmesmässiga och konstruktionsmässiga hänsyn.

Det andra sättet att efterlikna ångbildningen i en panntub är att välja ut en del av panntuben för vilken ångbildningen ska efterliknas, och skapa förutsättningar för att ångbildningen i provtuben efterliknar just denna utvalda del av panntuben. Ligger den utvalda delen en bit från det läge där förångningsprocessen startar kräver det att förångningen i provtuben föregås av en förångning. Denna förångning ska då upp till en nivå som motsvarar förångningen i det läge i panntuben där den utvalda delens undre kant ligger. Den för provtuben föregående förångningen behöver inte motsvara förhållandet i panntuben utan kan göras över en kortare tubsträcka än vad som motsvaras av i panntuben. Även här kan det dock bli fråga om en avvikelse relativt verkliga förhållanden. Detta beroende på att en del av ett mediums flödesprofil i ett visst läge delvis är påverkat av hur flödesprofil för samma del varit i ett tidigare skede. Ytterligare en svårighet är att bedöma ångbildningsprocessen i den för panntuben valda delen. Visserligen är det rimligt att anta en linjär ökning av intensiteten i ångbildningen längs tubröret, men huruvida det verkligen är en linjär ökning av intensiteten är mer osäkert samtidigt som det kan vara svårt att i en panntub avgöra var förångningsprocessen startar.

Temperaturen på provtuben i samband med uppvärmningen med värmeenheten får inte överstiga vad som är lämpligt för provtubens material, vilket för kolstål, som är det normala materialet i panntuber, är 425 °C [14]. För att säkerställa är det nödvändigt att åtminstone i provtubens övre ände, där det är varmast, ansluta temperaturgivare.

I figuren har ritats endast en provtubssekvens - med anslutna värmemantlar - men kan utan att ändra något i den principiella utformningen av loopkretsen utökas till flera flödessekvenser. Förutom att fler parallella flödessekvenser med provtuber ger möjlighet till tid- och resursbesparing innebär det också att man kan erhålla en tidsupplösning av korrosionsprocessen. Bytes exempelvis tuben för ena sekvensen efter en exponeringstid av 1, 2, 3 och 6 månader (alltså totalt 12 månader för sekvensen) ger det tillsammans med 12 månaders exponeringstid för provtuben i den andra sekvensen en bild av hur långt korrosionsprocessen nått efter 1, 2, 3, 6 och 12 månader.

Värmeenhet

Möjligheten att värma med någon typ av brännare föreligger men detta riskerar att ge en okontrollerad uppvärmning och framförallt lokala avvikelser av uppvärmningen på panntubens yta. Detta är inte lika utpräglat i en förbränningsanläggning med anledning av det relativt stora avståndet mellan brännare och panntub, vilket skapar en turbulens och därmed en jämnare temperaturfördelning vid panntubernas yta. Det finns också möjlighet att ha rörströmningskretsen i anslutning till en anläggnings panna, och låta delen med provtuben vara i eldstaden. Detta möjliggör en jämnare värme men den är samtidigt svårkontrollerad med hänsyn till rörströmningskretsens behov. Dessutom förutsätter det att anläggningens egen personal tar aktiv del i hanteringen av rörströmningskretsen, för vilket det samtidigt kanske inte finns varken kompetens eller resurser.

I stället har i den i figur 2 föreslagna konstruktionen någon form av elektrisk uppvärmning av panntuben angetts. Det effektkrav som ställs på en elektriskt driven värmeenhet blir dock mycket höga. Värden på vattnets linjära flödes hastighet och tubens innerdiameter som kan betraktas som normalt för en förbränningsanläggning är 2 m/s respektive 5 cm. För en

dompanna förångas inte allt vatten som passerar genom panntuberna. Eftersom de flesta svenska förbränningsanläggningar är konstruerade som dompannor räcker det med att ångbildningen i provtuben är av sådan omfattning att den efterliknar ångbildningen i en dompannas panntuber. Ett förekommande ånguttag är 3 %. För att förånga vattnet med ett värmeelement för det mest extrema trycket för de i Sverige förekommande pannorna, 200 bar, skulle det med angivna flödes hastighet och innerdiameter krävas ett effektuttag på över 360 kW (se bilaga 8.2).

För att efterlikna förångningsprocessen i de panntuber i en anläggning som står vertikalt bör även provtuben kunna stå vertikalt vilket begränsar provtubens längd. För att inte få förångningsprocessen på alltför kort tubsträcka - vilket skulle ge avvikelser från verkliga förhållanden - och för att inte kräva för högt effektuttag per ländenhet för värmeelementet har uppvärmningen enligt figur 2 fördelats. Fördelningen av uppvärmningen har gjorts på en första värmeenhet vilken för upp temperaturen till strax under kokpunkten och därefter på en andra värmeenhet vilken omsluter själva provtuben och där förångningen sker. För den första värmeenheten kan tuberna läggas horisontellt medan däremot, enligt vad som tidigare sagts, uppvärmningen bör göras med provtuben i vertikalt läge. För en två meters provtub blir effektkravet per längdenhet för värmeelementet därigenom lägre, ca 65 kW Ytterligare ett sätt att sänka effektkravet är att minska flödes hastigheten och provtubens innerdiameter. Sätts istället flödes hastigheten till 0.5 m/s och provtubens innerdiameter till 2.5 cm erhålls en än mer rimlig nivå på effektkravet.

En typ av utrustning för att elektriskt skapa uppvärmning är att använda sig av halva cylindrar av någon typ av keramiskt material med inneslutna kantaltrådar. Cylindrarna läggs då runt provtuben varvid uppvärmning kan ske. Den luftspalt som bildas innebär dock en kraftfull isolering och uppvärmning med hjälp av kantaltrådar kan troligen inte avge tillräcklig effekt per längdenhet för att kunna förånga vattnet. En annan variant är att omsluta provtuben med en cylinder över vilken läggs en likströmsspänning med en tillräckligt hög strömstyrka. Denna metod utnyttjas i samband med ett annat system där huvuduppgiften är att förånga vatten i en tubkrets, se kapitel 3.2.4. Att lägga strömmen direkt på provtuben skulle dock ge en drastisk avvikelse relativt en panntub. Läggas den strömuppvärmda cylindern runt provtuben skulle även här en luftspalt uppkomma, men luftspalten skulle troligen kunna göras tunnare samtidigt som förutsättningarna för att här uppnå en tillräckligt hög effekt på för den strömuppvärmda cylindern för att övervinna luftspaltens isolering är betydligt större. En tredje variant är att använda värmemanschetter. Dessa läggs i direkt anslutning mot tubytan varför värmeöverföringen skulle gå medelst kontaktvärme istället för strålningsvärme. Till exempel skulle man på ett tvåtumsrör kunna sätta 15 värmemanschetter med en effekt vardera på 1200W, vilket då skulle räcka för att få önskvärd effekt

Ytterligare en anledning för att minska flödet genom provtuben är kostanden för elförbrukningen för att förånga vattnet. För alternativet med 2 m/s flödes hastighet och 5 cm innerdiameter skulle kostnaden per månad bli 260 kkr. Med istället en flödes hastighet till 0.5 m/s och provtubens innerdiameter till 2.5 skulle kostanden för förångning av vattnet gå ner till 17 kkr. Förutom en hög elkostnad innebär det höga effektkravet att det ställs krav på eldistributionen. Normalt finns tillgång till trefasuppkoppling på 400 V och säkring för 63A vilket skulle kunna ge en effekt på 44 kW (se bilaga 8.3). Detta förutsätter dock att inga andra utnyttjar nätet vilket skulle dra ner förutsättningarna för det maximala effektuttaget. Ska högre effektuttag göras kan det bli tvunget att ansluta till någon närliggande strömfördelningscentral, transformatorstation eller högspänningsnät.

En minskning i flödes hastigheten gör dock att de erosiva effekterna på panntubens insida minskar i förhållande till det som är normalt för en panntubs vätskesida i en förbränningsanläggning. En minskning från 2 m/s till 0.5 m/s bör dock inte ha någon större effekt. En minskning av tubdiametern skulle också kunna innebära en förändring av förutsättningen för ångningsbildningen på tubens insida. En innerdiameter på 3 mm anses av vissa ge normala krav [15]. Troligen innebär dock inte heller en minskning av innerdiametern från 5 cm till 2.5 cm en märkbar avvikelse från normala förhållanden. Ytterligare ett förhållande i en förbränningsanläggnings panntub som inte skulle kunna efterliknas för angivna förångningsförfarande är att förångningen i en panntub sker företrädesvis mot den sida som vetter mot eldstaden. Att utforma uppvärmningen så att den avviker mellan eldstadssida och läsida skulle kunna gå med keramtuber med kantaltråd, men skulle då enligt vad som tidigare sagts inte kunna ge ett tillräckligt värme flöde för att förångning ska kunna ske. Det är dock svårt att se att effekten av en likvärdig uppvärmning runt provtuben skulle ge en avvikelse i förutsättningarna för vätskesidig panntubskorrosion jämfört med den förutsättning som erhålls för en panntub genom en skillnad i uppvärmning runt tuben.

Ångdom

Ett alternativ till att ha en testloop med en ångdom är att antingen låta allt vatten förångas, eller att låta en blandning av vätska och ånga passera genom den värmeväxlare som har till funktion att kondensera ångan. I förstnämnda fallet skulle det dels krävas ett betydligt högre effektkrav för värmeenheten med anledning av att vatten förångas - både med påföljande svårighet att hitta tillräckligt kraftfull värmeenhet och kraftigt förhöjd elkostnad. Dels skulle det också medföra att en kortare panntubslängd ger den förångning som sker hos panntuberna i en dompanna - med påföljande avvikelse från verkliga förhållanden. I det andra fallet skulle alltså vätskedroppar följa med ångan med hög hastighet. Detta skulle innebära en mycket kraftigt eroderande effekt på mediet vilket troligen på kort tid skulle skada värmeväxlaren.

Ångdomen kan utformas som pluggade ändar och kan anses vara lättkonstruerad.

Pumpar

För pumpar gäller att antingen driva runt ett medium vid befintligt tryck, s k systemtryck, eller att bygga upp ett tryck, s k driftstryck. I den i figur 2 beskrivna loopen gäller systemtryck för primärkretsen medan driftstryck gäller för sekundärkretsen. Två typer av pumpar är aktuella för att användas i testloopen med dess höga tryck. Den ena typen kallas för förträngningspump, eller med andra namn för kolvmembranpump eller displacementpump. Förträngningspumpen kan vara uppbyggd efter olika principer där främst kugghjul, skruvar eller kolv förekommer. För vatten är det vanligen kolvar, s k kolvpumpar, medan de övriga främst är för olja p g a att det för dessa pumpar är önskvärt med ett medium med smörjande egenskaper. Den andra typen kallas för centrifugalpump och är uppbyggd av vingar. För att bygga upp höga tryck anses vanligen kolvpumpar vara mest lämpad och ger dessutom ett jämnare flöde än centrifugalpumpen, medan denna anses vara bättre lämpad för att driva runt ett medium vid befintligt tryck, även om centrifugalpumpar i serie, s k flerstegspumpar, också uppges kunna användas för att bygga upp ett högt tryck.

Pumpar för trycken 0-100 bar är vanligt förekommande medan de för högre tryck är ovanliga samtidigt som de blir betydligt dyrare. Visserligen finns pumpar i förbränningsanläggningars matarvattensystem och då främst cirkulationspumpar men de är med anledning av det stora antalet panntuber anpassade till betydligt högre flöden än vad det här är fråga om. Pumpar för

olja vid högre tryck och mer modesta flöden är inte så ovanliga men dessa pumpar är då anpassade till oljans smörjande förmåga. Att hitta centrifugalpumpar anpassade för höga tryck har också uppgetts ska vara svårt p g a att det är svårt att få till tätningen för dessa. Magnetpumpar är konstruerade enligt en magnet som snurrar runt pumphuset, varvid ingen axeltätning behövs och därigenom ingen risk för läckage. Tryckgränsen för magnetpumpar är dock låga varför dessa inte kan komma ifråga för de mer extrema trycken.

För de höga tryck och temperaturer som här råder har det varit svårt att hitta kommersiellt tillgängliga produkter för förträngningspumpen och för centrifugalpumpen. För trycket 200 bar och 380 °C har dock en produkt av respektive pump hittats, se bilaga 8.4.

Värmeväxlare

Värmeväxlarens huvudfunktion är att kondensera den i provtuben bildade ångan. Skulle värmeväxlaren kylas med ett kontinuerligt flöde av vatten från tappvattensystemet skulle det ge ett uppvärmt tappvatten. Detta uppvärmda tappvatten skulle genom en värmeväxlare placerad strax efter fördelningspumpen i flödesriktningen kunna användas till att värma upp det från den första värmeväxlaren erhållna kondensatet. Det erhållna tappvattnet skulle dock troligen endast erhålla en temperatur av 80-90 °C, vilket inte skulle ge någon större värmeöverförande effekt [16]. Detta, tillsammans med de höga kostnaderna för värmeväxlare, gör att det inte är någon ekonomisk vinning i att utnyttja det uppvärmt kylvattnet.

Att använda ett kontinuerligt flöde av vatten från tappvattensystemet för att kyla värmeväxlaren innebär dessutom problem i sig. En bedömning av effektkravet på värmeväxlaren är 500 kW vilket skulle medföra en förbrukning på 7-8 m³/h av tappvatten med en temperatur på 12 °C [16]. Med en kostnad för tappvattnet på 5.5 kr/m³ [17], skulle månadskostnaden för kylning av värmeväxlaren gå på mer än 27 000 kr per månad. Att tillhandahålla ett flöde på 7-8 m³/h uppges inte vara något problem, men däremot får inte avloppssystemet ta emot vatten av större mängder med högre temperatur än 50 °C, p g a att rören inte är gjorda för högre temperaturer. Möjligen skulle det uppvärmda kylvattnet kunna kylas igen exempelvis via en värmeväxlare kopplad till ett fjärrvärmenät, men detta skulle innebära en dryg extrakostnad i form av inköp av värmeväxlaren utan att för den skull vara säker på att kunna få någon ersättning för den till fjärrvärmenätet överförda värmen.

En annan möjlighet skulle, som figur 2 anger, vara att kyla värmeväxlaren via en sluten vattenkrets kopplad till någon form av kylutrustning. Att kyla slingan mellan värmeväxlaren och kylutrustningen med vatten är effektivare men mer komplicerat och innebär en dyrare utrustning [18]. Kan däremot flödet av kylvätska genom värmeväxlaren göras tillräckligt högt minskar uttemperaturen för kylvattnet varvid kylvattnet istället kan kylas med luft. En nackdel med luftkylning är dock att en förutsättning för att kylningen ska fungera är att uttemperaturen inte blir för hög.

Vanligen görs värmeväxlare för mellan 20-50 bar och värmeväxlare användbara för tryck på 200 bar är mycket ovanliga. Likaså gäller det kylsystem för värmeväxlare för den effekt som här krävs d v s ca 500 kW. Dock har värmeväxlare och luftkylsystem som kan matcha varandra hittats (se bilaga 8.5). Detta system innebär ett flöde på kylvätskan på 77 m³/h, en uttemperatur från värmeväxlaren på 50 °C och en intemperatur på 40 °C. Kylsystemet klarar en lufttemperatur på upp till 30°C. Problem med en lufttemperatur överstigande 30 °C borde kunna minimeras genom att undvika körningar under sommarmånaderna, och att då lufttemperaturen överstiger 30 °C dra ner på uppvärmningen av provtuberna. De förmodat

sällsynta tillfällen då detta måste göras torde endast få marginell betydelse för exponeringsförhållandet.

Reningssystem

Under driftens gång kommer vätskesidan på panntuben samt övriga rörledningar och komponenter att korrodera. Detta resulterar i korrosionsprodukter som kontinuerligt kommer att anrikas i primärkretsens vatten, och ändra förutsättningarna för provtubens korrosion. En möjlighet att komma till rätta med anrikningen av korrosionsprodukter är med ett reningssystem i form av en till huvudsystemet ansluten tubslinga. Vatten från huvudslingan kan antingen tillåtas passera genom reningssystemet endast när analys av huvudsystemets vatten påvisar besvärande halter av korrosionsprodukter eller istället låta en viss del av huvudsystemets vatten kontinuerligt passera genom reningssystemet. De eventuella tillsatsmedel som ska hålla en viss nivå kommer då också att avlägsnas i reningssystemet och man får då kompensera för detta genom kontinuerliga tillsatser till huvudsystemet. Ett annat sätt att komma till rätta med anrikningen av korrosionsprodukter är att tappa av vatten från huvudsystemet när analys av huvudsystemets vatten påvisar besvärande halter, och kompensera med högre spädvatten. Detta alternativ innebär då att ett reningssystem inte är nödvändigt. Det är detta alternativ som anges i figur 2.

Fördelen med ett reningssystem är att behovet av tillfört spädvatten och kostnaden för detta minskar kraftigt. Å andra sidan tillkommer en kostnad för jonbytare och en kontinuerlig kostnad för jonbytarens konditioneringsmedel. Ytterligare en utgift är kostnaden för de konditioneringsmedels som måste återinföras i samband med avlägsnandet i samband med reningen i jonbytare.

Reservoar

Reservoarens funktion är att säkerställa att förträngningspumpen får tillgång till vätska och att det därigenom varken blir brist på vatten i primärkretsen eller att luft transporteras in i primärkretsen - med störningar i förångningsdelen som följd. Någon form av nivåmätare bör här vara installerad. Reservoaren kan utformas som pluggade ändar och kan anses vara lättkonstruerad.

Provtagningskammare

Som påpekats kommer under driftens gång korrosionsprodukter kontinuerligt att anrikas i primärkretsens vatten. Därför behöver provtagning av vattnet i primärkretsen göras regelbundet för att avgöra om vattnet är tillräckligt rent eller om avtappning med påföljande tillsats av spädvatten behöver göras. Huvuduppgiften för provtagningskammaren är alltså att avgöra vattnets renhet även om andra analyser eventuellt också skulle kunna vara av intresse.

Att direkt ta ut ett vattenprov vid det förhållande som råder i primärkretsen skulle innebära att vattnet förångades. Istället finns möjligheten att använda sig av en provtagningskylare. Denna möjliggör en kontinuerlig analys av pannvattnet men är tillsammans med erforderlig kringutrustning en ganska hög kostnad, ca 43 kkr. En annan möjlighet, vilken visas i figur 2, är att ha en provtagningskammare kopplad till primärkretsen via en ventil. Vid provtagningen öppnas ventilen och på grund av det övertryck som råder i primärkretsen kommer vattnet i primärkretsen att tränga in i kammaren och pressa ihop den luft som redan finns där. När provet i provtagningskammaren rumstempererats kan provet släppas ut genom en annan ventil för efterföljande analys. Denna metod möjliggör visserligen inte en kontinuerlig mätning av

primärkretsens vatten men detta är heller knappast nödvändigt med anledning av att korrosiviteten för primärkretsens vatten är så pass låg.

Korrosionsprodukterna består till stor del av oladdade partiklar. Dock kan man med goda skäl anta att laddade partiklar uppkommer tillsammans med oladdade korrosionsprodukter. Detta gör att en konduktivitetmätare skulle kunna användas för att avgöra vattnets renhetsgrad. Som komplement till detta rekommenderas också en mätare för partikelhalten.

Vad som här är viktigt att beakta är att vätska som ligger kvar i provtagningskammaren riskerar att få provtagningskammaren att korrodera och därigenom påverka mätvärdena för efterföljande prover. För att undvika detta måste provtagningskammaren efter användning rengöras med högre vatten och därefter avlägsna även detta vatten.

Ventiler

Fyra typer av ventiler förekommer i den i figur 2 uppritade kretsen; backventil, reglerventil, säkerhetsventil och provtagningsventil. Backventilerna är till antalet fyra stycken, en för ånga och tre för vatten, och har till uppgift att säkerställa att flödet av vatten respektive ånga går i önskvärd riktning. Reglerventilen är till antalet en och har till uppgift att säkerställa att trycket i primärkretsen är det önskvärda. Säkerhetsventilen är också till antalet en och har till uppgift att säkerställa att trycket inte överskrider en för utrustningen gränssatt nivå. Att observera är att det tryck vilket råder vid körningen, drifttrycket, inte får överstiga 80-90% av det tryck vid vilken säkerhetsventilen öppnas, öppningstrycket. Provtagningsventilerna är tre till antalet varav två vid provtagningsenheten d v s där trycket är extremt. Två varianter kan här tänkas, kulventil och nålventil, där förstnämnda endast har läge för öppet stängd medan nålventilen kan justeras successivt. Med tanke på de tryck som råder i primärkretsen rekommenderas dock starkt att nålventil används till provtagningsenheten.

För de höga tryck och temperaturer som här råder har det varit svårt att hitta kommersiellt tillgängliga produkter för samtliga typer av ventiler. Minst en produkt för varje ventiltyp har dock till slut hittats, se bilaga 8.5.

Analysutrustning

Flödesmätare

Fem typer av flödesmätare möjliga för mätning av flödes hastigheten för vätska och ånga har kunnat konstateras; magnetiska, svävkroppsmätare, ultraljudsmätare, vortexmätare och mätare med petautrör [19]. Vad gäller magnetiskt induktiva mätare, s k magmätare, bygger dessa på att mediet har en tillräckligt hög konduktivitet vilket utesluter mätning av ånga men också vatten vid de högre förhållanden som här råder. Vad gäller svävkroppsmätare så är trycket för högt. Ultraljudsmätaren klarar däremot vatten men anses vara relativt besvärlig att hantera [19]. Mätare med petautrör klarar ånga men inte vatten. Vortexmätarna bygger på en stav i mediet som pendlar med en intensitet som ökar med virvelbildningen hos mediet och därmed mediets hastighet. En förutsättning för en vortexmätare är att Reynolds tal överstiger 10 000 och helst 20 000 för att uppnå en tillräcklig förutsättning för turbulens. För både ångan och vattnet i detta system erhålles dessa gränser med marginal [20]. Dessutom uppges vortexmätaren vara lätthanterlig och i stort sett underhållsfri. På visst håll har dock framförts att vortexmätaren inte klarar de högsta av det tryck som det här är fråga om, 200 bar [19].

Även här har det varit svårt att hitta passande mätare p g a det extrema trycket och temperaturerna men en leverantör av vortexmätare, två av ultraljud och en av petautrör, se

bilaga 8.5. Vad gäller mätning av flödet för vatten är vortexmätaren betydligt billigare än ultraljudsmätaren, förutom att den är mer lätthanterlig.

Nivågivare

Vattenhaltsanalys

Att göra konduktivitetmätning innebär inte några utmaningar eftersom detta görs på rumstempererade prover. För fullständighetens skull och för att möjliggöra en totalkostnad för hela testloopen anges dock företag som tillhandahåller dessa, se bilaga 8.5.

Tryck

Vad avser utrustning tryckmätning har ett företag hittats, se bilaga 8.5.

Temperatur

Temperaturgivare behövs dels för att mäta temperaturen på provtuben (se ovan) och dels för att mäta temperaturen på primärkretsens vatten innan det går in i panntuben för att avgöra om vatten här uppnått en temperatur av strax under kokpunkten. Företag som tillhandahåller utrustning för temperaturmätning är inte ovanliga. Här har två företag angetts, se bilaga 8.5, men det bör inte vara några problem att hitta ytterligare ifall prisjämförelserna ska göras mer omfattande.

Reningsutrustning

Jonbytare

Det enda sättet att rena vatten till det krav som här ställs är att använda jonbytare. Två typer av jonbytare kan anges, en variant där jonbytarmassan byts ut alternativt regenereras när den blivit så pass förorenad att någon effektiv rening inte längre kan ske, och en där hela utrustningen byts ut. För testloopens del får tillskottsbehovet och därmed reningsbehovet anses ligga på mindre än 1 liter per dag, bedömd utifrån en förekommande omsättning på 1-2% (se kapitel 2.2.4) och en uppskattning av testloopens volym till ca 80 liter. Någon stationär jonbytare anpassad för nämnda flöde har inte gått att finna, vilket innebär att åtminstone initialkostnaden för den stationära jonbytaren blir onödigt hög. Detta tillsammans med att jonbytarmassan behöver bytas eller regenereras, och att priset för utbytbara jonbytare är förhållandevis modest samtidigt som funktionstiden för jonbytaren är relativt lång i förhållande till utnyttjandebehovet (se bilaga 8.5), rekommenderas utbytbara jonbytare.

Syreskrubber

För att efterlikna ett pannvattens kvalité är det viktigt att syrehalten i primärkretsens vatten och därigenom i spädvattnet hålls låg. Ett företag som tillhandahåller syreskrubbers av lämplig prestanda har hittats, se bilaga 8.5.

Övrigt

Besiktning

För att använda tryckkärl krävs att det först har fastställts om besiktning ska behöva ha utförts, och i sådant fall också att erforderlig besiktning har gjorts. Besiktningen är av olika slag och indelas i konstruktionskontroll, tillverkningskontroll och installationsbesiktning (eller med andra ord drifttagningskontroll). Konstruktionskontroll innebär att konstruktionsritningar granskas bl. a med avseende på om beräkningar till grund för den planerade

konstruktionen gjorts korrekt, tillverkningskontroll att tillverkningen av utrustningen gjorts i enlighet med konstruktionsbesiktningens slutsatser och installationsbesiktning att kontroll görs av färdiggjord utrustning men som ej tagits i bruk. Dessutom kan utrustningen behäftas med återkommande besiktningar, vilket alltid är fallet för utrustningar där högt tryck och temperatur råder. Typ av besiktning som ska göras ges av den kategori och mer specificerat den modul som utrustningen tillhör, och kategori med modul erhålles genom en kategoriseringsprocedur. I denna kategoriseringsprocedur utgår man ifrån Tryckkärlsdirektiven (SFS 1999:4) och utrustningens tryck, temperatur, media volym, material och huruvida den trycksatta delen är att betrakta som rör eller behållare. Vad gäller drifttagningskontroll ska omfattningen av denna bestämmas. Detta görs med hjälp av SFS 2005:3, och främst då utifrån tryck och volym för anläggningens tryckbärande delar.

Fastställs att utrustningen hamnar under "paragraf 8", den lägsta klassen, innebär det inga besiktningsskrav utan endast att "god teknisk praxis" krävs vid utformningen av utrustningen. Hamnar utrustningen under kategori 1 är det krav på dokumentation och för klass 2-4 krävs att besiktning görs, av stigande omfattning. Klassificeringen av drifttagningskontrollen ger antingen att inte behöver besiktigas någon gång (klass C), någon gång (klass B) eller årligen (klass A). Ska utrustningen svetsas krävs också att den som utför svetsarbetet ska ha vederbörlig licens för detta, bl. a baserat på typ av material och tryck. Besiktning utföres av någon av Svedac ackrediterade organ där Inspecta, SPI och Ångpanneföreningen utgör de största.

En preliminär besiktning av utrustningen beskriven enligt figur 2 har utförts [27]. Härvid framkom att utrustningen är en pannanläggning för produktion av ånga. Det innebär att det ska byggas enl. kategori IV modul B + F i PED AFS 1999:4 tryckbärande anordningar. Det innebär också att anläggningen måste utrustas med säkerhetsfunktioner som en panna d v s tryckvakt (elektronisk brytare), nivåvakt, nivågivare och säkerhetsventiler. Därigenom måste pannan CE-märkas, ritningsgranskas, konstruktionsgranskas, tillverkningskontroll samt installationsbesiktigas. I föreskriften 2005:3 hamnar pannan i klass A med besiktning årligen.

3.2.3 Konstruktions- och driftskostnad

Kostnaden för utrustningen till en rörströmningskrets enligt figur 2 och prisuppgifterna i bilaga 8.4 och 8.5 kan grovt uppskattas till 1.3 MKr Kr, med centrifugalpumpen, kylaren och värmeväxlaren som de dyraste. En mindre osäkerhet utgör tillägget för syreskrubben vilken det inte har erhållits pris för. Till de fasta kostnaderna kommer konstruktionskostnaderna som kan förmodas innebära en månads arbete till en kostnad av ca 140 000 kr.

För en flödes hastighet på 2 m/s, en innerdiameter av provtuben på 0.5 cm, en förångningsandel på 3 %, och en kokpunkttemperatur på 365 °C (motsvarande ett tryck på 200 bar) ges elkostnaderna för förångning av vattnet till 17 kkr/månad. Till det kommer elkostnad för pumpdrift, vilket enligt uppgifter bilaga 8.4 för båda tillsammans ligger på 3.55 kW vilket ger en månadskostnad på ca 2600 kr. Till detta kommer driftskostnaden för kylutrustningen. Denna kostnad bör inte heller vara så hög med anledning av att kylutrustningen utnyttjar den omgivande luften för kylning.

Kostnaden för jonbytare är inte heller hög. Enligt 3.2.2 passeras som mest 1 liter vatten per dag, och utifrån jonbytarens kapacitet, mer än 200 liter (se bilaga 8.4) och kostnad, 2640

kronor blir reningskostnaderna ca 13 kr/dag. Totalt blir alltså driftskostnaderna ca 20 kkr/månad under ovan angivna förhållanden.

3.2.4 Befintlig utrustning

Inom Sverige

Studsvik har en rörströmningskrets men den är baserad på genomströmningsprincipen och saknar ångdom. Ett utnyttjande av utrustningen med en innerdiameter på provtuben på 3 mm och med en flödes hastighet på 4 m/s beräknas kräva 20 kW. Att med dessa förutsättningar anlita Studsvik för att driva utrustningen uppges ska medföra en kostnad i häraden 100 kkr/månad. Möjligen kan utrustningen byggas om för att efterlikna en dompanna, men driftskostnaderna d v s anlitande av utrustningen, riskerar att bli högre än vad skulle bli om ett forskningsinstitut eller universitet utför studien.

På KTH har det kunnat konstateras att det finns en rörströmningskrets med större flöden och rördimensioner, och den ägs av Institutionen för reaktorteknologi. Rörströmningskretsen bygger upp ett tryck på 250 bar med hjälp av en förträngningspump och driver runt vattnet i ett flöde av 1 kg/s med hjälp av en cirkulationspump. I en sekvens förångas vatten så att man får en vätskeångblandning. Rörströmningskretsens uppgift är dock inte att studera vätskesidig korrosion utan istället för att studera termohydraulik. Uppvärmningen av röret där vattnet sker på så sätt att den värms direkt med likström. Med en spänning på 140 V och en ström på 6000 A erhålls vattenångblandningen. Detta innebär ett avsteg från förutsättningarna för att efterlikna förhållanden för åpanntuber med anledning av att värmen inte kommer utifrån och att det därigenom heller inte bildas någon större temperaturgradient. Sådana termohydrauliska experiment förekommer lite här o. var, men är ointressanta ur korrhänsyn [15].

Korsnäs ska åtminstone tidigare ha haft en ångproducerande enhet [10] men det har inte gått att få bekräftat. Chalmers har ingen rörströmningskrets en men istället en naturgaseldad testrigg för i första hand rökgaskemi. Inte heller Umeå Universitet har en rörströmningskrets utan här studeras bara den eldstadssidans hos förbränningsanläggningar [21]. TPS studerar också korrosion i förbränningsanläggningar men då endast i form av påslags- och korrosionssonder [22].

Utlandet

Uppgifter har framkommit vilka angett att det på Dresden University of Technology ska finnas en rörströmningskrets som utnyttjas för att studera vätskesidig panntubskorrosion. Det framkom dock vid kontakt med institutionen att det inte längre finns någon rörströmningskrets och att det var ca 10 år sedan den sist utnyttjades [23].

Övriga universitet för vilka det framkommit uppgifter om att det finns en rörströmningskrets är Stutgarts universitet [14] och DTU (Fleming Franzén ,071019, RB), men det har inte gått att få bekräftat. Möjligen har dock att IPSI (Integrated Power Systems International, Inc) och EPRI (The Electric Power Research Institute), båda USA tillgång till rörströmningskrets för att studera vätskesidig panntubskorrosion.

3.3 Fullskaleförsök

Ett fullskaleförsök definieras som hörs av namnet ett försök i full skala d v s med utnyttjande av befintlig anläggning. Att ändra pannvattnets sammansättning eller flöde under så pass lång tid att resultat kan ses exempelvis på magnetitskiktets uppbyggnad är knappast realistiskt,

med hänsyn till de risker som anläggningen samtidigt utsätts för. Däremot finns möjligheten att byta ut delar av panntuberna mot ett annat material eller mot samma material men oexponerat, för att se hur tillväxten av magnetitskiktet sker eller hur det nya materialet klarar sig i förhållande till det gamla. Att byta ut bitar av panntuben mot nytt material förekommer för att studera eldstadskorrosion [24], men någon motsvarande undersökning vad avser vätskesidan har inte kunnat konstateras.

Att göra fullskaleförsök är visserligen så nära ett "verklighetsnära" försök man kan komma, och metoden är dessutom billig. En kostnad för att kapa av en provbit och svetsa fast en ny bör inte kosta mer än 10 kkr. En brist med fullskaleförsök i form av att byta ut delar av panntuber mot provtuber är att det inte finns möjlighet att variera exponeringsmiljön åt tydligt avvikande riktning relativt normala förhållanden. Dessutom är det vanligen så att en pannas driftsförhållanden kan variera beroende på exempelvis behovet av energiproduktion, vilket gör att förhållandena inte kan hållas konstanta. En möjlighet att motverka detta har dock anläggningar med flera pannor som därigenom kan hålla lasten för en panna konstant medan endast lasten för de övriga tillåts variera.

4 Diskussion och slutsatser

Med en rörströmningskrets där uppvärmning sker med värmemanschetter kan verklighetsnära och kontrollerbara exponeringsförhållanden erhållas för studier av vätskesidig panntubskorrosion. För optimalt verklighetsnära förhållanden vad avser tubdiameter och flödes hastighet, ca 2 m/s och 5 cm innerdiameter, blir månadskostnaden mycket hög, ca 260 kkr. En möjlighet är då att gå ner till lägre värden på tubdiameter och flödes hastighet, exempelvis 0.5 m/s och 2.5 cm innerdiameter, vilket ger en månadskostnad på 17 000 kr. Kostnaden för att konstruera en rörströmningskrets är dock hög, ca 1.3 Mkr i mycket grova drag. Visserligen har Studsvik Nuclear AB en rörströmningskrets men den är baserad på genomströmningsprincipen och saknar ångdom. Möjligen kan utrustningen byggas om för att efterlikna en dompanna, men driftskostnaderna d v s anlitande av utrustningen, blir förmodligen högre än vad skulle bli om ett forskningsinstitut eller universitet utför studien. En möjlighet att förbättra förutsättningarna för en konstruktion av en rörströmningskrets skulle dock kunna vara om ett flertal intresserade i branschen går samman vad gäller finansieringen.

För uppvärmning av provtuben med någon form av brännare eller med en till eldstaden ansluten rörströmningskrets ger också verklighetsnära exponeringsförhållanden, men även här är möjligheten att ha kontrollerbara exponeringsförhållanden mer begränsade. En till eldstaden ansluten rörströmningskrets ger visserligen en billigare drift än med värmemanschetter men beläggingsbildningen kan försvåra tolkningen av resultaten samtidigt som det förutsätter att anläggningen i fråga tar aktiv del i vilket projekt än rörströmningskretsen är tänkt att användas till.

Fullskaleförsök är billigast och ger verklighetsnära exponeringsförhållanden men här är möjligheten att ha kontrollerbara exponeringsförhållanden mer begränsade, även om en anläggning har flera pannor och därför kan hålla en av dem under konstant last, samtidigt som spännvidden är begränsad vad avser exponeringsförhållanden på grund av anläggningens säkerhet.

Autoklavbaserade försök är visserligen betydligt mindre kostsamma än med en eluppvärmd rörströmningskrets, men autoklaver för extrema tryck och temperaturer saknas och en konstruktion eller köp av behövlig utrustning är ändå relativt högt, ca 250 kkr respektive 405 kkr, där förstnämnda utgörs av en enklare variant som dessutom inte klarar av mer extrema tryck.

En förutsättning för att få till finansiering av en rörströmningskrets eller en autoklav med påföljande körning, är dock att branschen anser att anläggningarna har problem som utnyttjandet av en rörströmningskrets eller en högtrycksautoklav kan lösa eller förebygga. Något tillräckligt alarmerande problem för detta kan för närvarande inte ses, även om utökade kunskaper om beläggingsbildningen skulle kunna minska betkostnaderna för magnetitbeläggningen. Inte heller undersökningar vid panntubstryck som ännu ej förekommer i Sverige, för att minska risken för de anläggningar som framledes kommer att kännetecknas av dessa panntryck, får anses som tillräckligt intressant för att kunna erhålla finansiering av en rörströmningskrets eller en högtrycksautoklav.

Behov av ökade kunskaper föreligger icke desto mindre. Detta gäller till exempel hur tillsatser av fosfater och flyktiga aminer men framför allt nya varianter av konditioneringsme-

del påverkar magnetitskiktets tillväxt. Här kan fullskaleförsök i form av byte av delar av befintliga panntuber till oexponerat tubmaterial av intresse ge värdefull kunskap till en begränsad kostnad.

Även orsaken till skador är ibland bristfälligt fastställda och dokumenterade. Här skulle en erfarenhetsinsamling från inte bara drabbade anläggningar utan även de som inte drabbats ge en bred bas för användbara slutsatser. En erfarenhetsinsamling kan också göras till en begränsad kostnad samtidigt som man också skulle få en tydlig bild av problemläget

5 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Som ett första steg kan två verksamheter rekommenderas

- problemutvärdering, bl. a för att sonderabehovet och intresset för försök baserade på autoklav eller rörströmningskrets
- erfarenhetsinsamling för att få underlag till hur tillsatser av fosfat, flyktiga aminer och konditioneringsmedel påverkar risken för panntubsskador

Ett efterföljande steg eller eventuellt parallellt kan utgöras av fullskaleförsök med utbytta tuber. Detta skulle kunna ge kunskap om hur pannvattnets sammansättning och övriga driftsförhållanden påverkar magnetitskiktets tillväxt och kvalitet.

Ett senare alternativ skulle kunna utgöras av ett fullskaleförsök i form av avvikelser från den normala sammansättningen för ett panntubsvatten, föregånget av vägledande autoklavförsök, för en anläggning som har problem med vätskesidig panntubskorrosion.

6 Acknowledgement

Tack till:

- Olimpiu Dumbrava (ÅF-Consult AB), Mats Hellman (Hellman Vatten AB) och Anund Palmqvist (Spirax Sarco AB) - bland många andra - för värdefulla synpunkter och förslag.

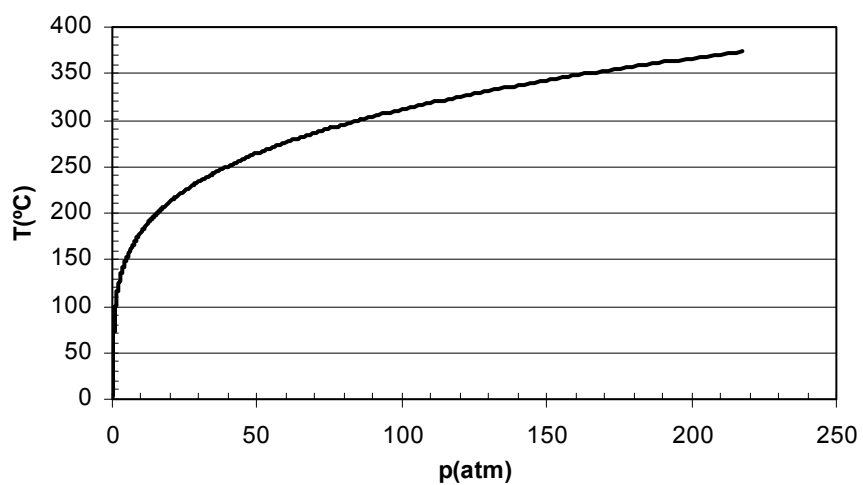
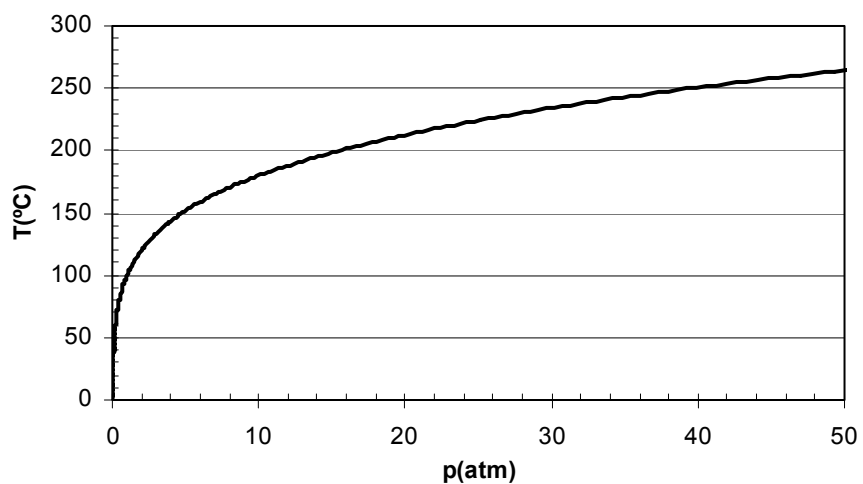
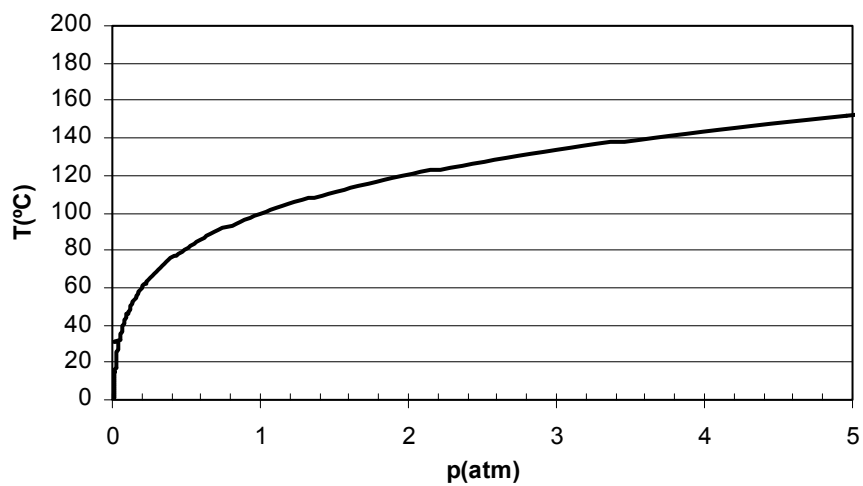
Projektet samfinansierades av Ångpanneföreningens Forskningsstiftelse och medlemsprogrammet Korrosionsinstitutet på Swerea KIMAB.

7 Referenser

1. Mats Hellman, Hellman Vatten AB, Personal Communications
2. Magnus Nordling, "Fosfatkemiprocesser i panntuber", December 2004
3. Per-Eric Jacobsson, AB Fortum Värme, Personal Communications
4. Mats Risberg, Söderenergi, Personal Communications
5. Olimpiu Dumbrava, ÅF-Consult AB, Personal Communications
6. Behnaz Aghili, "Erosionskorrosion", Maj 1999
7. Henrik Alvarez, "Energiteknik", 1999
8. Ivan Falk, Personal Communications
9. H Bjurström, B Carlsson, "Handbok i vattenkemi för energianläggningar", april 2001
10. Björn Carlsson, f d ÅF-Consult AB, Personal Communications
11. NACE, "Test Method - Autoclave Corrosion Testing of Metals in High Temperature Water", February 1971
12. Henrik Lännerbo, Roland Carlberg Processystem, Personal Communications
13. NACE, "Test Method - Dynamic Corrosion Testing of Metals in High Temperature Water", May 1974
14. Ingmar Karlsson, CCI Valve Technology AB, Personal Communications
15. Anders Molander, Studsvik Nuclear AB, Personal Communications
16. Helge Karlsen, Ramab, Personal Communications
17. Stockholm Vatten, Personal Communications
18. Tobias Jansson, T.J.ing AB, Personal Communications
19. Richard Gustafsson, Gustaf Fagerberg AB, Personal Communications
20. Mikael Jägbeck, Mobrey AB, Personal Communications
21. Anders Nordin, Umeå Universitet, Personal Communications
22. Klas Engvall, Swerea KIMAB, Personal Communications
23. Peter Zeliger, Dresden University of Technology, Personal Communications
24. J Storesund et al, "Åtgärder mot eldstadskorrosion på panntuber, December 2007
25. Handbook of Chemistry and Physics, 78th ed.
26. Outokumpu, HSC Chemistry for Windows, version 3.0
27. Tomas Ackland, Fortum Värme, Personal Communications
28. Rune Alm, Akademiska Hus, Personal Communications

8 Bilagor

8.1 Ångtryckskurva för vatten



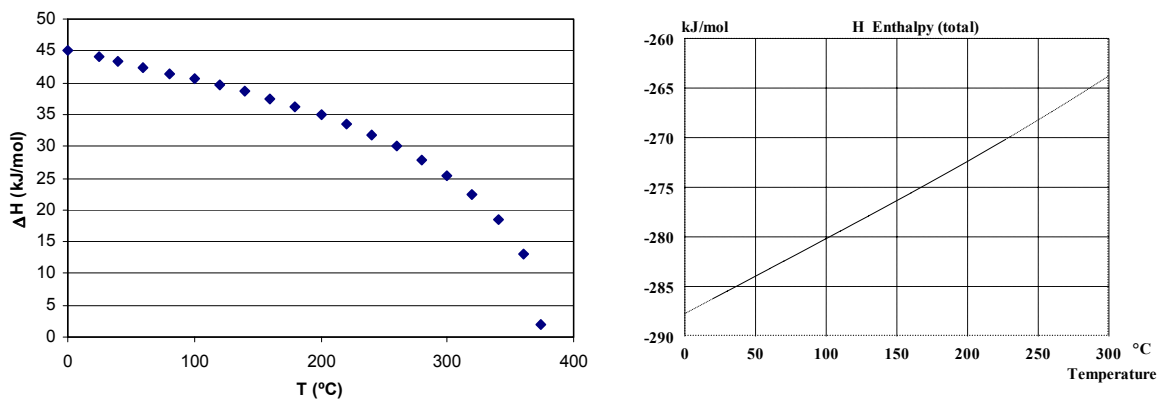
Figur 1a (överst)-c(nederst), bilaga 8.1. Ångtryckskurvor med olika upplösning.

8.2 Bestämning av effektkrav för förångning

För att förångna vattnet i panntuben krävs ett effektuttag som ges dels av värmekravet för att få vattnets temperatur till den för trycket givna kokpunkten och dels av värmekravet för att förångna vattnet. Förutsätts ett konstant tryck kan effektuttaget formuleras enligt

$$P = (\Delta H_{bp} - \Delta H_{T_0} + \Delta H_{vap}) c_{H_2O} v_{medie} A_{tub} \chi \quad (1)$$

där ΔH_{bp} är bildningsentalpin för vattnet vid det av trycket bestämda kokpunkten, ΔH_{T_0} är entalpin för vattnet vid den temperatur det har innan det börjar värmas upp för att uppnå kokpunkten, ΔH_{vap} är förångningsentalpin vid aktuellt tryck, c_{H_2O} är molmassan för vatten, v_{medie} är vattnets linjära flödes hastighet genom tuben, A_{tub} är arean för tubens inre tvärsnittsarea och χ är andelen vatten som förångas vid passagen genom värmeelementet. Värdena för ΔH_{bp} och ΔH_{T_0} , dvs bildningsentalpin, och ΔH_{vap} , varierar enligt figur 1a [26] resp 1b [27]. Utifrån val av T_0 , reglerat av värmeväxlarens utnyttjande och effektivitet, val av kokpunkt, givet av systemets tryck, val av vattnets linjära flödes hastighet genom tuben och rörets innerdiameter kan effektkravet varieras.



Figur 1, bilaga 8.2. Ångbildningsvärmerna för vatten som funktion av temperaturen (1a) respektive bildningsentalpin för vatten som funktion av temperaturen

För testloopen (se figur 2, huvudtexten) separeras ånga och vatten i ångdomen, varefter ångan går vidare i sekundärkretsen och kondenseras medan det okokade vattnet går vidare i primärkretsen där det på vägen tillbaka till provtuben tappar en del värmeinnehåll och går ner i temperatur. Effektkravet kan därför fördelas på tre delar; uppvärmning av kondensatet till koktemperaturen, uppvärmning av det okokade vattnet till koktemperaturen och förångning av allt vatten (både det som kondenserats och det som inte förångats i provtuben). Detta ger

$$P_{sek} = (\Delta H_{bildn, bp} - \Delta H_{bildn, Tsek}) c_{H_2O} v_{medie} A_{tub} \chi \quad (2a)$$

$$P_{prim} = (\Delta H_{bp} - \Delta H_{bildn, Tprim}) c_{H_2O} v_{medie} A_{tub} (1 - \chi) \quad (2b)$$

$$P_{boil} = \Delta H_{vap} c_{H_2O} v_{medie} A_{tub} \chi \quad (2c)$$

$$P = P_{sek} + P_{prim} + P_{boil} \quad (2d)$$

där P_{sek} är effekten för att värma upp vattnet från sekundärkretsen, $\Delta H_{bildn, T_{sek}}$ är bildningsvärmens för vattnet från sekundärkretsen (och som har temperaturen T_{sek}), P_{prim} är effekten för att värma upp vattnet från sekundärkretsen, och $\Delta H_{bildn, T_{prim}}$ är bildningsvärmens för det vatten från ångdomen som ej förångats (och som har temperaturen T_{prim}). Enligt figur 1b uppvisar ΔH_{bildn} ett relativt linjärt samband relativt temperaturen enligt

$$\Delta H_{bildn} = 0.075T - 287.5 \quad (3)$$

varför skillnaden i bildningsentalpi vid två temperaturer kan approximeras till

$$\Delta H_{bildn, T_2} - \Delta H_{bildn, T_1} = 0.075(T_2 - T_1) \quad (4)$$

och ekvationerna 2a-2d kan skrivas om till

$$P_{ksek} = 0.075(T_{bp} - T_{kond})c_{H_2O}v_{medie}A_{tub}\chi \quad (5a)$$

$$P_{prim} = 0.075(T_{bp} - T_{prim})c_{H_2O}v_{medie}A_{tub}(1 - \chi) \quad (5b)$$

$$P_{boil} = \Delta H_{vap}c_{H_2O}v_{medie}A_{tub}\chi \quad (5c)$$

$$P = P_{sek} + P_{prim} + P_{boil} \quad (5d)$$

En faktor som begränsar effektuttaget är den effekt som kan tas ut av tillgänglig uppkopplingsenhet på elnätet (se bilaga 8.3). Ytterligare en faktor som begränsar effektuttaget är kostnaden för elförbrukning. För ett försök som ska efterlikna förhållanden i panntuber bör exponeringen ske dygnet runt, och en månads exponeringstid får antas vara ett minimum för att ge resultat som kan vara av intresse. För värden på vattnets linjära flödes hastighet och tubens innerdiameter enligt vad som kan betraktas som normalt för en förbränningsanläggning, 2 m/s och 5 cm, en förångningsandel på 3 %, en kokpunkttemperatur på 365 °C (motsvarande ett tryck på 200 bar), en förmodad värmeförlust i primärkretsen på 10 °C (d v s $T_{prim}=355$ °C) och en temperatur för T_{sek} på 80 °C ger ett effektkrav på ca 360 kW. Med ett totalpris per kWh på ca 1 kr resulterar detta i en månadskostnad på ca 260 kkr.

För att få ner effektkravet kan olika alternativ tänkas, varav en minskning av den linjära flödes hastigheten och tubens rördiameter är två. En linjär flödes hastighet på 0.5 m/s och en innerdiameter för tuben på 2.5 cm ger 23 kWh, vilket resulterar i en månadskostnad på ca 17 kkr. I båda fallen innebär det en avvikelse från de förhållanden som är normala för en panntubs vätskesida i en förbränningsanläggning. En flödes hastighet på 0.5 m/s innebär dock troligen inte att de erosiva effekterna på panntubens insida får en alltför betydande minskning. En innerdiameter på 2.5 cm borde inte heller ha någon betydande effekt på förhållandet för förångningen på panntubens insida. Ytterligare ett exempel är en minskning av innerdiametern till 1 cm vilket ger 4 kWh och en månadskostnad på knappt 3 kkr.

Att lägga sig på ett lägre tryck ger inte nödvändigtvis någon minskning i effektkrav. Detta beror dels på att förångningsvärmens är lägre ju högre trycket blir och dels på att primärvattnet bara behöver värmas upp från den temperatur som den fått p g a värmeförlusterna i primärkretsen. Exempelvis ger värden enligt linjära flödes hastighet 0.5 m/s, tubinnerdiameter 2.5 cm, förångningsandel på 3 %, kokpunktstemperatur på 320 °C (motsvarande ett tryck på 110 bar), en förmodad värmeförlust i primärkretsen på 10 °C (d v s $T_{\text{prim}}=310$ °C) och en temperatur för T_{sek} på 80 °C ett effektkrav på ca 26 kWh.

8.3 Förutsättningar för eldistribution

Spänningsuttag

Kraftverksgeneratorer ger vanligen en spänning på 10-20 kV. För att distribuera energin med minsta möjliga förlust, bl. a orsakat av motståndet i ledningarna, måste strömstyrkan vara låg. Detta åstadkommer man genom att transformera upp spänningen, vanligen till 130-380 kV. För att passa förbrukningsställena transformeras sedan spänningen ner successivt med hjälp av transformatorstationer, som mest ned till 230 kV exempelvis ordinära hushåll, s.k. lågspänning. För att erhålla högre spänning än lågspänning krävs att man kan få till en anslutning, antingen till en transformatorstation tillhörande det ordinarie nätet eller till en transformatorstation avsedd för att transformera upp spänningen för lågspänningsnätet. I det senare fallet kan transformatorstationen ägas av annan än ägaren av det ordinarie nätet, exempelvis abonnenten själv.

Strömuttag

För att enkelt kunna ansluta en utrustning krävs någon form av uttag. Den strömstyrka som kan erhållas begränsas dock av förekomsten av eventuella säkringar eller i frånvaro av dessa av elkabelns förutsättningar. Dessutom begränsas den strömstyrka som kan erhållas av hur mycket el som redan förbrukas av andra abonnenter längs den kabel för vilken anslutning är tänkt att ske. För villor begränsas uttagsmöjligheten vanligen av säkringar av storleken 16A, 20A eller 25A. För större byggnader finns ofta i elcentralen uttag säkringar av storleken 100A, 200 A eller ändå något högre, vilka dock delas upp på uttag med säkringar motsvarande storleken hos villor.

En möjlighet att få ut högre ström är att ansluta till en fördelningscentral för el, s.k. ställverk. Längs elnätet finns fast anslutna fördelningsanläggningar vilka benämns kabelskåp. Är verksamheten tillfällig och närliggande kan utrustningen anslutas till kabelskåpet. Är verksamheten tillfällig men på längre avstånd från närmaste kabelskåp kan ett mobilt ställverk, s.k. byggelskåp kopplas in på nätverket och förläggas i närheten av där verksamheten ska ske. Ska verksamheten ske under lång period kan en ordinarie elanslutning göras. Vare sig det gäller inkoppling till kabelskåp, anslutning av byggelskåp till nätet eller utformning av en ordinarie elanslutning utförs detta av elnätsägaren. För kabelskåp ligger den tekniska begränsningen för strömuttaget vanligen på 400 A medan den för byggelskåpet kan gå upp till 600 A och i undantagsfall 1000 A [27].

Detta förutsätter dock att det närliggande nätet är utnyttjat och normalt medför andras utnyttjande av nätet en begränsning av strömuttaget motsvarande 200A. Strömuttag över 200A förutsätter dessutom grövre kablar vilka inte nödvändigtvis förekommer ens för högspänningsnät [27].

Kostnad för utformning av anslutningsmöjlighet med höga effektuttag

Är inte behovet av spänning eller ström satt till någon undre gräns finns förutsättningarna att fritt variera spänning och ström för att erhålla önskvärd effekt. Här utgör då tillgång till högspänningsnät eller transformator möjlighet att höja spänningen relativt det ordinarie lågspänningsnätet, samtidigt som kabelskåp, byggelskåp och ordinarie elanslutning utgör möjlighet att höja strömmen.

Kostnad för anslutning av kabel till befintligt högspänningsnät beror givetvis på avståndet till högspänningsnätet medan en transformator avsedd för att transformera upp spänningen beror på vilken nivå på högspänning som ska erhållas. Inkopplingskostnad av byggelskåpkostar mellan 4 kkr och 10 kkr beroende på storlek. För strömstyrkor på 1000 A är passande kablarna mycket dyra.

För exempelvis Swerea KIMAB är förutsättningar sådana att företaget ligger på området för KTH. Dels har KTH ett antal högspänningslingor med ställverk till vilka anslutning är möjlig, men framförallt har KTH i närheten av Swerea KIMABs byggnad två transformatorer som båda levererar en spänning på 6 kV, och för vilka det åtminstone för närvarande (juni 2008) finns goda anslutningsmöjligheter [28].

8.4 Företag med looptrustning

Företag	Centrifugalpump				Förträngningspump			
	Tryck (bar)	Temp (°C)	Effekt (kW)	Pris	Tryck (bar)	Temp (°C)	Effekt (kW)	Pris
KSB Mörck AB (1)	90	200		2 Mkr	-			
Sulzer Pumps Sweden AB (2)	?				-			
Zander & Ingeström AB (3)	80-90	150			-			
ITT Flygt AB (4)	40	120		<100 kkr	?			
Processpumpar i Motala AB (5)	120-130	205		1-1.5 Mkr	-			
Gotec AB (6)	?				?			
Propump AB (7)	?				0			
Telfa AB (8)	300	375	3	550 kkr	200	90	0.5	40 kkr
Christian Berner AB	?				-			

Med frågetecken menas att efterfrågan tagits emot men att inget säkert svar avgivits.
 Saknar efterfrågad utrustning: Thorell Pump AB(-), Ahlström & Persson AB, Jötek, Scanpump AB, Temag Pumpar AB, Grundfos AB, Johnson Pump AB, Pumphuset Sverige AB, Robota AB, Uppsala Elektriska Lindeverkstad AB
 Har ej svarat: EGGER Turo Pumps Skandinavien AB, Nordic Pipe, Scandia Pump, ABS Pump, Pumpulajha AB Oy
 Namn: 1) Bo Gerdin 2) Raimo Hamalainen 3) Lars Kolmskog 4) Magnus Spens 5) Magnus Brander 6) Ingemar Jern 7) Mike 8) George Jurstedt

8.5 Företag med utrustning för rörströmningskrets, exklusive pumpar

Enhet	Företag	Prestanda	Pris (kr)
Värmeelement	ESSKA Teknik (4)	Värmemanschetter: Tvåtum diameter, 10 kW/m	9 000
	Watlow GmbH (5)	Värmemanschetter: Tvåtum 9kW/m	12 000
Värmeväxlare	RAMAB Rör & Apparatomontage AB (1)	Tubv vx, 200 bar, 500 W	Drygt 150 000
Kylare	T.J.ing AB (2)	vattenkyllning, 700 kW vattenkyllning, hyra Luftkyllning, upp t. 30 °C	Ca. 940 000 15 900 kr/v 270 000
Ventiler	Rossing & Jansson AB (7)	Endast reglerventiler	
	KSB Mörck AB (6)	Backventil Nålventiler Säkerhetsventil	10 800 1 730 36 485
	Bürkert Contromatic AB	Strypventil	
	Peab process AB (8)	Backventil Nålventiler Reglerventil	3 000 4 000 50 000
	Gustaf Fagerberg AB (9)	Ultraljud	upp till 100
Flödesmätare	Mobrey AB (10)	Vortexmätare (vätska) Vortexmätare (gas) Ultraljud	ca 15 000 ca 15 000
	JUMO Mät- o. Reglerteknik AB (14)	Givare och mätcell	5 200
Partikelhalt	Fortum Service (11)	Filterfärgning	
Jonbytare	Krüger Akvapur AB (3)	Färdiga patroner. >200 liter/patron	2 640
Syreskrubber	Eurowater AB		
Temperaturgivare	JUMO Mät- o. Reglerteknik AB (14)	Givare	1 000-2 000
	Spirax-Sarco AB (12)	Givare och mätvärdesenhet	4 000
Nivågivare	Mobrey AB/ Emerson Process Management (13)	Konduktiv mätare med bypassrör	Ca 80 000
Tryckmätning	JUMO Mät- o. Reglerteknik AB (14)	Tryckgivare Tryckförmedlare	ca 3 000 ca 3 000
	Oleinitec AB (15)		ca 43 000
<p><i>Har ej eller har ej tillräcklig prestanda ("0")/ ej svarat på förfrågan ("0")</i></p> <p>Värmeelement: Christian Berner AB (-), Backer BHV AB (-), Raychem AB (-), Lund & Sörensen AB (-) Värmeväxlare: Alfa Laval Nordic (-), Osby Parca Divisionen Enertech AB (-), Enertech AB/ CTC Bentone (-), GEA Ecoflex Scandinavia Oy (0), Armatec AB (0), Christian Berner AB (-), Cci Valve Technology AB (-), Spirax-Sarco AB (-), Furmanite (0), Ventiler: Ventim (0), Gustaf Fagerberg AB (0), Armatec (-), Spirax-Sarco AB (-), CCI Valve Technology AB (-), Bauer Watertechnology AB (0), Axel Larsson AB (-), Alfa Laval Nordic (-), Emerson Process Management AB (0) Flödesmätare: JUMO Mät- o. Reglerteknik AB (-), Bürkert Contromatic AB (-), GO Hydro AB (0) Konduktivitetmätare: Christian Berner AB (0) Syreskrubber: TPS Termiska Processer AB (-), Fagersta Energetics AB (-), Polyproject AB (-) Kylare:- Partikelhalt:-, Jonbytare:-, Temperaturgivare:-, Nivågivare:-, Tryckmätning:-</p>			
<p><i>Namn:</i> 1) Helge Karlsen 2) Tobias Jansson 3) Mikael Vidén 4) Patrik Halbig 5) Bo Sjögren 6) Anja Lammers 7) Jan-Olof Bäckström 8) Niklas Pettersson 9) Richard Gustafsson 10) Mikael Jägbeck 11) Roland Jansson 12) Anund Palmqvist 13) Hans Peipke 14) Fredrik Larsson 15) Direk Nürnberg</p>			

Datum:
30/6 2008

Sidor: 42

Språk:
Svenska

Rapport – Swerea KIMAB AB

ISSN:
ISRN: SIMR/R--08/053--SE
KIMAB-nr: KIMAB-2008-124

Status: Slutrapport, Öppen

Titel: Förutsättningar för experimentella studier av vätskesidiga panntubsprocesser

Författare: Magnus Nordling

Swerea KIMAB-projektnr: 704006

Affärsområde: Korrosion

Nyckelord: Rörströmningskrets autoklav testloop vätskesidig vätskesida panntubskorrosion förbränningsanläggning korrosion

swerea|**KIMAB**

Swerea KIMAB AB, Box 55970, 102 16 Stockholm
Tel 08-440 48 00, Fax 08-440 45 35
E-post kimab@swerea.se, www.swreakimab.se

Swerea KIMAB är ett ledande korrosions- och metallforskningsinstitut. KIMAB arbetar för att förbättra material och processer för materialframställning samt studerar hur nya material uppträder i verkstadsteknisk tillverkning och i mekaniska konstruktioner. Verksamheten omfattar forskningsprojekt, provning och uppdrag.

All forskning och utvecklingsarbete sker i ett nära samarbete med svenska och internationella företag inom stål-, metall-, elektronik-, verkstads-, plast-, pappers-, fordons-, tillverknings-, och kraftindustri. Resultatet av vårt arbete ska för våra kunder vara en god satsning för framtida intäkter.

swerea | **KIMAB**

Swerea KIMAB AB, Box 55970, 102 16 Stockholm
Tel 08-440 48 00, Fax 08-440 45 35
E-post kimab@swerea.se, www.swreakimab.se