

Kärnkraftverkens tekniska livslängd

Med teknisk livslängd för ett kärnkraftverk menas den tid under vilken anläggningen uppfyller kraven på säker och ekonomisk drift. Den tekniska livslängden har ibland förväxlats med något helt annat, nämligen avskrivningstiden som för de svenska verken är 25 år. Den uppnåbara tekniska livslängden är väsentligt längre.

Teknisk livslängd är inget statistiskt begrepp - förutsättningarna ändras med tiden. Förändringar i de ekonomiska villkoren har samverkat till att öka kostnadsutrymmet för genomgripande förbättringar och reparationer i befintliga kärnkraftverk. Detta faktum, i kombination med tekniska framsteg, gör att omvärderingar mot ökad livslängd är befogade.

Det tekniska åldrandet, så som det avspeglas i drifttillgängligheten, följer hitintills ungefär samma förlopp i kärnkraftverken som fossilkraftverken. De senare har erfarenhetsmässigt en livslängd på upp till 40 år. Någon entydig åldersbetingad ökning i underhållskostnader för kärnkraftverk har ännu inte konstaterats t ex i USA, som har de äldsta lättvattenreaktorerna.

De svenska reaktorerna intar en internationellt ledande plats i fråga om driftresultat och säkerhetsbedömning, vilket har relevans för den uppnåbara livslängden.

Då den långsiktiga bedömningen av ett lands energiförsörjning normalt baseras på en realistisk bedömning av produktionsanläggningarnas livslängd, har många länder satt igång omfattande utredningar om denna fråga. I USA undersöker energidepartementet och kraftindustrin gemensamt förutsättningarna för att ytterligare förlänga kärnkraftverkens nu gällande drifttillstånd på 40 år.

Frankrike har nyligen officiellt uppvärderat den bedömda livslängden från 30 till 40 år. Japan förutsätter en livslängd på 30 år för tryckvatten- och 40 år för kokvattenreaktorer, men undersöker nu förutsättningarna för en förlängning. I Storbritannien bedöms livslängden för de nya tryckvattenreaktorerna bli 40 år.

1. Vad är teknisk livslängd?

Den tekniska livslängden för ett kärnkraftverk är den tid under vilken verket uppfyller alla krav på säker och ekonomisk drift. Detta innebär att de underhålls- och reparationsåtgärder som krävs för att upprätthålla säkerhet och drifttillgänglighet måste vara lönsamma. Lönsamheten bestäms i sin tur av kostnaden för alternativen.

Detta visar att lönsamheten inte är något statistiskt begrepp, utan att dess förutsättningar kan ändras med tiden: säkerhetskraven kan ändras, liksom tekniken för och behovet av reparationer. Också kostnaden för ersättningsanläggningar kan förändras. Utvecklingen i dessa avseenden behandlas närmare i avsnitt 2.

Redan vid konstruktionen måste man givetvis ha vissa krav på anläggningens brukbarhet. För många nyckelkomponenter ingår en specificerad minsta livslängd i konstruktionsvillkoren. En första pessimistisk bedömning av anläggningens minsta rimliga livslängd ligger till grund för den avskrivningstid som används i den ekonomiska kalkylen.

Avskrivningstiden, som för de svenska verken är 25 år, benämns ibland, helt oegentligt, "ekonomisk livslängd".

Detta har lett till förväxling med den uppnåbara tekniska livslängden, som man kan utgå ifrån är väsentligt längre. Ju mera den tekniska livslängden överskrider den ekonomiska, desto lönsammare blir anläggningen.

En försiktig realistisk bedömning av den tekniska livslängden läggs normalt till grund för all långsiktig planering av energiförsörjningen. Den preliminära uppskattningen revideras då succesivt med hänsyn till utvecklingstendenser och erfarenheter. I flertalet kärnkraftländer har omvärderingar mot ökad teknisk livslängd gjorts de senaste åren, vilket belyses närmare i avsnitt 4.

2. Utvecklingstendenser och erfarenheter

Med tanke på den snabba teknisk-ekonomiska utvecklingen är det viktigt att tekniska frågor ses i ett dynamiskt sammanhang. Detta avsnitt behandlar de utvecklingstendenser som är av betydelse för bedömningen av teknisk livslängd.

Ekonomiska villkor

En grundläggande skillnad i kostnadsstrukturen mellan kärn- och fossilkraftverk är att bränslekostnaden spelar en relativt underordnad roll i de förra.

Långsiktigt stigande bränslepriser ökar därför ett kärnkraftverks konkurrenskraft under dess livstid. Detta förhållande förstärks av att energiuttaget per mängd kärnbränsle kan göras allt större.

Byggkostnaden för nya elproduktionsanläggningar av alla slag har ökat mycket kraftigt i fast penningvärde. Det gäller såväl kärn- som fossilkraftverk.

Alla dessa faktorer samverkar till att öka det ekonomiska utrymmet för genomgripande förbättringar och reparationer i befintliga kärnkraftverk.

Den stora marginalen i förhållande till nya anläggningar illustreras av att den totala elproduktionskostnaden i Oskarshamn I och II år 1986 var 12,0 öre per kWh, vilket skall jämföras med över 30 öre per kWh för nya kolkraftverk.

Detta skulle ge utrymme för en "reparationsfond" för Oskarshamn I på 600 MSEK per år.

Förbättrad teknik

Parallellt med denna utveckling har framsteg gjorts i underhålls- och reparationsteknik. Metoderna för tidig diagnostisering av fel har förbättrats, och underhållet av anläggningarna får alltmera förebyggande karaktär, vilket minskar antalet akuta driftstörningar. Förutsättningarna för reparationer i radioaktiv miljö har förbättrats genom framsteg på dekontaminerings- och fjärrstyrningsområdet. Den senaste generationens kärnkraftverk har en lay-out som underlättar reparationer och komponentbyten.

All teknisk utrustning är utsatt för normalt åldrande, t ex förslitning, utmattning och långvarig inverkan av olika miljöfaktorer. Därutöver kan oväntade fel uppstå på grund av olämpliga konstruktioner, materialval och driftbetingelser. Om uppkomstmekanismerna klarläggs, kan sådana fel undvikas genom val av lämpligare parametrar, varför felen snarare skall betecknas som barnsjukdomar än åldersfenomen.

Några av de mest betungande felen i kärnkraftverken kan hänföras till denna kategori, t ex korrosionen i tryckvattenreaktorernas ånggeneratorer och interkristallin spänningsskorrosion i kokarreaktorernas primärsystem. I båda fallen har omfattande komponentbyten måste företas.

Ett exempel är de pågående ånggeneratorbytet vid Ringhals 2, som beräknas kosta 1.2 miljarder kronor. Enligt Energiverkets "Tvåreaktorutredning" kommer ånggeneratorbytet att ha betalat sig på 6 år. Erfarenhet och forskning har emellertid ökat kunskapen, så att man inte behöver räkna med dylika stora reparationer som återkommande inslag i drifhistorien.

Konsoliderad säkerhetssyn

Driftbetingelserna för kärnkraftverken har tidigare påverkats av att säkerhetskraven succesivt skärpts, vilket har lett till förbättringsåtgärder i efterhand i äldre verk. Denna utveckling kulminerade internationellt efter TMI-olyckan 1979, och tycks nu ha nått en konsolideringsfas.

En bidragande orsak till den lugnare utvecklingen är att förutsättningarna för systematisk, kvantitativ säkerhetsanalys (Probabilistic Safety Analysis, PSA) har förbättrats, så att det har blivit möjligt att ange övergripande mål för säkerhetsarbetet och att identifiera och succesivt eliminera svaga punkter i säkerhetsutformningen.

Individuella PSA-analyser har genomförts för de flesta kärnkraftverk i Väst. Säkerhetsstandarden har visat sig variera avsevärt mellan olika anläggningar, vilket är särskilt framträdande i USA. Även om nya, generella säkerhetskrav av genomgripande art inte är att vänta, kommer sannolikt stora krav att riktas mot de säkerhetsmässigt sämsta verken. I några fall kan detta leda till förkortad teknisk livslängd.

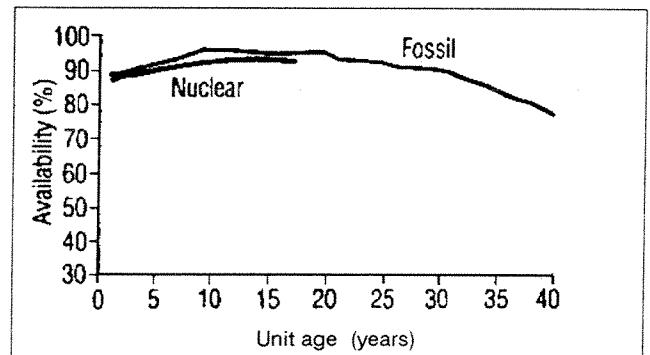
I motsats till vad som ibland varit fallet i t ex USA, har de svenska kärnkraftverkens drift inte störts nämnvärt av de successivt skärpta säkerhetskraven. Detta kan återföras till förutseende i konstruktion och driftsätt, och inte minst på smidiga relationer mellan kraftföretag, tillverkare och myndigheter.

I flera avseenden har Sverige varit ledande i fråga om säkerhetsutveckling, vilket återspeglas i PSA-analysernas låga riskvärden för samtliga svenska aggregat.

Drifterfarenhet

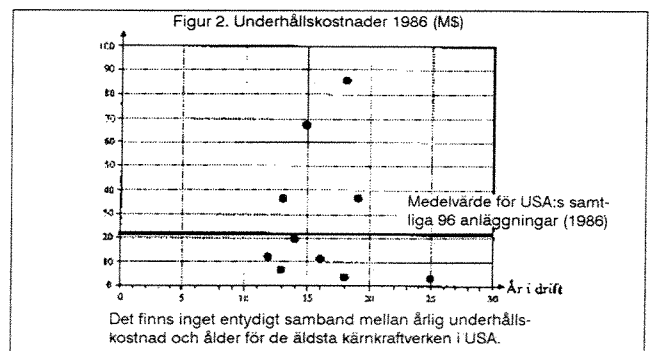
De första kommersiella lättvattenreaktorerna togs i drift i USA i början på 1960-talet. I enstaka fall finns alltså erfarenhet av nära 30 års drift, men flertalet verk har gått kortare tid. En del erfarenhet kan tillgodoräknas från fossileldade kraftverk. För dessa har (i USA) den tekniska livslängden varierat mellan 30 och 40 år. Det är då att märka att anledningen till nedläggningarna inte varit tekniska problem utan överspelad teknik (t ex dålig bränsleutnyttning) och därav följande olönsamhet. Förändrade ekonomiska villkor tenderar nu att uppskjuta nedläggningarna.

En anläggnings tekniska åldrande avspeglas i drifttillgänglighetens variation med tiden. För koleldade baslastverk i USA, med en teknisk livslängd på 40 år, når tillgängligheten ett maximum efter 15-20 år, varefter den långsamt avtar. Rensas statistiken från planerade driftavbrott (på grund av ändrade miljö- och säkerhetskriterier och, för kärnkraftverk, bränslebyten), uppvisar de amerikanska kärnkraftverken hittilldags samma åldringmönster som kolkraftverken. Se fig 1.



Figur 1. Energittillgänglighet för fossil- och kärnkraftverk i USA, med hänsyn tagen endast till oplanerade driftavbrott.

Någon entydig åldersbetingad ökning av underhållskostnaderna har inte konstaterats för USA:s kärnkraftverk (fig 2). Spridningen mellan olika verk och år är mycket stor, oavsett ålder.



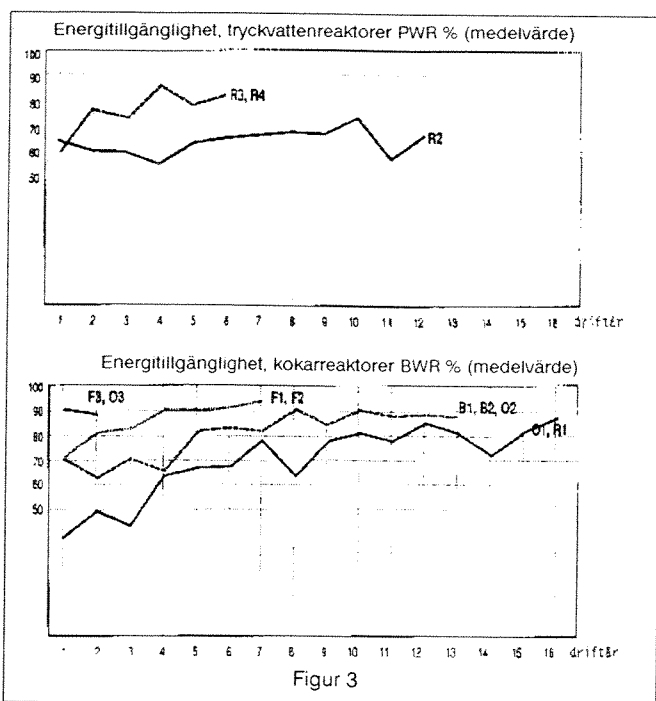
Det finns inget entydigt samband mellan årlig underhållskostnad och ålder för de äldsta kärnkraftverken i USA.

Den äldsta i drift varande kommersiella lättvattenreaktorn är tryckvattenreaktorn Yankee Rowe i USA på 167 MW, som gått i 27 år. Energittillgängligheten var för 1986 94.3%, och för verkets hela kommersiella livstid 71.9%. Detta är utomordentligt goda resultat.

Energittillgängligheten definieras som förhållandet mellan den energi som verket i praktiken kunde producera under en viss tidsperiod, och den teoretiskt möjliga energiproduktionen.

Goda driftresultat i Sverige

För de olika generationerna svenska kärnkraftverk visas energitillgänglighetens variation med tiden i fig 3. (De planerade driftavbrotten är i detta fall medräknade).



Tendensen med stigande tillgänglighet de första 10-15 åren ses även här, och särskilt kokvattenreaktorerna har i stort sett nått det teoretiska maximivärdet. Det ligger väsentligt över det internationella medelvärdet för lättvattenreaktorer, som är ca 68%. Någon nedgång har ännu inte förmärkts.

Det kan vara värt att notera att den växande erfarenheten har lett till en förbättring för varje reaktorgeneration.

3. Eventuellt livstidsbegränsande komponenter: reaktortanken

Med nuvarande teknik och ekonomiska villkor kan så gott som alla komponenter och system i ett kärnkraftverk repareras eller bytas ut.

Några komponenter måste emellertid ägnas särskild uppmärksamhet för att säkerställa att de inte blir begränsande för verkets tekniska livslängd - det gäller främst byggnaden, inneslutningen och reaktortanken.

För de två första finns lång erfarenhet från konventionell byggnadsteknik. Reparationsmöjligheterna är betydande. Redan tidigt i drifhistorien börjar en systematisk övervakning med avseende på åldringstendenser.

Reaktortankar skiljer sig från konventionella tryckkärl främst genom att de är utsatta för neutronbestrålning. Denna gör att tankmaterialet långsamt förspredas, så att det efter lång tid kan uppstå risk för tankbrott.

Tankmaterialet är sprött endast vid låg temperatur. I en obestrålad tank ligger "omslagstemperaturen" mellan segt och sprött beteende kring, eller t o m under, 0°C, vilket aldrig uppnås under driften. Bestrålningen gör att omslagstemperaturen sakta kryper uppåt. Gränsen för det tillåtna sätts av de temperaturer som kan nås i vissa extrema driftsituationer då tanken kyls ned vid bibehållet högt tryck (pressurized thermal shock).

Fenomenet kan vara av betydelse framför allt i tryckvattenreaktorer, där strålningsintensiteten är större än i kokreaktorer.

Försprödningsförloppet kan förutsägas, och - ännu viktigare - det observeras kontinuerligt och med betydande framförhållning. Detta sker genom att ett antal representativa provstavar finns placerade mellan tankens innervägg och reaktorhärden. Stavarna är där utsatta för ca tre gånger intensivare strålning än själva tankväggen, vilket är ekvivalent med en i motsvarande grad längre bestrålningstid. Laboratorieundersökningar, som med jämna mellanrum görs på dessa stavar, visar om processen följer det förutsagda förloppet.

Internationellt har det i några fall observerats en oväntat snabb försprödning. Det har rört sig om tankar med ovanlig materialsammansättning eller driftmiljö. Ett exempel har varit de ryskbyggda tryckvattenreaktorerna i Loviisa, Finland. I en sådan situation står flera motåtgärder till buds.

Försprödningen kan fördröjas genom omflyttning av bränslet i reaktorhärden. Snabb nedkylning av reaktorn kan förhindras genom att hålla kylvattenreserverna uppvärmda. I USA pågår också utvecklingsarbete som syftar till att kunna glödgå ut förändringarna i tankmaterialet och sålunda "nollställa" det.

Hittillsvarande analyser för de svenska reaktortankarna och de motåtgärder som finns att tillgå vid ett eventuellt påskyndat försprödningsförlopp, bekräftar det ursprungliga konstruktionsvillkoret att tankarnas livslängd är minst 40 år.



4. Internationella bedömningar

USA (drygt 100 lättvattenreaktorer i drift)

I USA omfattar drifttillstånden 40 år. Tiden räknades ursprungligen från beviljandet av byggnadstillståndet, men då byggtiderna i USA ibland blivit extremt långa - upp till 15 år - har myndigheterna medgivit att påbörjad fulleffektdrift tas till utgångspunkt.

Många amerikanska reaktorer erhöll sitt drifttillstånd i slutet av 60-talet och början av 70-talet. För dessa reaktorer, ca 50 st, löper tillstånden ut mellan åren 2005 och 2015, vilket kan innebära en omvälvning i den amerikanska kraftförsörjningen. Det finns tre alternativ, och valet mellan dem måste träffas de närmaste åren. De gamla kärnkraftverken kan komma att:

- ersättas med kolkraftverk
- ersättas med nya kärnkraftverk
- få sin 40-åriga licens ytterligare förlängd.

Mycket talar för det sista alternativet, varför US Department of Energy (DOE), i samarbete med kraftindustrin och myndigheterna, 1985 startade ett omfattande projekt (kostnad ca 200 MSEK/år) för att klargöra förutsättningarna för en förlängning av reaktorernas livslängd (Light Water Reactor Plant Lifetime Improvement Program).

En pilotstudie har genomförts på två representativa anläggningar, en tryck- och en kokvattenreaktor.

Man har studerat eventuellt livslängdsbegränsande komponenter, reaktortanken och dess interna delar, inneslutningen m m, med avseende på den återstående "säkra" livslängden. Vidare har man kartlagt och kostnadsberäknat framtida underhållsinsatser och eventuella ersättningsbehov.

Slutsatsen av denna pilotstudie är att inga betydande ("major") hinder föreligger för att driva dessa anläggningar "väsentligt längre" än de ursprungligen förutsedda 40 åren. Emellertid understryks vikten av att genom fortsatt utvecklingsarbete minska osäkerheten i livslängdsbedömningen för vissa komponenter.

Då det i USA tar ca 12 år att planera, bygga och driftsätta nya kraftverk, måste det definitiva beslutsunderlaget finnas framme senast 1993. DOE har beräknat att en förlängning av de berörda reaktorernas livslängd till år 2030 kan ge en nettobesparing på 200-400 miljarder dollar. För att kunna konkurrera måste alternativen kunna byggas till en kostnad av ca 300 dollar/installerad kW(e). Ingen idag känd teknik uppfyller detta krav.

Frankrike (45 tryckvattenreaktorer i drift)

Det statliga kraftföretaget Electricité de France initierade 1985 ett 4-årigt projekt, benämnt "Livslängd", i syfte att tekniskt-ekonomiskt optimera de franska lättvattenreaktorernas livslängd. Inom ramen för projektet analyseras de nyckelkomponenter, för vilka större reparationer eller utbyte inte är inplanerade i det normala underhållet. Bland dessa komponenter är huvuddelarna av primärsystemet (reaktortank, ånggeneratorer, tryckhållare), inneslutningen, elektriska installationer (kablar) och turbingeneratorn.

Grundförutsättningen för projektet har varit att livslängden ligger mellan 25 år (den genomsnittliga avskrivningstiden) och 50 år (bortom vilken gräns bedömningar idag inte betraktas som meningsfulla).

Efter två års arbete har man kommit fram till att det inom ovan angivna ram inte finns någon praktisk begränsning av livslängden för reaktortank och inneslutning. För vissa andra nyckelkomponenter, såsom ånggeneratorerna, kan ett byte bli aktuellt under ett kraftverks livstid.

Den ursprungligen antagna tekniska livslängden för kärnkraftverken - 30 år - har nu officiellt reviderats upp till 40 år, vilket lett till att den planerade utbyggnadstakten kunnat minskas.

Japan (16 tryckvatten-, 18 kokarreaktorer i drift)

Enligt det japanska Naturresurs- och energidepartementet (ANRE) och Ministeriet för internationell handel och industri (MITI) kommer lättvattenreaktorer att spela en framträdande roll i landets elförsörjning åtminstone fram till mitten av 2000-talet. Sålunda planeras en sexdubbling av installerad effekt från lättvattenreaktorer, till ca 130 GW(e), fram till år 2040. Mot denna bakgrund utgör verkens tekniska livslängd en nyckelfråga i den japanska energipolitiken.

Idag är den licensierade livslängden 30 år för tryckvatten- och 40 år för kokvattenreaktorerna.

Det är emellertid klart utsagt i kärnenergilagen att detta bygger på erfarenhet från fossileldade verk, och att tillämpningen på kärnkraftverk innebär en betydande osäkerhet.

Därför initierade de ovannämnda myndigheterna, i samarbete med kraftindustrin, 1985 ett projekt för att utvärdera den internationella erfarenheten av åldringsfrågorna och kartlägga förutsättningarna för en förlängning av lättvattenreaktorernas tekniska livslängd.

Projektet väntas pågå i 8 år. I den avslutade första fasen har man studerat de komponenter som anses spela en nyckelroll för den tekniska livslängden, nämligen reaktortanken, inneslutningen och den elektriska installationen. Utvecklingen av tillförlitliga predikteringsmetoder för åldringsfenomen och återstående livslängd intar en central plats i projektet. Vikten av fortsatt internationellt samarbete understryks.

England

I Storbritannien gav regeringen 1987 klarsignal för en övergång från grafitmodererade, gaskylda reaktorer till lättvattenreaktorer av tryckvattentyp.

I den omfattande statliga utredning som föregick beslutet, och som hade direktiv att belysa såväl de säkerhetstekniska som de ekonomiska aspekterna, bedömdes den tekniska livslängden för den aktuella tryckvattenreaktorn bli 40 år.

Finland, Schweiz, Sverige och Västtyskland

Det schweiziska konsultföretaget Electrowatt Engineering Services Ltd framlade 1987 en undersökning av förutsättningarna att förlänga livslängden hos europeiska kokarreaktorer. Undersökningen omfattade reaktorer i Sverige, Finland, Västtyskland och Schweiz.

Slutsatsen är att man kan räkna med en livslängd på 40 år utan stora problem, främst beroende på de berörda kraftföretagens policy för provning och underhåll. Policyn innebär bl a att korrekta åtgärder sätts in på ett tidigt stadium och att förebyggande underhåll prioriteras.

Att idag ta ställning till livslängder över 40 år ansågs emellertid som föga meningsfullt.

Rapporten är framtagen av analysgruppen vid KSU, i samarbete med experter inom den svenska kraftindustrin och internationella organisationer.

Evelyn Sokolowski står gärna till förfogande för ytterligare information.

Analysgruppen

Göran Apelqvist, Vattenfall
Ingemar Lindholm, Sv Kärnbränslehantering AB
Anders Pechan, red sekr
Agneta Rising, Vattenfall, Ringhalsverket
Evelyn Sokolowski, KärnkraftSäkerhet & Utbildning KSU
Lars Thuring, Sydkraft
Gunnar Walinder, Patologi & riskforskning SLU
Carl-Erik Wikdahl, EnergiForum AB