

## **Rekommendation från**

# **Sodahuskommittén**

Allmänna villkor för användande av Sodahuskommitténs rekommendationer framgår av rekommendation A 3

**Nr D 5**

Utgåva 1, april, 2018

## **Högtemperaturdeformation av överhettare mm i sodapannor.**

Materialkrypning innebär en successiv försämring av egenskaperna hos ett material, om det utsätts för hög temperatur samtidigt som det är belastat. För konventionella ångpannor för kraft- och värmeproduktion är problemen med materialkrypning större eftersom man där har högre tryck och högre materialtemperaturer i de mest utsatta delarna. För sodapannor är de mest utsatta delarna tuber och samlingslådor till överhettarna samt utgående ångledning till turbin. Temperaturen hos ångan från sodapannor har emellertid länge inte kommit i konflikt med gränstemperaturen för materialkrypning för de använda materialen, men med ökande tryck, ång- och materialtemperatur, så har även för sodapannor materialkrypning blivit ett nytt problem att ta hänsyn vid kontroll och underhåll.

De skador som successivt utvecklas i materialet är i form av en ”inre uppruttning”, det bildas felställen som dislokationer, kaviteter, porositeter, sprickbildningar mm, som gör att materialet allteftersom förlorar sin hållfasthet. Krypskador är ett problem som successivt utvecklas med tiden, d.v.s. att idag bör krypskador utgöra en risk i huvudsak hos äldre anläggningar. Härvid har man att ta hänsyn till att materialkrypningsegenskaperna även kan variera starkt mellan olika delar av samma panna. Vid de här höga temperaturerna är ju också framförallt korrosionen en begränsande faktor. Samtidigt, om man ser framåt, så måste också nya anläggningar konstrueras för att verkligen hålla in i framtiden, så att man får ut den livslängd och den energiproduktion man projekterat anläggningen för.

## **Hänvisningar**

### ***Föreskrifter***

AFS 2016:1: Tryckbärande anordningar

AFS 2017:3: Användning och kontroll av tryckbärande anordningar

Pressure Equipment directive, PED, 2014/68/EU

### ***Standard***

SS-EN10216-2: Non-alloy and alloy steel tubes with specified elevated temperature properties

SS-EN10216-5: Rostfria stål.

SS-EN12952-3 Konstruktion och beräkning: Avsnitt 5.6, 5.8, 6.3, 13, Annex B

SS-EN 12952-4: Beräkning av återstående livslängd.

SS-EN 13480-3: Rörledningar: Konstruktion och beräkning

EN764-9: Pressure equipment and assemblies — Part 9: Creep design

## Innehåll

1	Högtemperaturdeformation av överhettare mm i sodapannor. ....	3
1.1	Allmänt om materialkrypning och krypskador. ....	3
2	Materialsammansättningen och dess inverkan på stålets hållfasthetsegenskaper .....	5
3	Svetsning och kryphållfastheten hos utförda svetsar .....	7
4	Övriga geometriska svaghetspunkter, som rörböjar, stutsar, dimensionsförändringar mm. ....	8
5	Uppföljning, återkommande kontroll.....	9
6	Särskilda rekommendationer beträffande sodapannans olika delar .....	10
6.1	Överhettartuber .....	10
6.2	Överhettarens samlingslådor.....	10
6.3	Ångledningar.....	11
Bilaga 1:	Beräkningsvärden för stål vid förhöjd temperatur: .....	12
Bilaga 2:	Litteraturreferenser .....	13
Bilaga 3	Utdrag ur AFS 2016 -1, Tryckbärande anordningar .....	14

# 1 Högtemperaturdeformation av överhettare mm i sodapannor.

## 1.1 Allmänt om materialkrypning och krypskador.

Materialkrypning innebär en successiv försämring av egenskaperna hos ett material, om det utsätts för hög temperatur samtidigt som det är belastat. För pannor, såväl sodapannor, som övriga, är de mest utsatta delarna tuber och samlingslådor till överhettarna samt utgående ångledning och turbin. Materialet ger efter och deformeras successivt, men det är en process som normalt är utspridd över tidrymder om något eller ett par tiotals år innan det gått så långt att allvarliga skador börjar uppträda.

Materialkrypning brukar bli ett problem först över en viss temperatur, gränstemperaturen, vilket bl.a. innebär att endast de mest uppvärmda delarna av sodapannan och dess kringutrustning är utsatta. En viktig faktor att också hela tiden ta hänsyn till är att det erfarenhetsmässigt föreligger en mycket stor spridning i krypegenskaperna mellan enskilda delar av anläggningen, t.ex. mellan komponenter från samma metallurgiska charge, men med olika värmebehandlingshistoria. Stora skillnader kan också föreligga mellan komponenter från olika metallurgiska charger, dvs stålverkens dagliga variation av produktionsresultatet. Tidigare kunde skillnader i tid till brott vid provning variera uppåt och nedåt med flera tiotals procent, för senare producerade produkter har analysprecisionen vid stålverken förbättrats betydligt, vilket borde göra att den här osäkerheten minskat.

Ångtemperaturen i sodapannor har länge legat rätt lågt. 450° har varit rätt vanligt och som mest har man drivit upp ångtemperaturen till ca 480°. Att man ofta inte uthålligt använt 480° ångtemperatur trots den bättre ångekonomin, beror på att man önskat begränsa korrosionen. Temperaturen hos ångan från sodapannor har emellertid länge inte nått upp till gränstemperaturen för de använda materialen, men med ökande tryck, ång- och materialtemperatur, så blir materialkrypning ett nytt materialproblem att ta hänsyn vid kontroll och underhåll. I äldre sodapannor har problemet inte adresserats så länge ångtemperaturen med hittills använda stålqualiteter håller sig upp till ca 480°C. Från 480°C och uppåt har det börjat göra sig påmint och från materialtemperaturer på 500°C och uppåt så måste hänsyn tas till krypningen allteftersom allt högre materialtemperaturer kommer i fråga. Det är ju också en följd av den tilltänkta driftstiden. Tidigare har man beräknat kryprisen utifrån en tänkt 10-årsperiod (d.v.s. ca 100.000 timmar), sedan en 20-årsperiod (d.v.s. ca 200.000 timmar)

Idag bör ett ännu längre perspektiv anläggas, eftersom man ändå inte byter överhettarskärmarna när den tilltänkta driftperioden förlupit, utan man numera genom en successiv utvärdering och uppföljning försöker krama ur mesta möjliga återstående drifttid ur de befintliga anläggningarna. Detta motiveras inte minst av de höga kostnaderna för att ersätta dem. Idag kan vi ha anläggningar som är upp till 40-50 år gamla, och då måste vi beakta att de inte från början konstruerats med tanke på att man skulle kunna riskera krypskadehaverier i framtiden.

Härvid har vi också att ta hänsyn till att materialkrypningsegenskaperna kan variera starkt mellan olika delar av samma panna. Andra faktorer som inverkar är sådant som värmebehandling och slutbehandlingstillstånd, eventuell kallbearbetning, inverkan av tidigare svetsning, bockning mm standardoperationer som kommer till användning vid tillverkningen. Högre materialtemperatur än den tilltänkta är en annan risk, vare sig den beror

på invändiga beläggningar i överhettartuberna eller på mätfel eller någon annan kontrollerbar faktor.

Krypskador är också ett problem som successivt utvecklas med tiden, dvs att idag bör krypskador utgöra en risk i huvudsak hos äldre anläggningar med tjugo eller kanske t.o.m. trettio-fyrtio års tid på nacken. En ytterligare skillnad är att ångtemperaturen hos sodapannorna successivt drivits mot allt högre temperatur för att därigenom höja (el-)verkningsgraden. När man för fyrtio-femtio år sedan konstruerade med en ångtemperatur på 450°C, så låg man med god marginal under den s.k. gränstemperaturen och bör ha upplevt mindre risk för begynnande sprickbildning, men vid högre ångtemperatur, som t.ex. vid 480°C, så finns det all anledning att vara uppmärksam. Dagens ångtemperaturer har vuxit sig ännu högre och anläggningarnas driftstid kommer därmed definitivt att begränsas av hänsyn till kryplivslängden. Samtidigt skall man komma ihåg att för överhettartuberna får man inte glömma bort det temperaturpåslag om 35-50°C som tillkommer på grund av den yttre värmebelastningen. Det är tänkt som ett konservativt värde, men den verkliga temperaturökningen i materialet kan också vara högre, och har man ökat pannans kapacitet kan det kanske vara läge att tänka efter.

Eftersom man vill successivt öka både livslängd och elverkningsgrad så måste man därför arbeta både med överhettarmaterialens högttemperaturegenskaper och med korrosionsbetingelserna. Vid de här höga temperaturerna är ju framförallt korrosionen en begränsande faktor, med 500°C ångtemperatur måste man ha noggrann kontroll på stoftets kalium- och kloridhalter, eftersom partiellt smälta beläggningar är förödande för korrosionsbeständigheten. Stoftbeläggningen smälter successivt med ökande temperatur och beroende på mängden kalium- och kloridföreningar i beläggningen visar sig de första tecknen på att beläggningen börjar smälta redan vid ca 550°C. Det är komplexa sulfater som gör att smältintervallet sträcker sig ner i området 500 - 600° C och man bör hålla en marginal på minst 50° mellan utgående ångtemperatur och smältintervallets lägre begränsningstemperatur för att inte överhettartubernas varmare delar ska ta stryk. För att höja ångtemperaturen över 500°C blir det därför nödvändigt att följa kalium- och kloridhalterna i överhettarbeläggningarna och kombinera stoftåterföringen med någon av de reningsmetoder som utvecklats för detta ändamål.

Samtidigt om man ser framåt så måste därför nya anläggningar dels konstrueras för att verkligen hålla in i framtiden, så att man får ut den livslängd man projekterat anläggningen för. Dels måste de också kontinuerligt följas upp så att man parerar de skador som slumpvis kan uppträda under anläggningens driftstid.

Med hittills använda varmhållfasta överhettarkvalitéer kommer man nu också upp i temperaturer där man måste ta alltmer hänsyn till materialets krypegenskaper. Dels vill man räkna med en lång driftstid för de utsatta delarna, dels tillkommer ett problem att det kan uppstå skador även om anläggningen är beräknad för att ligga på den säkra sidan av den s.k. gränstemperaturen. Gränstemperaturen är den temperatur över vilken materialets krypegenskaper är avgörande för anläggningens livslängd, är temperaturen lägre än gränstemperaturen är det tänkt så att krypprocesserna går så långsamt att man inte skulle behöva bry sig om dem.

För konventionella ångpannor för kraft- och värmeproduktion är problematiken större eftersom man där har högre tryck och högre materialtemperaturer i de mest utsatta delarna. De

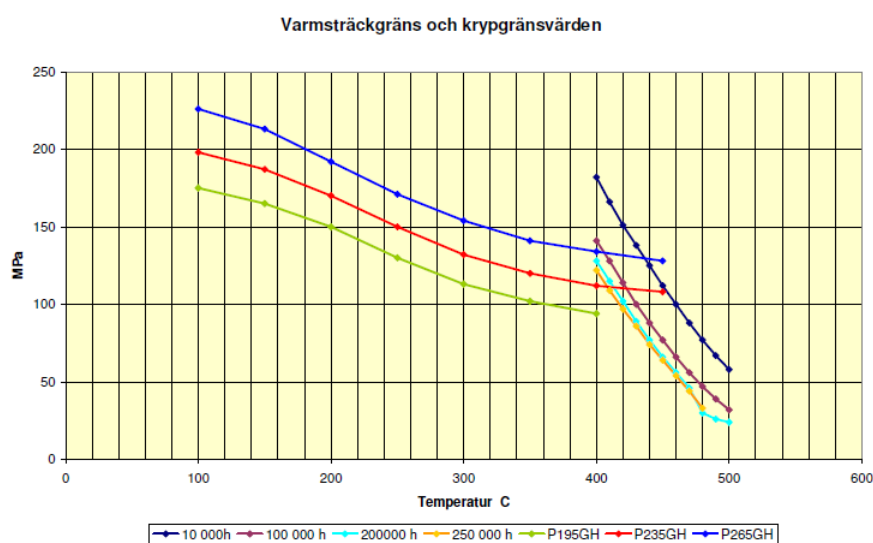
skador som successivt utvecklas i materialet är i form av en ”inre uppruttning”, det bildas felställen som dislokationer, kaviteter, porositeter, sprickbildningar mm, som gör att materialet allteftersom förlorar sin hållfasthet.

För bedömning av livslängden vid konstruktion av pannkomponenter finns ett antal standarder som underlag. Även Föreskriften (AFS 2016:1) fokuserar på de långsiktiga skador som materialkrypningen med tiden kan ge upphov till, se Bilaga 3.

## 2 Materialsammansättningen och dess inverkan på stålets hållfasthetsegenskaper

Materialsammansättningen hos stålet har stor betydelse för krypegenskaperna och man legerar stålet på olika sätt för att förbättra högtemperaturhållfastheten. Stålets grundstruktur har också stor betydelse, vilket innebär att generellt sett så har austenitiska rostfria stål bättre högtemperaturegenskaper (hållfasthet och duktilitet) än ferritiska stål av typen kolstål (som t.ex. P265GH) eller ”låglegerade” varmhållfasta ferritiska stål med krom, molybden och ibland också t.ex. niob eller vanadin, t.ex. 13CrMo 4 5 eller 14MoV6 3. Materialens egenskaper vid temperaturer lägre än gränstemperaturen framgår av respektive del av EN 10216, t.ex. SS-EN 10216-2 för varmhållfasta ferritiska stål och SS-EN 10216-5 för rostfria stål. Materialegenskaperna vid temperaturer högre än gränstemperaturen hittar man i Annex A till nämnda materialstandarder.

Gränstemperaturen är den temperatur, vid vilken kurvorna för krypvärdena korsar kurvorna för varmsträckgränsvärdena. Gränstemperaturen avskiljer det lägre temperaturområde, där materialkrypning inte anses ha någon påverkan på materialets hållfasthetsegenskaper. Vid temperaturer högre än gränstemperaturen så måste man räkna med att det med tiden uppstår krypskador, vilka efter en tid leder till materialskador eller sammanbrott av den utsatta tryckkärlsdelen. Gränstemperaturen är dessutom både spänningsberoende och materialberoende.



Under gränstemperaturen sjunker materialhållfastheten, räknad som sträckgränsen, ganska långsamt med ökande temperatur, medan över gränstemperaturen är såväl temperaturberoendet som spänningsberoendet mycket kraftigt och driftstiden till brott minskar drastiskt med ökande temperatur eller ökande spänning. Dimensionerar man en överhettare eller en ångledning för drift vid högre temperatur brukar man i allmännumera räkna med att anläggningen skall hålla för 200.000 timmars drifttid (d.v.s. ca 23 år) vid kontinuerlig drift. Äldre anläggningar kunde vara räknade för 100.000 timmar, det var det vanliga tidigare. På senare år har det börjat komma fram beräkningsvärden för 250 000 timmars drifttid. Efter det att den utmätta tiden passerats brukar anläggningarna ändå drivas vidare, men under noggrann tillsyn och mer omfattande kontrollåtgärder.

Om beräkningstemperaturen är lägre än gränstemperaturen brukar man säga att det inte föreligger någon risk för krypskador, men det finns två invändningar för anläggningar, där beräkningstemperaturen ligger strax under gränstemperaturen.

1: Om en anläggning fortsätter att användas tillräckligt länge kan den komma i konflikt med hypotetiska krypvärdeskurvor för längre tid än 250 000 timmar (28 år).

2: Om det finns svetsar eller geometriska diskontinuiteter i materialet, så kan kryphållfastheten för dessa vara betydligt sämre än för det ostörda materialet.

Man har alltid spänningskoncentrationer vid ojämna svetsrågar, vid stutsar och vid hål i den i övrigt ostörda mantelytan. Beräkningsvärdena för kryphållfasthet är baserade på släta, osvetsade dragprovstavar och man tar hänsyn till nämnda avvikelser dels genom att man applicerar kända eller uppskattade spänningskoncentrationsfaktorer samt genom att man applicerar en allmän säkerhetsfaktor på beräkningarna. För anläggningar som avses användas även vid temperaturer strax under gränstemperaturen är det dock långtifrån alltid man vid konstruktionen av dem har tagit hänsyn till risken för att särskilt högt belastade ställen, som otillräckligt förstärkta hål vid stutsar eller anvisningar vid svetsar, mycket lokalt kan komma att komma upp i det för krypning kritiska området. Börjar det sedan bildas små lokala krypsprickor på dessa särskilt påkända ställen, så kommer de att snabbt försämra situationen, eftersom spänningskoncentrationen vid dessa sprickors sprickspetsar kommer att vara betydligt högre än de ursprungliga defekternas spänningsförhöjande inverkan.

Som framgår av diagrammen i Bilaga 1 är krypprocessen alltså både starkt spänningsberoende (kurvorna lutar kraftigt) och starkt temperaturberoende (kurvorna för de successivt ökande temperaturerna ligger farligt nära varandra).

→ Eftersom sprickbildningen genom krypning är starkt spänningsberoende innebär detta att sprickbildningshastigheten accelererar starkt så fort som de första initialsprickorna har bildats.

Effekten av temperaturberoendet kan man se på en konstruktion där olika delelement har olika temperatur, t.ex. mellan de enskilda tuberna i en överhettare. Om man konstruerar en överhettare och försöker räkna fram temperaturen på den utgående ångan finns många faktorer att ta hänsyn till:

- Ångflödet varierar mellan olika skärmar och om överhettarlådorna är matade från bägge sidor får man en zon i mitten med störd ångströmning. Lägre ånghastighet i dessa tuber gör att temperaturen på den utgående ångan kan vara åtskilliga grader högre än för övriga skärmar i överhettaren.
- Den yttre tuben i varje tubskärm är utsatt för betydligt högre värmebelastning, såväl genom strålning som genom konvektion, än de inre mer skyddade tuberna i skärmen. Detta gäller speciellt nedre böjar och tubsträckan närmast utloppet genom taket.
- Förekomsten av fukt i ångan kan medföra avsättningar vid t.ex. nedre böjar, så att dels de nedre böjarna utsätts för extra övertemperatur, dels att det avsätter sig så mycket invändiga saltbeläggningar att ångflödet påverkas. Invändiga saltbeläggningar kan medföra betydande och svåråtgärdade skador på överhettartuberna. Fukt i ångan är inte heller bra för turbinen.
- Materialtemperaturen hos de värmebelastade överhettartuberna inne i eldstaden är också betydligt högre än temperaturen på ångan i dem.

Man kan följaktligen inte använda utgående ångtemperatur som enda parameter att bedöma pannan efter, man måste komplettera med temperaturmätning av de tuber som man antar kommer att producera den högsta ångtemperaturen. Termoelementen placeras lämpligen på tubytan strax under samlingsådan uppe i ”doghouse”. Eftersom tuberna inte är värmebelastade här får man sedan addera ett temperaturtillägg för att få en uppskattning av hur hög temperaturen verkligen är i de mest värmeutsatta delarna av eldstaden. Vanligen är detta temperaturtillägg 35-50° i en sodapannas överhettare, men det är inte fel att göra en beräkning istället för att använda ett schablonvärde.

### 3 Svetsning och kryphållfastheten hos utförda svetsar

Svetsarna utgör en svaghetszon för konstruktioner utsatta för krypdeformation. Problemen är dels att man kan få spänningskoncentrationer ifall svetsarna är ojämnt utförda, dels att svetsgodset och den värmepåverkade zonen i grundmaterialet kanske inte får samma kryphållfasthet som grundmaterialet.

Förekomsten av geometriska avvikelser hos svetsar utgör en svaghet, som i större utsträckning än för konstruktioner beräknade mot varmsträckgränsen kan leda till förtida brott. När man konstruerar med ett duktilt stål vid temperaturer under gränstemperaturen är det istället så att ställen med spänningskoncentration tenderar att deformeras plastiskt (”flyta”), och då utjämnas spänningarna. Det är först när materialet är genomplasticerat, som det kan gå till brott. Finns spänningskoncentrationerna kvar efter det att konstruktionen spänningssatts, så kan det däremot uppstå utmattningssprickor på de utsatta ställena. Det förekommer, men det är knappast något större problem i ångpannor av typ sodapannor, som håller långa sammanhängande driftsperioder med små spänningsvariationer under driftstiden.

Över eller strax under gränstemperaturen däremot kan spänningskoncentrationen leda till för tidiga sprickbildningar. När det väl bildats en liten spricka i det mest spänningsbelastade partiet, så ökar spänningskoncentrationsfaktorn där och spricktillväxthastigheten accelererar tills konstruktionen gått till läckage eller till brott.

Svetsrågar bör därför slipas jämna och alla svetsdiskontinuiteter repareras eller avlägsnas genom ytbehandling. Även TIG-behandling är en möjlig åtgärd. Invändiga defekter som rotfel, porer eller genomrinningar måste undvikas och bör repareras innan den svetsade konstruktionen tas i drift.

Metallurgiskt utgör speciellt svetsar mellan material med olika sammansättning en risk. Om man skall svetsa samman material med olika kromhalt, så kan det medföra en svaghetszon som kallas PFZ, ”precipitation free zone”. Det innebär att kolet vid smältgränsen vandrat över till den sida, som har den högsta kromhalten och att det intill bildas en tunn zon utan de karbider, som är nödvändiga för att upprätthålla materialets varmhållfasthetsegenskaper. Man får en tunn spricka genom den utskiljningsfria zonen och svetsen delar sig, så att man kan identifiera smältgränsens utseende i brottytorna.

#### **4 Övriga geometriska svaghetspunkter, som rörböjar, stutsar, dimensionsförändringar mm.**

Rörböjar är utsatta för spänningar på insidan av böjen. Är böjen snäv så får det betydelse, varför rörböjar gärna bör tillverkas av ett utgångsmaterial med lite högre godstjocklek. Gör man det bör man tänka på att göra övergången mellan det tjockare godset i rörböjen och anslutande rårör så jämn som möjligt. Rörböjens utsida är dubbelkrökt och faktiskt starkare, trots att den oftast blir tunnare än godset i det rårör man utgått ifrån. Rörböjens baksida däremot blir som en sadelpunkt, korsningen mellan en konkav och en konvex yta. Det är därför som det är rörböjens insida/baksida som är mest utsatt för spänningar. Får man dessutom spänningar som böljar fram och tillbaka allteftersom temperaturen i ledningen växlar mellan drift och driftsstillestånd, så kan kombinationen av krypning och utmattning leda till en ännu kortare tid till brott.

Stutsar och tubinfästningar är en annan risk, där avstickaren kan råka ut för böjspänningar beroende på temperaturspänningar i den anslutande ledningen. Hela infästningen kan bli skev med böjspänningar som följd. Med inte alltför tjocka gods i ledningarna kan böjspänningarna bli höga, kanske inte så mycket i rårören, men mer i rörböjar, stutsar och vid insvetsade stöd och fenor. Replikaprovnings och spricksökningen (med företrädesvis magnetpulver) bör därför koncentreras så långt som möjligt till sådana ställen, eftersom de är de mest utsatta.

Om man har hög ångtemperatur och överhettarpaneler, där tuberna är dragna genom trånga öppningar i taket, så bör man vara uppmärksam på takgenomföringarna, eftersom man riskerar att få en kombination av krypning och utmattningsspåkänning, som kan bidra till tubbrott i genomföringen.



När man summerar delskador, så samverkar krypning och utmattning till att ge oproportionerligt korta tider till brott, så ställen som dels håller hög temperatur och dels samtidigt är utsatta för pulserande spänningar är särskilt utsatta för att uppvisa tidiga skador.

## 5 Uppföljning, återkommande kontroll

En uppfläckning av ångledningen är katastrofal för all personal i sodahuset och måste till varje pris undvikas.

Materialkrypning är en långsamt smygande process och ingenting man normalt märker av under det inledande skedet av en anläggnings möjliga livslängd. Med åren måste man dock successivt skärpa kontrollerna och särskilt när man närmar sig den sista tredjedelen av anläggningens beräknade tillåtna drifttid bör återkommande spricksökning av utsatta delar göras. För en ångledning innebär det t.ex. vid dimensionsändringar, vid svetsar till ventiler i ledningen eller svetsar till avstickare, termometerfickor eller liknande geometriska diskontinuiteter. Även rörbøjarnas innerradie är särskilt utsatta och bör uppmärksammas.

Ångledningen avisoleras i sin helhet och spricksöks på alla misstänkta ställen. Enbart uppmätning av dimensionsökningen på särskilda kontrollställen kan ge viss vägledning, men alla ostörda raksträckor är mindre utsatta än övriga delar av ledningen och att koncentrera sig på dimensionsmätning av raksträckor gör det visserligen lätt att räkna på livslängden, men är fortfarande gravt missvisande vad avser ledningens kondition som riskobjekt.

Ofta gör man så att när ångledningens utmätta tid uppnåtts, så kan man fortsätta användningen av den, men under noggranna och ofta återkommande kontroller. Anledningen är den variation i materialets krypegenskaper som det har på grund av svårfångade avvikelser i legeringssammansättning, värmebehandling och övrig historia. Beräkningsvärdena är ju uträknade utan hänsynstagande till att man måste fånga upp den variationen, så i genomsnitt håller materialet betydligt bättre än beräkningsvärdena antyder, samtidigt som man egentligen måste gardera sig mot de exemplar som visar upp den sämsta beständigheten. Noggrann uppföljning över tid av lokal temperatur och lokalt ångtryck kan därför ge underlag för att motivera en ytterligare förlängd drifttid.

I leveransprovnigen till material för överhettare och ångledningar ingår inte (och finns inte att tillgripa) någon krypprovning, och dessutom så är den inneboende variationen hos möjliga spänningskoncentrationer och variationer i materialegenskaperna en tillkommande osäkerhetsfaktor.

För att kompensera för den inte obetydliga variationen i krypegenskaperna hos de enskilda materialchargerna så ska de tillsammans med inverkan från okompenserade spänningskoncentrationer tas upp av den pålagda säkerhetsfaktorn. En svaghet med dimensioneringen av en anläggnings kryphållfasthet är att man använder krypbrottgränsvärden som utgör medelvärdet av de värden som framkommer vid provningen. Det gör att man måste räkna med en variation hos krypbrottgränsen hos materialstandardens tabellvärden med +/- 20%. Den säkerhetsfaktor man har valt för beräkningarna,  $S_f = 1,25$  talar därför för sig själv.

Man kompenserar för detta genom att rekommendera uppföljande provningar och kontroller. Det är därför av yttersta vikt att man följer utvecklingen av krypskadorna i ledningen redan under den från början utmätta tiden, för att undvika obehagliga överraskningar mot slutet av ledningens beräknade livslängd. Uppföljning av äldre ledningar görs också med replikmetod för att i tid upptäcka mikroskopiska krypskador i materialet innan dessa har hunnit leda till upptäckbara sprickbildningar. Replikuppföljningarna måste dock kompletteras med noggrann spricksökning, eftersom replikorna normalt tas på raksträckor, medan eventuella allvarliga skador uppträder där man har spänningskoncentrationer. Dessa undersökningar bör överlåtas till ett kvalificerat kontrollorgan med särskild kompetens för området.

Ångledning beräknade för krypning bör dessutom förläggas så att de vid eventuellt förekommande skador på dem ger upphov till så begränsade sekundärskador som möjligt. T.ex. att de dras i speciella kulvertar och inte fritt i lokaler där personal har anledning att uppehålla sig.

## **6 Särskilda rekommendationer beträffande sodapannans olika delar**

### **6.1 Överhettartuber**

Utsatta delar av överhettarna är dels de sista nederböjarna, dels utloppsdelarna av tuberna närmast under taket. I nederböjarna är ångtemperaturen lägre, men värmebelastningen högre, högre upp är ångan varmare, men läget mer skyddat mot strålning. Aktuella svetsar som kan bli utsatta är främst mellan nålarnas nedre böjar och raktuberna.

Även påsvetsade fenor löper stor risk för krypsprickor. Det som inträffat är att man med hänsyn till korrosionsrisken gjort fenorna i nickelbaslegering. Problemet är bara att nickelbaslegeringen har betydligt högre affinitet till kolet i legeringen och det är de findispersa karbiderna som konstituerar materialets kryphållfasthet. Det uppstår en kolutarmad zon, antingen i den värmepåverkade zonen ("HAZ") på tubsidan eller i svetsgodset och den kolutarmade zonen (precipitate free zone, PFZ) har betydligt lägre kryphållfasthet än intilliggande material. Man får en knivskarp inre spricka som följer smältgränsen och som återger smältgränsens topografi.

### **6.2 Överhettarens samlingslådor**

Överhettarens samlingslådor och utgående ångledning är de konstruktionselement i pannan som är utsatta för den högsta ångtemperaturen. Däremot är de belägna utanför eldstaden, så de är inte värmebelastade.

Överhettarlådorna riskerar dels deformation, dels sprickbildning i tubinsvetsningarna. Den delen av överhettarlådan som utgör det nedåtriktade tubborrade partiet riskerar att tubhålen blir ovala. Runt tubhålen får man en spänningskoncentrationsfaktor på tubhålets sida som

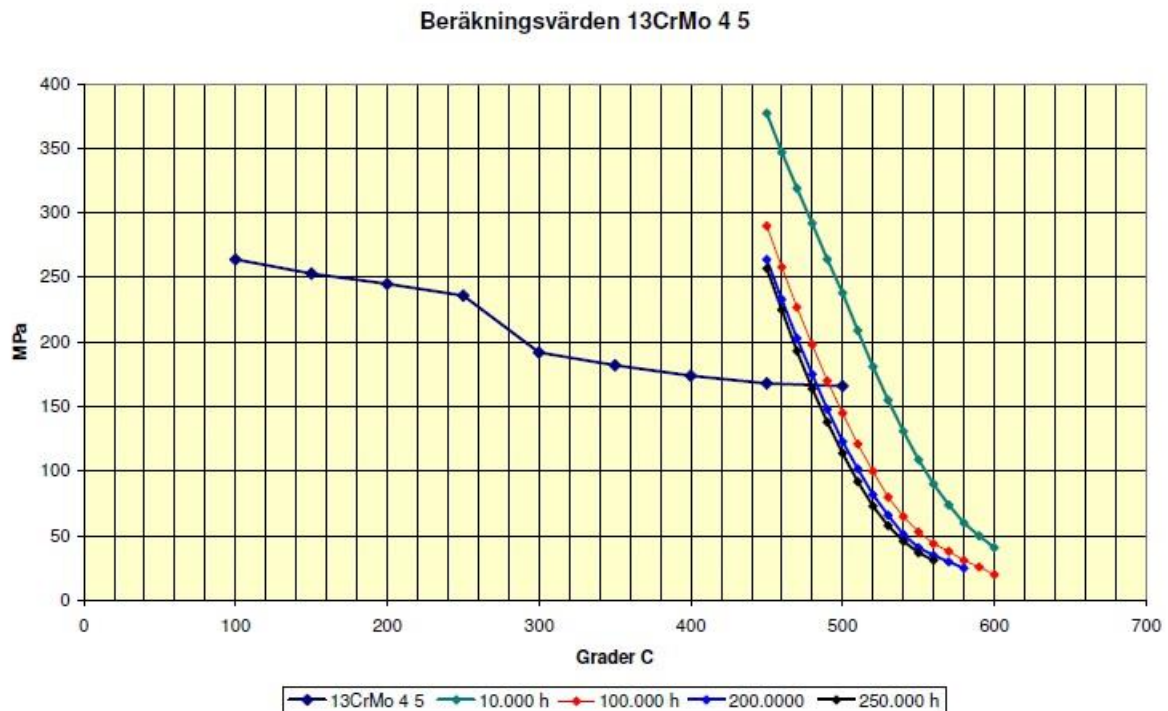
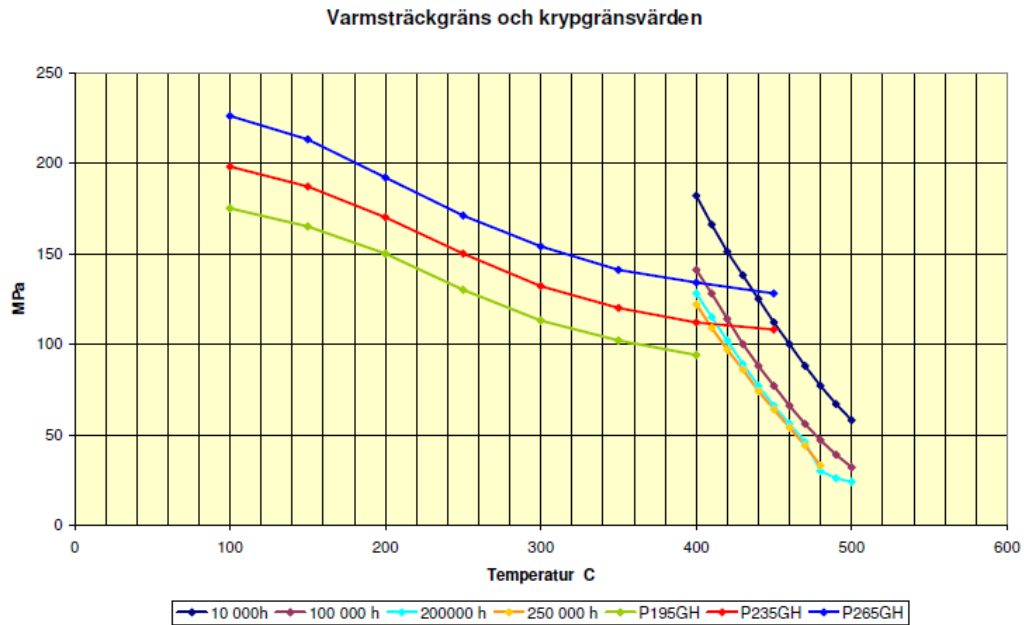
teoretiskt sett för oförstärkta hål är  $\eta = 2,0$ , dvs spänningen i tubhålet blir dubbelt så hög som spänningen i tubplåten runtomkring i den aktuella spänningsriktningen. Med en rad av närliggande tubhål blir den maximala spänningskoncentration ännu högre, samtidigt motverkas detta av att tubhålen förstärks, genom att anslutande tuber eller stutsar tar upp det mesta av spänningarna.

### 6.3 Ångledningar

För ångledningar är det främst rörböjar, T-stycken, byxningar och liknande som kan orsaka problem. Rörstöden är viktiga, dels överför de krafter på rörledningen, dels håller de rörledningen inom förutbestämda gränser. Rörstöd som lossnar kan bli orsak till skador på andra ställen av rörledningen.

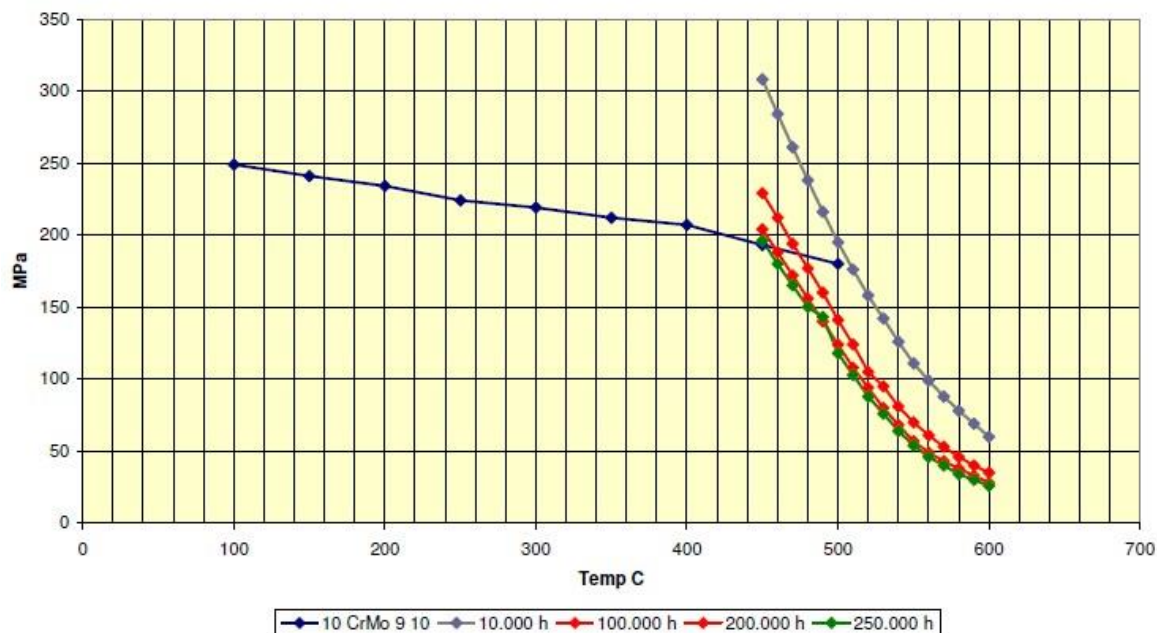
## Bilaga 1: Beräkningsvärden för stål vid förhöjd temperatur:

Beräkningsvärden: P195GH, P235GH, P265GH. Krypvärden endast för P235GH och P265GH.



Beräkningsvärden för varmhållfast stål typ 13 CrMo 4 5

10CrMo 9 10 Beräkningsvärden



Beräkningsvärden för stål 10CrMo 9 10

## Bilaga 2: Litteraturreferenser

### Värmeforsk rapporter (författare Jan Storesund):

766. Rekommendationer för optimering av svetsreparationer i kryppåkända ångsystem

885. Handbok för livslängdsarbete med energianläggningar; utgåva 2

980. Creep properties and simulation of weld repaired low alloy heat resistant CrMo and Mo steels at 540°C

1025. Cyklisk drift av kraftvärmeverk

779. Utvärdering av krypskadeutveckling med replikmetoden

978. Övåntade krypskador och/eller haverier orsakade av krypmekanismer under gränstemperaturen

1024. Livslängdsbedömning och reparation av blandsvetsskarvar, etapp 2

1027. Creep properties and simulation of weld repaired low alloy heat resistant CrMo and Mo steels at 540°C

1032. Stöd vid besiktning av anläggningar avseende krypning under gränstemperaturen

Handbok för livslängdsarbete med energianläggningar. Energiforsk rapport 2015:150

## Bilaga 3 Utdrag ur AFS 2016 -1, Tryckbärande anordningar

### 2.2.3 b: Hållfasthet

Hållfastheten hos den aktuella tryckbärande anordningen ska fastställas genom lämpliga konstruktionsberäkningar.

Speciellt gäller följande:

beräkningstrycket får inte vara lägre än det högsta tillåtna trycket, och hänsyn ska tas till fluidens statiska och dynamiska tryck liksom sönderfall av instabila fluider. Då en behållare består av olika, åtskilda rum under trycket, ska skiljeväggarna vara konstruerade med beaktande av det högsta möjliga tryck som kan förekomma i ett rum och det lägsta möjliga tryck som kan förekomma i rummet bredvid.

- beräkningstemperaturerna ska innefatta tillräckliga säkerhetsmarginaler.
- vid dimensioneringen ska alla möjliga kombinationer av temperatur och tryck som kan uppkomma under rimligen förutsägbara driftsförhållanden noggrant beaktas.
- de maximala spänningarna och spänningskoncentrationerna ska hållas inom säkra gränser.
- dimensioneringen mot inneslutet tryck ska baseras på tillförlitliga värden på materialegenskaperna som är grundade på klart bevisade data, med beaktande av bestämmelserna i punkt 4 liksom av tillräckliga säkerhetsfaktorer. De materialegenskaper som ska beaktas innefattar beroende på omständigheterna
  - sträckgränsen, 0,2 %, eller 1,0 %-förlängningsgränsen vid beräkningstemperaturen,
  - draghållfastheten,
  - hållfastheten som funktion av tiden, dvs. kryphållfastheten,
  - uppgifter om utmattningshållfastheten,
  - youngs modul (elasticitetsmodulen),
  - den nödvändiga plastiska formändringsförmågan,
  - energi vid slagprovning,
  - brottsegheten.
- lämpliga förbandsfaktorer ska tillämpas på materialegenskaperna beroende på t.ex. typen av oförstörande provning, materialegenskaperna i förbandet och de avsedda driftsförhållandena.
- vid dimensioneringen ska särskilt beaktas samtliga skademekanismer som rimligen kan förutses, (i synnerhet korrosion, krypning, utmattning), och som motsvarar den användning som anordningen är avsedd för. De instruktioner som avses i punkt 3.4 ska fästa uppmärksamheten på sådana konstruktionsförutsättningar som är avgörande för anordningens livslängd såsom
  - för krypning: det teoretiska antalet driftstimmar vid specificerade temperaturer,
  - för utmattning: det teoretiska antalet cykler vid angivna spänningsnivåer,
  - för korrosion: teoretiskt valt korrosionstillägg.