

Reaktortankars säkerhet

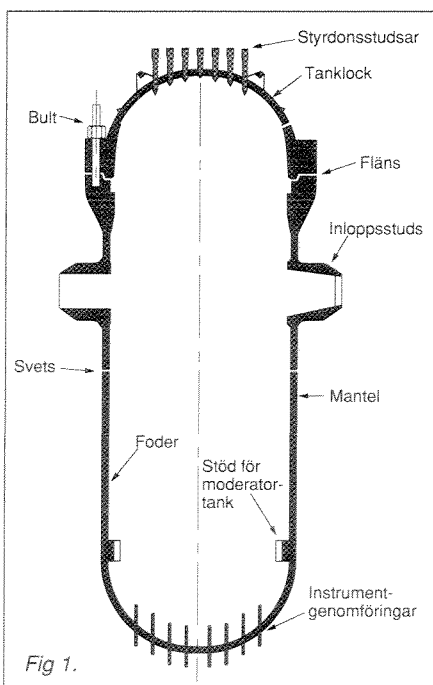
Kärnkraftsäkerheten i Sverige bygger på ett stort antal successiva skyddsnät - om ett brister vid en störning, finns andra där för att fånga upp förloppet och förhindra att det blir en olycka. Det sista skyddsnätet utgörs av reaktorinneslutningen med dess säkerhetsfilter, som förhindrar stora utsläpp till omgivningen vid ett eventuellt haveri.

Det finns emellertid några få händelser som skulle kunna slå ut samtliga skyddsnät, inklusive inneslutningen. Dessa händelser strider visserligen inte mot några naturlagar, men de bedöms som ytterst osannolika. De brukar betecknas som "restrisker".

En sådan restrisk är t ex en mycket stor jordbävning - kraftig nog att ödelägga en storstad. En annan restrisk är att reaktortanken brister på ett katastrofalt sätt. Vi skall nedan diskutera detta närmare.

Reaktortanken - en nyckelkomponent

Reaktortanken - eller reaktortryckkärlet - innehåller själva reaktorhärden med dess bränslestavar och kylvatten. I bränslet finns de radioaktiva ämnena som inte får komma ut. Kylvattnet leder bort värmen från bränslestavarna, så att de inte överhettas och smälter. Vid drift håller reaktortanken högt tryck och hög temperatur.



Ett grundläggande säkerhetskrav är att kylvattnet inte får gå förlorat. Vid t ex brott på en anslutande rörledning klarar nödkylsystemen att kompensera förlusten av kylvatten och förhindra bränslesmälta. Om däremot tanken skulle räna, räcker inte nödkylsystemen till.

Dessutom innehåller tanken en stor mängd upplagrad energi i form av hett vatten under högt tryck. Ett stort tankbrott skulle plötsligt frigöra denna energi i ett explosionsartat förlopp, som skulle kunna slå sönder inneslutningen och skapa fri passage för de radioaktiva ämnena från den smälta härden.

Man måste därför försäkra sig om att risken för tankbrott av detta slag är synnerligen liten.

Olika typer av brott

Ett katastrofalt brott innebär att en spricka plötsligt och spontant utbreder sig.

Materialets förmåga att motstå spricktillväxt kallas **brottseghet**. För tryckkärlsstål av det aktuella slaget är brottsegheten starkt beroende av temperaturen. Den är låg vid låga temperaturer (materialet är **sprött**) och hög vid höga (materialet är **segt**).

Övergången från sprött till segt beteende sker i ett snävt temperaturområde, vars början kallas **omslagstemperaturen**, se fig 2.

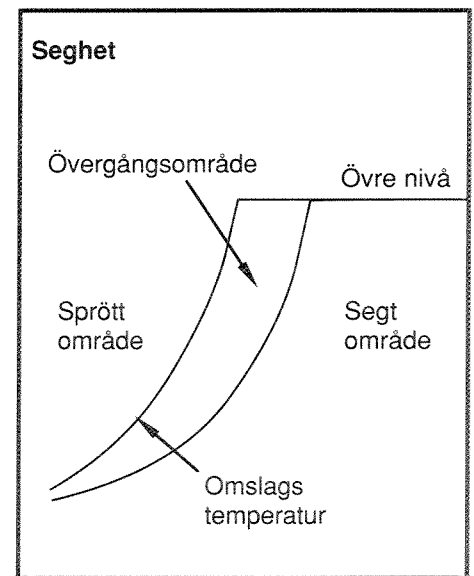


Fig 2.

Temperatur

Tryckkärlsstål karakteriseras av stor seghet vid hög temperatur och av låg omslagstemperatur. Moderna stål har (i obestrålat tillstånd) en omslagstemperatur omkring 0° C. Övergångsområdet omfattar ca 60° C. Reaktortankars normala driftområde ligger vid 280-315° C, alltså med god marginal i det sega området.

Spricktillväxt

Spricktillväxt utgår i praktiken från någon defekt som från början finns i mate-

rialet. Sådana små defekter finns alltid. De härrör från stålets framställning och bearbetning, och kan också uppstå under tillverkningen, framför allt vid svetsning.

"Transientbudget"

En befintlig spricka kan börja växa genom **utmattning**, som sker genom att tanken utsätts för varierande laster - ändring av tryck och temperatur vid start och avställning eller vid driftstörningar. Sådana förlopp är beaktade i konstruktionsberäkningarna. Reaktorn får en "transientbudget" för hela sin drifttid som inte får överskridas.

Ett annat fenomen som kan få sprickor att växa är **korrosion** under belastning.

I motsats till andra industriella tryckkärl är emellertid reaktortankar invändigt klädda med rostfritt stål som skyddar tryckkärlstålet mot kemiska angrepp.

Tillväxten av sprickor genom dessa processer sker långsamt, storleksordningen millimeter eller mindre per år. När sprickan nått en viss kritisk storlek ändrar tillväxten karaktär.

Befinner sig materialet i det spröda området, kan sprickan spontant rusa iväg så att tanken rämnar: vi talar då om **"instabil spricktillväxt"** och **"katastrofalt brott"**.

"Säkerhetsventil"

I det sega området däremot erfordras en ökande belastning för att sprickan skall växa ytterligare.

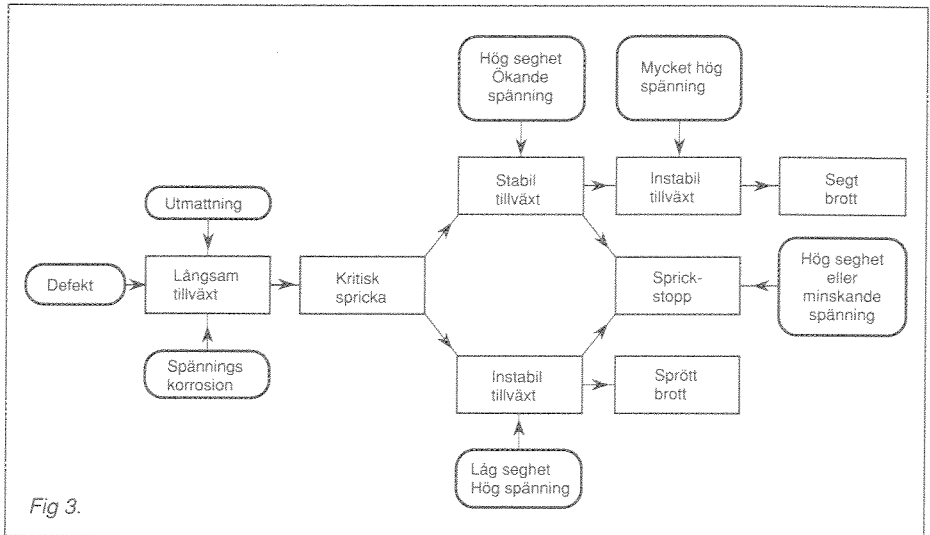
Om belastningsökningen avstannar, slutar sprickan att växa. Detta kallas **"stabil spricktillväxt"**.

Ett brott orsakat av stabil spricktillväxt kan till att börja med väntas ge begränsat läckage, som klaras av nödkylsystemen. Själva brottet skulle fungera som "säkerhetsventil", så att belastningsökningen avstannar.

Även en instabilt växande spricka kan stoppa upp innan den går till brott, t ex om den växer in i ett område där segheten är större (temperaturen högre) eller spänningen lägre.

Den kan också stanna om den träffar på en inhomogenitet i tanken, t ex en genomföring.

Bild 3 visar schematiskt hur olika mekanismer kan leda till olika slag av brott.



Den kritiska sprickstorleken beror av materialets brottseghet och spänningstillståndet. Den kan variera från ca 10 mm vid låg temperatur (låg seghet) och högt tryck (höga spänningar) till flera hundra mm vid normala driftförhållanden. Vi skall senare diskutera förutsättningarna att upptäcka sprickor innan de når kritisk storlek.

Omfattande försök har t ex gjorts i det amerikanska forskningsprogrammet HSST (Heavy Section Steel Technology), där modelltankar har provtryckts till brott.

För att vara på den säkra sidan tillämpar man stora marginaler till beräknade kritiska spricklängder. Ett exempel på brottmekaniska beräkningar ges i figur 4, som visar samband mellan brotttryck och temperatur för olika sprickstorlekar i den cylindriska delen av tanken till en tryckvattenreaktor.

Som synes är marginalen mot brott mycket stor vid normala driftbetingelser. En minskning av marginalen genom trycköverskridanden förhindras av säkerhetsventiler, vars öppningstryck ligger mellan drifttrycket och konstruktionstrycket.

Innan en reaktor tas i drift **provtrycker** man tanken. Denna utsätts då för tryck över konstruktionstrycket, och väsentligt över drifttrycket. Provtryckningen sker dessutom vid låg temperatur, där den kritiska sprickstorleken är betydligt mindre än vid drifttemperaturen.

Genom provtryckningen provocerar man alltså eventuella fel att visa sig. En genomgången provtryckning garanterar frånvaron av kritiska sprickor i den nya tanken.

Trots att drift inom den föreskrivna transientbudgeten skall förhindra oacceptabel spricktillväxt, fortsätter man att kontrollera tanken under hela dess livslängd.

Den viktigaste metoden är idag ultraljudsprovning. En kartläggning av

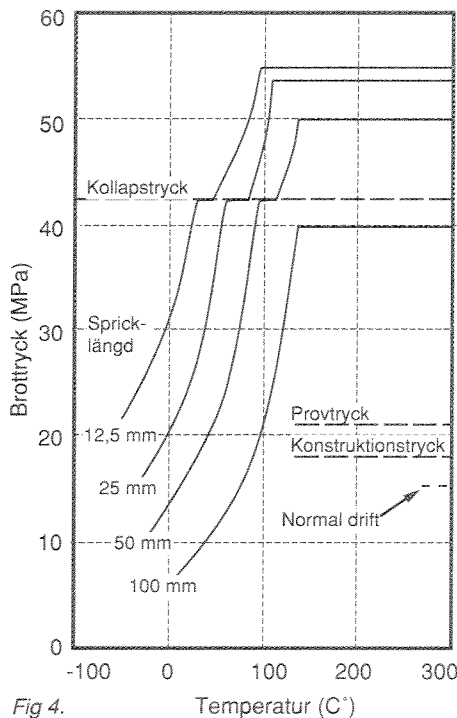


Fig 4.

Konstruktion, driftförhållanden, provning

Spricktillväxt och förutsättningar för brott under olika betingelser beräknas med brottmekaniska metoder, som prövats mot experiment.

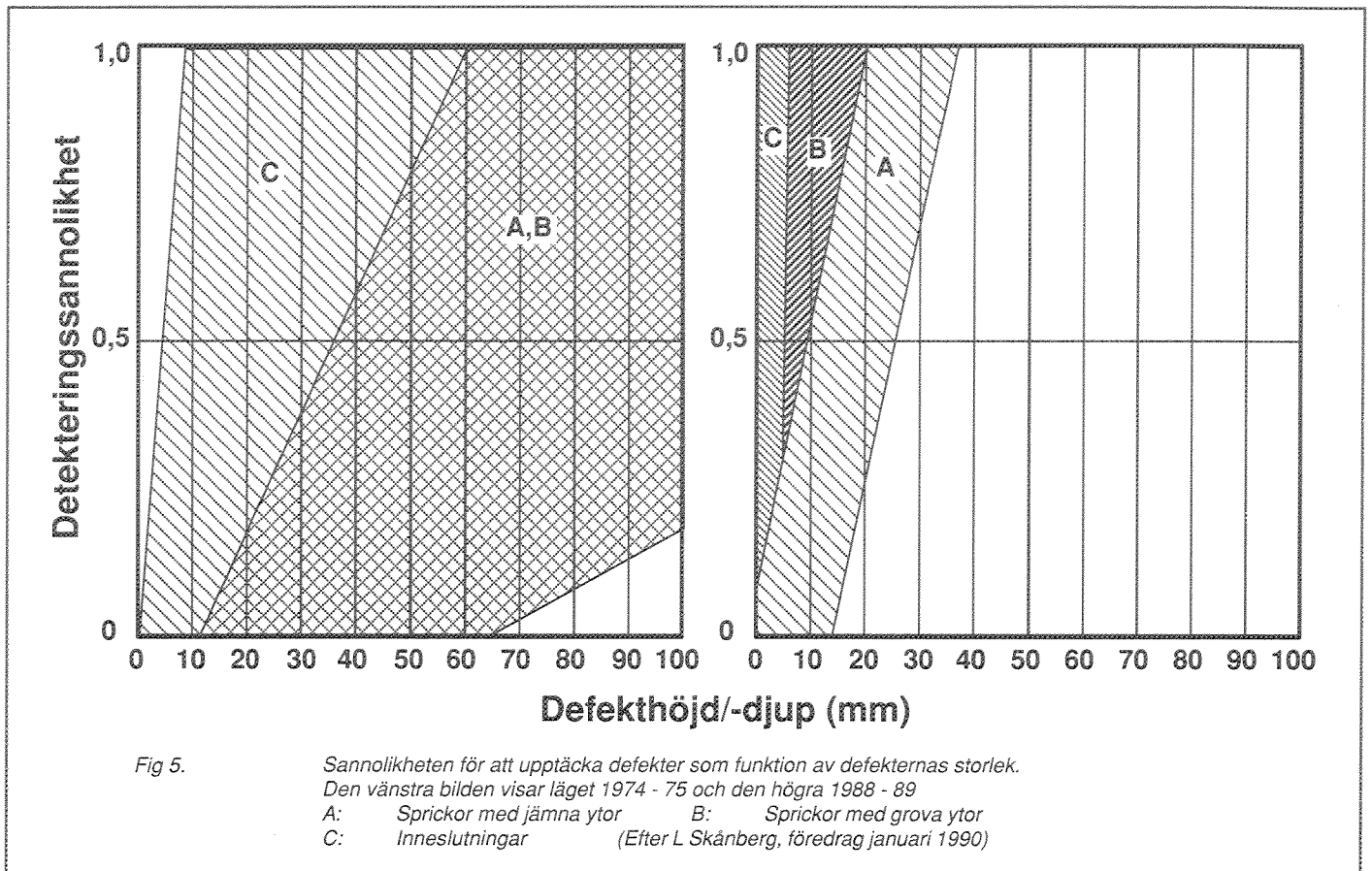


Fig 5. Sannolikheten för att upptäcka defekter som funktion av defekternas storlek. Den vänstra bilden visar läget 1974 - 75 och den högra 1988 - 89
 A: Sprickor med jämna ytor B: Sprickor med grova ytor
 C: Inneslutningar (Efter L Skånberg, föredrag januari 1990)

den nya tanken ger en referens för senare avsökningar, som görs vid reaktorns revisionsavställningar.

Provningskänsligheten har ökat under senare år, men det krävs fortfarande defektstorlekar på 5-35 mm, beroende på defekttyp, för att man skall vara någorlunda säker på att defekten upptäcks (se bild 5).

Resultatet beror i hög grad på provningspersonalens motivation och skicklighet. Ytterligare förbättringar eftersträvas.

Ett annat problem som man arbetar på att avhjälpa är att vissa delar av reaktortanken är svåråtkomliga för provning efter idrifttagningen.

- Sammanfattningsvis kan sägas att:**
- reaktortanken beräknas med experimentellt verifierade metoder och med hänsyn till åldringsprocesser.
 - konstruktion och driftförhållanden väljs med stora marginaler i förhållande till beräkningsresultaten.
 - provtryckning garanterar tankens hälsa före idrifttagningen
 - tanken kontrolleras under hela sin livstid.

Strålningens inverkan på reaktortanken

En omständighet som skiljer reaktortankar från konventionella tryckkärl är att materialet är utsatt för bestrålning med neutroner. Bestrålningen leder till att omslagstemperaturen successivt stiger och att brottsegheten vid hög temperatur samtidigt sänks (jfr fig 2). Detta kallas **bestrålningförsprödning**.

Förutom av den neutrondos som materialet utsatts för beror försprödningen av materialets sammansättning. Det har visat sig att halten av fosfor, nickel, och framför allt koppar har betydelse i sammanhanget. I moderna tankmaterial är halterna låga, medan äldre tankar kan kräva större uppmärksamhet.

Generellt är tryckvattenreaktorerna mer utsatta för strålningsförsprödning än kokarreaktorerna eftersom neutronintensiteten vid tankväggen är större.

Försprödningförloppet övervakas på ett framförhållande sätt genom att man vid idrifttagningen placerat ett antal provstavar mellan reaktorhärden och tankväggen. Dessa stavar är representativa för det material som ingår i

tanken. Neutron dosen i provpositionen är emellertid 2-3 gånger större än vid tankväggen. Med vissa tidsintervall tas provstavar ut ur tanken och undersöks med avseende på förändringen i brottseghet. Resultatet vid en viss tidpunkt visar det tillstånd i vilket tanken kommer att befinna sig vid 2-3 gånger så lång tid efter idrifttagningen.

Den enda svenska reaktortank för vilken man hittills uppmätt en avsevärd förändring, är den i Oskarshamn I, där kopparhalten är förhållandevis hög. Huruvida några åtgärder här behöver vidtas i framtiden kommer att visa sig vid nästa provstavsundersökning 1995.

Övriga svenska tankar förutses klara sin projekterade livslängd på 40 år utan åtgärder.

Det finns olika motåtgärder att tillgå vid för snabb strålningsförsprödning. Förloppet kan fördröjas genom att bränslet närmast tankväggen tas bort.

Vidare kan man genom ändrade driftvillkor förebygga att tanken belastas vid temperaturer där brottsegheten är låg.

Slutligen kan tankens ursprungliga egenskaper återställas genom glödning.

Hur stor är risken för tankbrott och vad blir följderna?

Det ligger i sakens natur att risken för tankbrott är svår att kvantifiera eftersom den är så liten. Under de nästan 4000 driftår som i början av 1990 uppnått med världens lättvattenreaktorer har ingen reaktortank havererat, men denna erfarenhet är helt otillräcklig för en bedömning av brottrisken.

För konventionella tryckkärl finns en betydligt större erfarenhet från bl a ångpannetekniken och den kemiska industrin. Statistiken visar att risken för brott i kraftverkspannor är mindre än 1 på 100 000 driftår.

Eftersom kraven på reaktortankar och deras kvalitet är strängare, gjorde man i den amerikanska Rasmussenstudien 1975 bedömningen att brottrisken är tio gånger mindre, dvs 1 på en miljon driftår.

Begreppet tankbrott måste emellertid nyanseras. Som framgått ovan måste man skilja mellan "stabila" brott med begränsad brottarea, och stora brott, då hela tanken rämnar. Det läckage som inträffar i det förra fallet bemästras av reaktorns nödkylsystem utan att härden skadas.

Bara i det senare fallet måste man räkna med att härden smälter. Men risken för ett sådant "katastrofalt" brott är framför allt förknippad med låg temperatur.

Om reaktorn är "kall" då brottet sker, är den upplagrade energin i tanken relativt liten, så att inneslutningen rimligen förblir intakt och skyddar omgivningen mot stora utsläpp.

Sannolikheten för katastrofalt tankbrott med åtföljande inneslutningsbrott uppskattades i Rasmussenstudien till 1 på tio miljoner driftår, med en osäkerhetsfaktor på 10. Detta värde har använts i de flesta senare säkerhetsstudier, inklusive dem som gjorts i Sverige.

Rasmussenstudien riskuppskattning fick stöd av den mycket ingående utredning som gjordes i Storbritannien 1983 inför beslutet att övergå från grafitmodererade gaskylda reaktorer till lättvattenreaktorer av tryckvattentyp. Stora tankbrott ansågs så osannolika att de inte behövde beaktas vid utformningen av säkerhetsanordningarna.

En liknande ståndpunkt intogs av de svenska myndigheterna 1986, då risken för tankbrott hänfördes till "restriskerna".

Evelyn Sokolowski

Denna Bakgrund bygger på en KSU-rapport (1990-02-12) av civ.ing. Bengt Pershagen, tidigare chef för reaktoravdelningen vid Studsvik Energiteknik AB och författare till boken "Light Water Reactor Safety", Pergamon Press 1989.

KärnkraftSäkerhet & Utbildning AB (KSU) ägs av de svenska kraftföretagen **Forsmarks Kraftgrupp, OKG, Sydkraft och Vattenfall**. Här drivs säkerhetsfrågor som lämpar sig för en samordnad insats från ägarföretagen. Främst gäller det utbildning av kontrollrum-soperatörer i fullskalesimulatorer vid huvudkontoret i Nyköping.

KSU utvärderar också inträffade störningar såväl i Sverige som utomlands. Stockholmskontoret är den svenska länken i det internationellt organiserade systemet för utbyte av drifterfarenheter (World Association of Nuclear Operators, WANO).

Erfarenheterna läggs även till grund för samhällsinformation om kärnkraftsäkerhet. Det senare sker efter granskning av en särskild analysgrupp.

Analyisgruppen

Göran Apelqvist, Utveckling/Miljö, Vattenfall
Arto Hamberg, ABB Atom AB
Ingemar Lindholm, Sv Kärnbränslehantering AB
Anders Pechan, red sekr
Agneta Rising, Vattenfall, Ringhalsverket
Evelyn Sokolowski, KSU
Lars Thuring, Sydkraft
Gunnar Walinder, Patologi/riskforskning S L U
Carl-Erik Wikdahl, Energiforum AB