



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Författare: Rolf Sjöblom
Anna Cato
Staffan Lindskog

2012:64

Finansiella aspekter vid avveckling
av kärnkraftverk (BWR)

Abstrakt

I denna rapport behandlas hur framtagna beräkningar av framtida kostnader för avveckling av kärnkraftverk (BWR) kan valideras. Den metod för validering som berörs är en parametrisk metodansats. Denna behandlas med utgångspunkt på den planering som görs på Barsebäcksverket rörande rivning av reaktorerna B1 och B2.

Syftet med rapporten

I föreliggande studie behandlas en alternativ metod för att beräkna den totala miljöskulden rörande rivning och avveckling av kärnreaktorer. Den metodansats som analyseras är lämplig för bedömning av reliabilitet i de rivningsstudier som de svenska reaktorägarna utför vart tredje år. Rapporten som är deskriptiv till sin karaktär visar på frågor som är väl lämpade att bedrivas som myndighetsstöd. Resultatet av projektet kan lämna ett positivt bidrag till att uppnå mera rättvisande skattningar av de framtida kostnaderna för rivning och avveckling av svenska kärnkraftverk (BWR).

Resultat för SSM:s verksamhet

I studien presenteras i vilka situationer som en parametrisk ansats är tillämplig. Resonemang sätts in i en autentisk kontext genom att referenser görs till de förberedande aktiviteter som idag genomförs vid Barsebäcksverket. En tentativ slutsats är att den valda metoden är lämplig för att göra uppskattningar av de framtida kostnader för avveckling för kärnkraftverk som fortfarande är i drift. En fördel med metoden är att den är kostnadseffektiv, men en nackdel är att det krävs utveckling av databaser med referenskostnader.



Strål
säkerhets
myndigheten

Swedish Radiation Safety Authority

Arbetsgrupp: Rolf Sjöblom, Anna Cato och Staffan Lindskog

2012:64

Finansiella aspekter vid avveckling
av kärnkraftverk (BWR)

Datum: Juni 2012

Rapportnummer: 2012:64 ISSN:2000-0456

Tillgänglig på www.stralsakerhetsmyndigheten.se

Denna rapport har tagits fram på uppdrag av Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM. De slutsatser och synpunkter som presenteras i rapporten är författarens/författarnas och överensstämmer inte nödvändigtvis med SSM:s.

Innehåll

1. Bakgrund	5
1.1. Kärnkraften i Sverige	5
1.2. Kostnadskalkyler för kärnkraftverk i Sverige	6
2. Syfte och uppdrag	8
3. Internationellt perspektiv	9
3.1. Metoder för kalkylering av kostnader	9
3.2. Kostnadskalkyler för rivning av kärnkraftverk	10
3.3. Erfarenheter från Kalifornien	11
4. Barsebäcksverket	14
4.1. Bakgrund	14
4.2. Kostnadskalkyler	14
4.3. Kostnadsdrivande faktorer	15
5. Diskussion och slutsatser	18
Tack	21
Referenser	22
Bilaga A. Parametrisk metodik	24
A.1 Inledande exempel	24
A.2 Om själva metodiken	25
Bilaga B. Rekommendationer från expertgruppen i Kalifornien	27

Sammanfattning

Kärnkraftverk måste ställas av och rivras efter det att de tjänat ut. Detta innebär kostnader, och för finansiering av dessa tillämpar Sverige idag ett system med segregerade fonder. Inbetalningarna till fonderna styrs av uppskattningar av de framtida kostnaderna, vilka görs vart tredje år.

Nyligen har vissa skillnader observerats mellan olika uppskattningar av de framtida kostnaderna för BWR reaktorerna i Barsebäck. Därför har tillsynsmyndigheten, som är Strålsäkerhetsmyndigheten, tagit initiativ till föreliggande studie som har till syfte att söka bestämma orsakerna. Arbetet innefattar såväl generella avvikelser i kostnadskalkyler som sådana avvikelser som är specifika för verken i Barsebäck.

Det konstaterades att de variationer som observerats ligger inom det intervall som redovisats i den internationella litteraturen, men möjligheter till förbättrade kalkyler har också tydliggjorts. Inga nya kostnadshöjande faktorer för reaktorerna i Barsebäck. Det konstaterades att tunga internationella organisationer som arbetar med kostnadskalkyler rekommenderar parametriska metoder för kalkyleringar i tidiga skeden, medan kostnadsuppskattningar för nedläggning av kärnkraftverk oftast baserar sig på uppbyggnadsmetoden ("bottom-up" metoden). Det föreslås att tillämpning av någon form av parametriska metoder bör vare ett naturligt inslag i analys, värdering och beslut om kompletteringar av dagens svenska kostnadsstudier av avvecklingskostnader för KKV och andra kärntekniska installationer (eller motsvarande anläggningar som använts i det svenska kärnkraftsprogrammet).

Summary

After their service life is over, nuclear power plants must be decommissioned. Accordingly, Sweden has a system with segregated funds to cover the costs. Payments to the funds are dictated by the results of recurrent cost estimates.

Recently, differences have been observed between different estimations for the two permanent shut-down BWR:s at the Barsebäck site. Therefore, the Swedish Radiation Safety Authority, who oversees the system, has commissioned the present study with the objective to investigate the reasons. The work comprises analyses of generic deviances as well as specific ones.

It was found that the variations are within the ranges observed elsewhere, but that the precision in comparisons between different reactors can be improved. No new cost raisers were identified for the two reactors. It was found that the cost estimation community strongly recommends the parametric method for early estimates whilst the cost calculations on decommissioning are mostly based on the bottom-up method. It is proposed that the parametric method can be attempted for comparison between different reactors.

1. Bakgrund

1.1. Kärnkraften i Sverige

*"Endast sex länder deltog i rusningen för att bygga de första kärnkraftverken - För-
enta Staterna, Storbritannien, Frankrike, Sovjetunionen, Kanada och Sverige. Alla
andra länder fick efterhand vända sig till någon av dessa pionjärer för hjälp med att
planera och bygga sina första kärnkraftsreaktorer."*

Detta citat är hämtat från en sammanställning av kärnteknikens och kärnkraftens historia i världen publicerad av American Nuclear Society.[1]

Egentligen kan man säga att Sverige hade två på varandra följande kärnkraftsprogram: den svenska linjen med tungvattenreaktorer (PWR, tryckvattenreaktorer, med reaktortank), och det moderna programmet med lättvattenreaktorer, huvudsakligen kokvattenreaktorer (BWR) men också tryckvattenreaktorer (PWR).

Den första kärnreaktorn i Sverige startades år 1954. Den användes huvudsakligen för forskningsändamål, och gav värdefullt underlag även för senare forskningsreaktorer och andra kärntekniska anläggningar. Utvecklingen ledde till konstruktion och byggande av kärnkraftverket i Ågesta, som var i drift under perioden 1963-1973. Denna reaktor var en tungvatten-PWR som kunde drivas med naturligt uran som bränsle. Den hade en total kapacitet på 65 MW, varav 10 avsåg elproduktion, och 55 avsåg fjärrvärme.

En del av de anläggningar som byggdes inom ramen för arbetet med den svenska linjen har rivits, medan andra fortfarande utgör miljöförbindelser. Detta har beskrivits i tidigare rapporter.[2-5]

År 1965 tecknades kontraktet för Oskarshamn 1, och detta var det första för en reaktor av den moderna typen. Beslutet innebar ett paradigmskifte eftersom denna reaktor var en BWR av lättvattentyp. Det fanns ett antal goda tekniska och ekonomiska skäl för skiftet, bl a lägre priser för anrikningstjänster och högre effekt per enhet tankvolym.

Det förekom en mängd diskussioner och även motsättningar beträffande vilken strategi som var den bästa, och exempelvis förutspådde dåvarande verkställande direktören i AB Atomenergi (nu Studsvik AB), Harry Brynielsson år 1970 att Sverige skulle ha sin första snabbreaktor år 1980.[6] AB Atomenergi hade från början haft den nationella rollen att utveckla, konstruera och bygga kärnkraftreaktorer, och har haft en mycket stor betydelse för framväxten av kärnteknik och kärnkraft i Sverige.

Totalt byggdes 11 kärnkraftreaktorer av ASEA-ATOM:s konstruktion. Av dessa finns 9 i Sverige (Barsebäck, Oskarshamn, Ringhals och Forsmark) och 2 i Finland (i Olkiluoto nära Rauma). Dessutom har det byggts tre tryckvattenreaktorer (PWR) av Westinghouse-konstruktion. Alla dessa reaktorer är fortfarande i drift utom de två i Barsebäck (nära Lund) som är avstängda permanent. Det finns väsentliga skillnader i utformning mellan tidiga och sena ASEA-ATOM reaktorer, men Oskarshamn 2 och Barsebäck 1 och 2 är mycket lika varandra.

Den historiska utvecklingen i Sverige finns ytterligare beskriven i [2,7].

1.2. Kostnads kalkyler för kärnkraftverk i Sverige

Under åren 1956-1977 publicerade AB Atomenergi 517 rapporter i sin huvudsakliga och öppna serie. Ingen av dessa avser nedläggning och rivning av kärnkraftverk. Den första rapporteringen om aktiviteter inom området är från 1975, när AKA-utredningen först publicerades (AKA = Använt Kärnbränsle och radioaktivt Avfall).[8-10], samt när svenska experter deltog i ett möte på IAEA (IAEA = International Atomic Energy Agency) [11].

AKA-utredningen föreslog bland annat att alla kostnader för avfall och rivning med mera skulle betalas av kärnkraftföretagen. År 1978 antogs en lag som klargjorde att medel som avsattes för att täcka sådana framtida kostnader skulle inte bli föremål för beskattning. Avsättning till interna fonder startade under samma år. Från 1981 har vi i Sverige segregerade fonder, det vill säga pengarna betalas in i fonder som administreras och förvaltas av staten.

De första kostnadsuppskattningarna[12] för nedläggning och rivning av svenska kärnkraftreaktorer publicerades av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB, då SKBF/KBS) år 1979. I studien ingick Oskarshamn 2 och Barsebäck 1 som referensanläggningar. Dessa reaktorer har en konstruktion.

Därefter har SKB vart tredje år redovisat uppskattningar över samtliga framtida kostnader. Denna skyldighet finns angiven i Finansieringslagen (*Lag (2006:647) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet*) och dess förordning (*Förordning (2008:715) om finansiella åtgärder för hanteringen av restprodukter från kärnteknisk verksamhet*). Redovisningen lämnas till Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) som sedan granskar kalkylen och utarbetar ett förslag till avgift som ska tas ut på den elektricitet som genereras från kärnkraftverken. Med detta som underlag beslutar sedan regeringen om avgiftens storlek.

Sedan många år har kärnkraftföretagen och SKB gett vad som i dag heter Westinghouse Electric Sweden AB i uppdrag att bistå dem i deras arbete med kostnadsuppskattningar, se till exempel [13-14]. Vad som i dag är Westinghouse Electric Sweden AB svarar mot vad som tidigare har hetat ASEA-ATOM, men det finns flera företagsöverlåtelser och namnbyten däremellan. Nyligen har kärnkraftindustrin och SKB även vänt sig till TLG Services Inc. i Förenta Staterna för en oberoende uppskattning av kostnaderna för rivning av Barsebäck 1 och 2.[15]

Den totala kostnaden för rivning av en av reaktorerna i Barsebäck presenteras i Tabell 1. (De båda reaktorerna vid Barsebäcksverket är snarlika och är därmed likvärdiga ur rivningssynpunkt).

Tabell 1. Kostnadsuppskattning för en av reaktorerna i Barsebäck. Omräkning till dagens penningvärde har gjorts med hjälp av konsumentprisindex från Statistiska Centralbyrån. Uppskattningen för år 2004 baserar sig på en jämförelse med Oskarshamn 3.

	MSEK 1979	MSEK 2004	MSEK 2005	MSEK 2012
SKB 1979[12]	500			1581
SKB 2004[13]		802		912
TLG 2008[15]			1632	1848

De påtagliga skillnaderna mellan de olika uppskattningarna har föranlett SKB att dels analysera orsakerna till dem, se [16], dels föreslå en väsentligt höjd avgift (med 70 %). Referens [16] och dess jämförelser diskuteras ytterligare i Avsnitten 4.2 och 5.

De påtagliga skillnaderna mellan de olika uppskattningarna har också föranlett SSM att utföra oberoende studier. En sådan redovisas i Referens [17], och det arbetet har utförts parallellt med det arbete vars resultat redovisas i denna rapport.

2. Syfte och uppdrag

Syftet med detta arbete är:

- Att söka finna generella orsaker till avvikelserna mellan olika kostnadskalkyler
- Att söka orsaker till avvikelserna mellan olika kostnadskalkyler vilka specifikt kan hänföras till Barsebäcksverket
- Att kvalitativt analysera betydelsen av potentiella specifika kostnadshöjande faktorer
- Att söka identifiera möjligheter till förbättringar och effektiviseringar
- Att identifiera och diskutera erfarenheter som kan vara av intresse utanför kretsen av specialister på nedläggning av kärntekniska anläggningar

Arbetet har avsett följande delar:

- Informationssökning avseende främst publikationer inom områdena nedläggning av kärntekniska anläggningar och kalkyler av kostnader för komplicerade tekniska anläggningar. Genomgången har särskilt avsett konferenspaper om nedläggning från de senaste drygt 5 åren.
- Besök på plats till Barsebäcksverket samt genomgång av
 - anläggningen,
 - deras planering av det kommande rivningsarbetet,
 - deras arbete med kostnadskalkyler
 - tänkbara faktorer som kan tänkas resultera i högre kostnader än förväntat
- Deltagande i "*EPRI International Decommissioning and Radioactive Waste Management Workshop in Collaboration with Barsebäck Nuclear Power Plant*", Lund den 20–22 september 2011. Deltagandet innefattade en presentation av det arbete vars resultat redovisas i denna rapport.
- Sammanställningar av en promemoria från det internationella mötet och en från besöken till anläggningen. (De innehåller väsentligen information som också återfinns i denna rapport).

3. Internationellt perspektiv

3.1. Metoder för kalkylering av kostnader

Många läroböcker och andra auktoritativa källor, till exempel [18-20], förespråkar ett stegvis tillvägagångssätt, och att man i detta behöver välja lämplig metodik för uppskattning av kostnader i varje sådant steg. Ett exempel på detta visas i Tabell 2.

Tabell 2. Stadium i planeringen och rekommenderad metod.[17-18].

Typ av kostnadsuppskattning	Precision	Rekommenderad metod
Storleksordning	-30 % till + 50 %	Parametrisk metod, andra är möjliga
Budget	-15 % till + 30 %	Alla är möjliga
Slutlig	-5 % till + 15 %	Bottom-up metoden, andra är möjliga

Information kring kostnadsuppskattningar kan hämtas från internetsidorna för "*the Association for the Advancement of Cost Engineering*" (AACE International) and "*the International Society for Parametric Analysis*" (ISPA).

Bottom-up tekniken (uppbyggnadsmetoden) innebär att deterministiska summeringar görs över allt arbete och allt material som planeras ingå i projektet, och detta ger den totala kostnaden. Denna metod fungerar väl när alla poster har identifierats och när kostnaden för varje post är känd, till exempel genom bindande offerter från leverantörer. Historiska data från genomförda projekt kan också användas. Som framgår av Tabell 2 så rekommenderas bottom-up tekniken för sena skeden i planeringen och för de mest precisa uppskattningarna.

I tidiga skeden innebär bottom-up tekniken antingen oöverstigit mycket arbete, eller så ger den systematiskt alltför låga uppskattningar (alternativt är osäkerheterna orimligt stora). Orsaken till att man kan förvänta sig systematiskt för små värden är att man lätt missar poster i början.

För kostnadsuppskattningar i tidiga skeden kan man i stället analysera data från tidigare genomförda projekt med syfte att få fram en matematisk struktur med vars hjälp kostnader för genomförda projekt kan reproduceras.

Tillgång till en sådan modell innebär att man kan sätta in aktuella parametrar för ett nytt projekt i modellen och räkna ut priset.

Det just sagda kan enligt "*Parametric Estimating Handbook*"[21], som utfärdats av ISPA, uttryckas på följande sätt:

"Parametric estimating is a technique that develops cost estimates based upon the examination and validation of the relationships which exist between a project's technical, programmatic, and cost characteristics as well as the resources consumed during its development, manufacture, maintenance, and/or modification".

Författarens översättning: "*Parametrisk kostnadsuppskattning är en teknik som tar fram kostnadsuppskattningar utgående från analys och validering av de samband som finns mellan ett projekts tekniska och planmässiga utförande och dess kost-*

nadskaraktistik samt de resurser som konsumerats i samband med utveckling, tillverkning, underhåll och/eller ombyggnader".

Samma handbok[21] anger att följande steg bör följas när man utvecklar en parametrisk modell:

- Utveckling av en databas för havda kostnader i olika relevanta projekt
- Klarställande av vilka krav som ska gälla för modellen
- Strukturering av modellens arkitektur med hänsyn till existerande data
- Utveckling av själva modellen
- Kalibrering och validering av modellen
- Dokumentation
- Uppdatering av modellen med stöd av data från nya avslutade projekt

Själva utvecklandet av en modell kan således innebära ett ganska omfattande arbete, och kräver i normalfallet tillgång till data från flera avslutade projekt, inte minst för kalibrering och validering. Däremot, när en modell väl är utvecklad, så kan själva kalkyleringen utföras mycket snabbt.

Det anges i handboken[21] att "*kostnadskalkyler i tidiga skeden kan inte utföras effektivt och ändamålsenligt på något annat sätt*".

En kort beskrivning av parametrisk metodik ges in Bilaga A.

Oavsett vilken metod som väljs så ska en kostnadsuppskattning alltid innehålla en uppgift om osäkerheten. Detta påpekas ständigt av till exempel AACE International.

3.2. Kostnadskalkyler för rivning av kärnkraftverk

En kort beskrivning av den tidiga historiken kring uppskattning av kostnader för nedläggning och rivning av kärnkraftverk återfinns i Referens [22]. Området i fråga kom att väcka ökat intresse under 1970-talet efter det att ett antal nedläggningsprojekt avseende forskningsanläggningar hade genomförts, samt efter genomförandet av den första nedläggningen av en kärnkraftreaktor, Elk River.

Elk River var en kokvattenreaktor utan några pumpar i primärsystemet. Ångan kondenserades i en ånggenerator, från vilken icke radioaktiv ånga i sekundärsystemet först gick vidare till en koleldad överhettare, och därefter till turbin och sekundärkretskondensator. Den elektriska effekten uppgick till 24 MW. Reaktorn var i drift under tiden 1962-1968.

Elk River var den första reaktorn som genomgick en fullständig avställning och rivning, och detta skedde omkring år 1974. Den totala kostnaden uppgick till M\$ 6,15, vilket svarar mot MSEK 157 i dagens penningvärde. För omräkningen har dollarkursen för år 1974 använts tillsammans med konsumentprisindex. Eftersom dollarn var billig år 1974 innebär detta en viss underskattning av nuvärdet.

Enligt Referens [22] gjordes tidigt försök att uppskatta rivningskostnaderna för större anläggningar, det vill säga anläggningar av mera ordinär storlek, genom att helt enkelt multiplicera med förhållandet mellan effekterna (termisk eller elektrisk). Resultatet av sådana överslagskalkyler föranledde kärnkraftsindustrin att omgående påbörja mera specifika och detaljerade studier. Det framfördes, till exempel, att

kalkylering enligt en sådan modell med direkt proportionalitet skulle kunna ge resultat som kan konkurrera med kostnaden för att uppföra ett kärnkraftverk.

Referens [22] framför att en linjär modell skulle vara betydligt bättre än den enklaste med direkt proportionalitet. En linjär modell kan skrivas:

$$y = kx + l \quad (1)$$

där

y = kostnaden för en att riva en reaktor med effekten x , och k och l är konstanter som ska bestämmas.

I den enklaste modellen med direkt proportionalitet gäller att $l = 0$.

Några år efter rivningen av Elk River reaktorn presenterades UCF-metoden (UCF = Unit Cost Factor). Denna modell eller metod grundar sig till stor del på den omfattande kunskap om nedläggning som LaGuardia tillgodogjort sig.[23] Ett exempel på en beskrivning av denna metod återfinns i kapitel 12 i Referens [24], se även Referens [25].

UCF-metoden är i grunden en bottom-up metod, men den har stora möjligheter för justeringar med olika faktorer som återspeglar "svårighet". Resultatet är således starkt avhängigt av "unit factors" som måste tas fram ur data från genomförda projekt, och av kunskap och erfarenhet hos den person som bedömer graden av svårighet för de olika delarna. Dessa bedömningar behöver alltså göras på likartat sätt jämfört med hur bedömningarna gjordes i de genomförda projekten.

Begreppet "Unit factors" avser i normalfallet kostnaden per enhet. Det kan till exempel vara kostnaden för rivning av en pump i ett visst viktsintervall, eller kostnaden per arbetad timme för en arbetare med viss typ av uppgift.

Den genomgång som gjorts av litteraturen avseende nedläggning, se Avsnitt 2, visar att UCF-metoden, dvs en bottom-up metod, använts i de allra flesta fallen. Referenserna [26-27] är de undantag som påträffats. Ett antal rapporter har vidare publicerats av IAEA, OECD/NEA och EU, och i några av dessa diskuteras även parametriska metoder.

3.3. Erfarenheter från Kalifornien

Litteraturgenomgången avsåg bland annat att söka hitta liknande avvikelser utomlands, det vill säga liknande i förhållande till dem som observerats i Sverige vid jämförelser mellan kostnadsuppskattningar som utförts av Westinghouse och dem som utförts av TLG Services Inc. Många referenser påträffades, inklusive [28-29] i vilka en del internationella uppgifter finns sammanställda.

I dessa artiklar framförs att man bör förvänta sig betydande skillnader mellan olika reaktorer beroende på en rad omständigheter. Det framförs att en starkt förbättrad överensstämmelse kan förväntas mellan uppskattad kostnad och utfall om man tar hänsyn till vissa omständigheter som kan verka starkt fördyrande, så kallade "cost raisers". Att tillämpa en standardiserad struktur för uppställning av kostnaderna är av kritisk betydelse vid jämförande analys.

Trots detta kvarstår betydande skillnader mellan uppskattade kostnader och utfall. Dessa överstiger kraftigt vad som rimligen kan förväntas med hänsyn till de många

termerna och summorna som ligger till grund för prognoserna. Denna fråga kommer i det följande att belysas genom ett exempel från Kalifornien.

CPUC ("*the California Public Utility Commission*") har till uppgift att utföra återkommande granskningar av kostnadsuppskattningar, samt komma fram till vilka nivåer av avgifter som rimligen ska tas ut från de kärnkraftföretag som betjänar kunder i Kalifornien. Man kom överens med dessa företag om att en expertgrupp ("panel") skulle tillsättas med uppgift att utvärdera planeringen för nedläggning samt tillhörande kostnadskalkyler, vilka utgör grunden för beslut om avgifter. Expertgruppens rapport och sammanfattande rapport återfinns i Referenserna [30] respektive [31]. Expertgruppen bestod av tre synnerligen kunniga och erfarna experter på nedläggning, vilka dessutom var högt uppsatta personer i sina respektive organisationer. I gruppen ingick Mr. Geoffrey Griffiths vid TLG Services Inc.[30], som också undertecknat rapporten med kostnadskalkyler för Barsebäcksverken[15].

Här följer några exempel på slutsatser från expertgruppen (författarens översättning):

- Alla slutsatser om framtida kostnader för nedläggning "*innehåller en betydande andel spekulation baserad på viss kunskap beträffande händelser vilka bara kommer att kunna beskrivas fullständigt i framtiden*" ... "*och vilka kan likna historiska händelser i större eller mindre beroende på hur förhållandena förändras med tiden*".
- Expertgruppen fann vidare att det förelåg betydande barriärer mot att kunna jämföra erfarenheterna från tidigare projekt eftersom de kostnadsuppskattningar som utförts inte alltid är offentliga. I de fall kalkylerna är offentliga så kan olika typer av poster förekomma i olika kalkyler och olika typer av uppgifter ges.
- Samtliga utfall - utom det för Rancho Seco - överskrider prognoserna. Exempelvis överskred Connecticut Yankee prognosen med 82 %, och SONGS 1 med 32,5 %. (Dessa resultat presenterades av expertgruppen mera som indikationer snarare än allmängiltiga slutsatser eftersom jämförelserna är komplexa.)
- Det förekom många problem med att få fram riktiga och jämförbara värden. Här följer några exempel:
 - Viss information har inte lämnats ut med hänvisning till att den är kommersiell.
 - Offentliga uppgifter har varit ofullständiga.
 - Uppskattningar från olika projekt har inte innehållit identiska aktiviteter.
 - Viktiga poster kan ha utelämnats, till exempel återställandet av området.
- Åtta poster identifierades vilka sammantagna står för 99,4 % av skillnaderna mellan SONGS 2 och 3 och Diablo Canyon 1 och 2.
- Med stor marginal svarar det antagna sluttillståndet för området för de största skillnaderna mellan uppskattningarna.
- Den historiska erfarenheten i Förenta Staterna innebär inte att någon konsensus kan identifieras beträffande bästa sättet på vilket ett kärnkraftverk bör tas ur drift och rivas. Detta beror på att varje område har sina förutsättningar och utmaningar, teknik förändras och förbättras, och nya idéer föds ur de erfarenheter som görs.
- Expertgruppen fick till uppgift att ta fram ett gemensamt format och schema för kalkyler av kostnader för rivning, så att man skulle få ökad transparens

och möjligheter till jämförelser i framtiden. Gruppen fann dock att detta inte var görligt av följande skäl:

- De som utför kostnadskalkyler lämnar inte ifrån sig de uppgifter som behövs.
 - De olika företag som utför kostnadskalkyler använder olika modeller för att uppskatta kostnader.
 - Reaktorerna SONGS 1 och 2 har unika särdrag
- Expertgruppen påträffade ett räknefel som innebär att kostnaderna för Palo Verde kan uppskattas till 50 % av tidigare värde. Efter omfattande "grävarbete" hittade panelen att avfallsvolymen hade räknats dubbelt.

Expertgruppens rekommendationer återfinns i sammandrag i Bilaga B.

Mot bakgrund av ovanstående kunde det förefalla frestande att dra slutsatsen att utmaningarna i samband med kostnadskalkyler är så stora att det är oundvikligt att resultaten blir opålitliga. Detta behöver emellertid inte vara fallet, så som visats av LaGuardia[32], grundare av TLG Services Inc., företaget som utförde kostnadskalkylerna för verken i Barsebäck.[15] Han har rapporterat[32] en överensstämmelse mellan uppskattade kostnader och utfall som uppgår till 8,8 % för Maine Yankee (880 MWe PWR), och omkring 6 % för Big Rock Point (60 MWe BWR). Det kan tilläggas att de system som jämförts är väl definierade.

4. Barsebäcksverket

4.1. Bakgrund

Kärnkraftverket i Barsebäck består av två kokvattenreaktorer av ASEA-ATOM design. Var och en hade en termisk kapacitet som uppgick till 1800 MW, och en elektrisk som uppgick till 615 MWe. Reaktorerna Barsebäck 1 och 2 var i drift under tiden 1975 - 1999, respektive 1977 - 2005.

Nedläggningsprojektet i Barsebäck har presenterats för omvärlden i ett antal sammanhang, till exempel i Referens [33], och i september 2011 arrangerade Barsebäcksverket i samarbete med EPRI ("*the Electric Power Research Institute*", som finns i Förenta Staterna) en internationell workshop i Lund. (Det var vid detta tillfälle som författaren höll en presentation över delar av det som presenteras i denna rapport).

För närvarande pågår planering för rivningen, inklusive ett antal förstudier. Rivningsarbetena vid Barsebäcksverket ska enligt plan påbörjas om 5 - 10 år.

4.2. Kostnads kalkyler

De kostnads kalkyler som föranlett det arbete vars resultat presenteras i denna rapport [12-15] finns beskrivna i Avsnitt 1.2, och denna beskrivning inkluderar sammanställningen i Tabell 1.

Den tidiga SKB-studien[12] och TLG-studien[15] utgår från de två sinsemellan mycket lika reaktorerna i Barsebäck. De andra studierna, som utförts av SKB / Westinghouse, utgår från detaljerade studier av Oskarshamn 3. Denna reaktor är också en kokvattenreaktor av ASEA-ATOM utformning, men modernare - den togs i drift år 1985 - samt större (3300 MWt vilket kan jämföras med de två reaktorerna vid Barsebäcksverket som är på vardera 1800 MWt). Enligt Referens [13] är kostnadsuppskattningen för dessa två reaktorer framräknade från dem för Oskarshamn 3 baserat på förhållandet mellan de uppskattade behoven av resurser för de olika typerna av utrustning. Skalningen mellan reaktorerna kan således sägas vara baserad på skillnaderna i storlek tillsammans med utformningarna av de olika enheterna.

Skillnaderna mellan kalkylerna från SKB / Westinghouse [13-14] och dem från TLG [15] föranledde SKB att göra en jämförelse[16] mellan en reaktor vid Barsebäcksverket och Oskarshamn 3, och de huvudsakliga slutsatserna är som följer:

- Sambandet mellan kostnaden för rivning och den termiska effekten (vilket kan jämföras med skalningen som gjorts av SKB) är svag. Det påpekas att NRC (Nuclear Regulatory Commission, myndighet i Förenta Staterna) använder en förstegradsekvation, såsom ekvation (1) ovan, där konstanterna har sådana värden att skillnaden i kostnad mellan 3300 MW och 1800 MW termisk effekt bara blir 11 %.
- Det finns skillnader beträffande vilka anläggningsdelar som är medräknade.
- Kostnaderna för projektledning och försäkringar är lägre i Sverige.

Det konstaterades i Referens [16] att efter omräkning enligt punkterna ovan så ligger överensstämmelsen mellan kalkylerna för Oskarshamn 3 och en av barsebäcksreak-

torerna väl inom den felmarginal som anges i Tabell 2 för kostnadsuppskattningar för budgetändamål.

4.3. Kostnadsdrivande faktorer

Informationssökningen i ett stort antal internationella källor (se Avsnitt 3) liksom tidigare arbeten som författaren deltagit i [3] indikerar att vissa poster, eller snarare typer av poster, kan ha ett jämförelsevis stort och ofta överraskande inflytande över kostnaderna. Vidare innebär avvikelserna oftast att det blir dyrare. Sådana typer av poster kallas på engelska "cost raisers".

Inom ramen för projektet besöktes Barsebäcksverket vid två tillfällen, och vid båda ställde man upp med personer med mycket tung erfarenhet och ingående kunskaper om anläggningarna. Många frågor ställdes kring kostnadskalkylerna och särskilt kring potentiella "cost raisers".

Liksom i rapporteringen från den ovan nämnda expertgruppen konstaterades bland annat följande:

- Det finns vissa svårigheter med att få fram bra kostnadsdata, men kontakter med andra kärnkraftbolag är av stort värde.
- Det är svårt att jämföra kostnader från olika håll på grund av olika förutsättningar i anläggningarna och olika sätt att kontera.
- Förhållandena i Sverige avviker från förhållandena i andra länder, inklusive Förenta Staterna, men med visst undantag för Finland.

En lång lista med potentiella kostnadsdrivande faktorer gicks igenom, och det kunde konstateras i de flesta fallen att några större överraskningar knappast är att vänta. Exempelvis kunde följande konstateras:

- Rör och behållare är utförda i rostfritt stål av hög kvalitet för ändamålet. Det finns såväl analysdata på varje stålsats ("batch") som använts som referensprover. Dessa omständigheter har betydelse för uppskattning av den aktivering som kan ha skett i sådana delar som varit neutronbestrålade och från vilka inducerad aktivitet kan ha spritt sig till andra delar av systemen. Även om teoretiska beräkningar av aktiveringssituationen är förenade med vissa osäkerheter, så innebär dessa omständigheter ändå att gränssättning kan göras beträffande högsta aktivitetens innehåll.
- Alla betongytor är målade med epoxifärg. Denna färg är i huvudsak fortfarande intakt. Epoxifärg används därför att den är mycket ogenomsläpplig, och detta innebär att aktivitet på ytan i huvudsak förhållandevis enkelt kan tvättas bort. Vissa gamla anläggningar har i stället råa betongytor. Nedsmutsning med kontamination som också är fuktig innebär att aktiviteten tränger in i sådan betong. Denna process är fortgående och aktiviteten når allt djupare med tiden. Särskilt förrådskt är sprickor, där inträngningen kan bli större. Korrekt armerad betong - såsom i Barsebäcksverket - har endast mycket fina (det vill säga smala) sprickor, vilket innebär att epoxin inte spricker. Bedömningen är således att ytor i många fall kan rengöras genom avtvättning. I vissa fall kan ytavverkning med specialutrustning krävas, men då behöver sannolikt endast tunna skikt tas bort.
- Primärsystemet är dekontaminerat sedan många år. Detta bland annat följande:
 - Den aktivitet som funnits på ytorna i primärsystemet har inte kunnat spridas (eftersom den varit borttagen).

- Arbete i anläggningen kan utföras med mycket lägre doser. Detta innebär inte bara att doser sparas, utan också att viktiga arbeten kan utföras, inklusive radiologisk karakterisering.
- Genom att bakgrunden sänkts kan så kallade "hot spots" - det vill säga mindre områden med förhöjd aktivitet - identifieras. Förutom att detta ger viktig information för det fortsatta arbetet, så innebär det också att behov av eventuella kostnadshöjande specialinsatser kan identifieras i ett tidigt skede och därmed komma med i kalkylerna.
- Det har inte förekommit några incidenter under driften av reaktorerna som kan förutses innebära någon betydande påverkan på nedläggningsarbetet eller dess kostnader.
- Det finns inga aktiva rörledningar direkt i mark, bara i kulvert. Detta innebär att det går att mäta om något markläckage förekommit. Inget sådant har uppmätts i någon kulvertförlagd ledning.
- Asbest kan innebära kostnadshöjningar, och dessutom försvåra arbetet i stort. Skälet för detta är att man vid asbestsanering måste ta hänsyn till såväl konventionella som radiologiska regelverk. Vid besöket framkom att förekommande asbest i huvudsak redan sanerats.
- Det har varit få och förhållandevis små bränsleskador. Utan bränsleskador är den dominerande radionukliden kobolt-60, som har en halveringstid på ca fem år. Denna strålning är också starkt penetrerande, och dominerar alltid eller nästan alltid dosen till personal vid ett kärnkraftverk. Kobolt-60 är en aktiveringsprodukt, och dosnivåerna beror således på renheten i det rostfria materialet och intensiteten hos neutronstrålningen. Kobolt-60 förs bort från systemet kontinuerligt främst genom vattenreningen för primärsystemet. Vid bränsleskador kommer det ut fissionsprodukter och transuraner. Av dessa är det främst cesium-137 och strontium 90 som ger bidrag till dosen till personal. Cesium-137 är liksom kobolt-60 en gammastrålar, men penetrationen är lägre, det vill säga, det går lättare att skärma bort strålningen. Strontium-90 är en betastrålar, vars strålning absorberas av luften såvida man inte kommer nära. Denna strålning är således vanligen "ofarlig", men kan också vara förrädisk. Cesium-137 och strontium-90 har båda en halveringstid på ca 30 år. Det knepigaste är dock kanske transuranerna, varav vissa är alfastrålande. Dessa är ofta mycket långlivade. Denna strålning skärmas mycket lätt, men skadar mera än annan strålning och är därför förrädisk i samband med oralt intag och vid inandning. Mest förrädisk är den kanske vid rivning lång tid efter det att driften upphört, eftersom man då har svårare för att spåra den. Alfastrålar spåras nämligen vanligen genom att man tar fram förhållandet mellan alfa- och gammastrålar i en anläggning, och sedan drar slutsatser beträffande alfastrålningen baserat på mätningar av gammastrålningen. Att ha få bränsleskador är således viktigt inte bara för att det innebär en lägre dos, utan även för att det innebär att strålningen är betydligt lättare att mäta och hantera.

En potentiell "cost raiser" är dock förorenad mark som finns under en av byggnaderna. Omfattningen är mycket svår att uppskatta i förväg eftersom man enligt uppgift inte kan komma åt marken under byggnaden i fråga förrän stora delar av den rivits. Det kan inte uteslutas att sanering av den förorenade jorden kan vara förenad med betydande kostnader. Detta har påpekats tidigare, bland annat i studien som gjorts av TLG.[15]

En osäkerhetsfaktor som ofta dyker upp är volymen av det avfall som genereras. Man kan kanske tycka att denna borde var enkelt att uppskatta eftersom byggnads-

volymerna är välkända. Det finns emellertid en betydande svårighet som ligger i hur väl man kan skilja mellan material med olika grader av kontamination. Generellt kan man konstatera att de volymer som har hög specifik aktivitet är små, medan de med låg nivå är stora. Allra störst är volymen material som har mycket låga nivåer så att de kan friklassas för obegränsad användning.

Jordmaterial med goda friktionsegenskaper, god dräneringsförmåga och god bärlighet, så som betongkross kan ha, är det stor brist på i Skåne som ju i vart fall till stora delar inte har kristallin berggrund så som större delen av det övriga Sverige. Därmed inte sagt att det kommer att gå att få betalt för sådant material, eftersom det finns en rädsla för att använda rester från kärntekniska anläggningar. I planeringen förutsätts därför betongrester användas för utfyllnad av utrymmen under jord.

En motsvarande diskussion kan föras beträffande metallskrot.

5. Diskussion och slutsatser

Det redovisas ovan i Avsnitt 3.2 att det har varit känt sedan man började med kostnads-kalkyler för rivning av kärnkraftverk på 1970-talet att antaganden om direkt proportionalitet mellan kostnader och termisk effekt ger upphov till avsevärda systematiska fel. Referens [22] framför att man i stället bör använda en linjär ekvation (det vill säga som ekvation (1)), och detta är i själva verket vad som används av NRC, se SKB:s rapport [16].

Mr. McGrath vid EPRI höll en presentation under den workshop som anordnades av EPRI och Barsebäcksverket under hösten 2011, och den handlade om jämförelser av kostnader mellan olika rivningsprojekt. Han visade ett antal diagram med kostnaden avsatt som funktion av olika parametrar, inklusive den termiska effekten. Denna samvariation var svag.

Författaren till denna rapport samt medförfattare har tidigare funnit att antagande om direkt proportionalitet mot storleken av en anläggning är mindre lämplig, och även pekat på den stora betydelsen av att de slutförda projekten från vilka data tas måste likna dem för vilka man gör kalkylerna.[2,4] Här föreslogs att en uppsättning av linjära ekvationer skulle kunna användas för något som skulle kunna karakteriseras som en enkel parametrisk modellering.

Det är förbryllande att konstatera att trots att huvuddelen av de kostnads-kalkyler som görs i dag har som huvudsyfte att utgöra underlag för avsättningar av medel för kommande rivning, det vill säga tidiga skeden, så är den metodik som används av en typ som i första hand är lämplig för sena skeden.

Möjliga förklaringar till detta innefattar sannolikt den historiska utvecklingen. För några få årtionden sedan utfördes kalkyler i stor utsträckning i direkt inför rivningsarbetena. En annan förklaring är att - till skillnad mot när man bygger nytt - så är det från början säkert att projektet ska bli av. Då måste man ändå använda en bottom-up metod förr eller senare.

Parametrisk modellering kräver generellt sett tillgång till fler slutförda projekt jämfört med bottom-up metoden. Historiskt har antalet liknande objekt varit få, vilket talat för att använda bottom-up metoden även i tidiga skeden. I dag finns det ett ganska stort antal slutförda projekt, så teoretiskt borde det finnas goda förutsättningar för att använda parametrisk modellering.

Det framgår dock av genomgången ovan att viktiga hinder kvarstår. Uppgifter lämnas inte ut av konkurrerande konsultföretag. Struktureringen av kostnader är olika för olika projekt, och det krävs omfattande insatser för att överföra dem till en gemensam struktur. Rivningsprojekten genomförs på olika sätt.

Det kan också konstateras att bottom-up metoden genom UCF utformningen innebär en viss flexibilitet genom möjligheterna till skalning efter svårighetsgrad, samt särskilda checklistor för att ta vederbörlig hänsyn till vissa "cost raisers".

Å andra sidan har man i anläggningar som dem i Sellafield i Storbritannien och Hanford i Förenta Staterna med i båda fallen jämförelsevis väldigt många kärntekniska anläggningar av olika slag uppenbarligen mycket goda erfarenheter av parametrisk modellering.[26-27]

Det bör knappast ha kommit som någon större överraskning att en svensk kostnadsuppskattning framstått som låg i en internationell jämförelse. Detta redovisades av OECD/NEA redan i en rapport från år 2003[29]. De fann att "*kostnadsnivåerna som erhållits för Olkiluoto i Finland och Oskarshamn 3 i Sverige är tre till fyra gånger lägre än det näst lägsta värdet*".

Det framgår av ovanstående genomgång att kostnaderna för rivning av Barsebäck 1 och 2 kan ha varit underskattade tidigare [13] när man jämfört med den betydligt större reaktorn Oskarshamn 3. Denna situation är olik den från 1979[12], när det var de jämförelsevis mindre reaktorerna Barsebäck 1 och Oskarshamn 2, båda då med elektriska effekter kring 600 MW, som var referensobjekt.

Inget har framkommit i föreliggande arbete som skulle motsäga att TLG-rapporten[15] kan vara en god representant för "*state of the art*". En mindre kommentar kan vara att det skulle ha underlättat för läsaren om de många begränsningar och reservationer som ingår också skulle vara samlade i ett särskilt avsnitt i rapporten.

Det kan konstateras, se Avsnitt 3.3, att skillnaderna mellan TLG-rapportens resultat och dem från andra kalkyler för svenska verk faller inom de utfallsområden som rapporterats från andra håll. Däremot kan konstateras att bättre överensstämmelse bör kunna uppnås, och detta gäller såväl mellan olika kostnadskalkyler som mellan kalkyl och utfall. Stöd för detta påstående finns i till exempel Referens [32] och i diskussionen i Avsnitt 3.3. Referens [2] anför att ett lämpligt mål för kalkyler i tidiga skeden för kärntekniska forskningsanläggningar kan vara $\pm 20\%$, och att detta bör också kunna uppnås åtminstone i gynnsamma fall.

Genomgången tillsammans med representanter från Barsebäcksverket ledde inte till att några nya kostnadshöjande företeelser kunde identifieras. Kontamination under en av byggnaderna var känd sedan tidigare.[15]

Det förefaller rimligt att SKB och kärnkraftindustrin i övrigt antingen utför individuella studier av de reaktorer som levererats av ASEA-ATOM, så som framförs i Referens [16], eller förbättrar metodiken för jämförelser mellan de olika reaktorerna. I det senare fallet bör metodiken valideras.[21]

Det bör uppmärksammas att rivningen av reaktorerna i Barsebäck, som kommer att ske om några år, erbjuder utmärkta möjligheter till utveckling av kalkyleringsmetodik för ASEA-ATOM reaktorerna. Den information som sammanställts i denna rapport pekar tydligt på att parametriska metoder bör ingå i sådana arbeten.

De ovan redovisade exemplen på mer än 30 års kostnadskalkyler för reaktorerna i Barsebäck illustrerar de utmaningar man kan möta när man uppfyller sina förpliktelser enligt principen om att det är förorenaren som ska betala.

En avgörande fråga för inriktningen av arbetet med kostnadskalkyler i tidiga skeden, och med syfte att fullgöra skyldigheterna enligt förorenaren betalar principen, är vilken precision som bör uppnås.

Osäkerheten bör naturligtvis inte vara alltför stor eftersom man i så fall skulle äventyra principen om att det är förorenaren som ska betala. I de fall då man har säkerheter för att täcka osäkerheten (såsom för kärnkraftsreaktorer i Sverige) är det viktigt att osäkerheten inte underskattas.

Inte heller bör en alltför låg osäkerhet eftersträvas. Kalkylerna kan i stor utsträckning bara utföras utgående från förhållanden som gäller i dag (eller som gällde när de avslutade projekt som man använder data från färdigställdes). Mycket kan förändras under de decennier som kanske återstår innan rivning ska ske, inte minst i form av teknisk utveckling.

Det finns inte mycket som framkommit i denna genomgång som skulle peka på att den höga precision som kan erhållas med bottom-up metoden, det vill säga ner till 5 % osäkerhet, se Tabell 2, verkligen skulle kunna vara relevant för kalkyler i tidiga skeden.

I stället bör en betydligt större osäkerhet kunna tolereras, kanske 15 - 20 %, med hänsyn till att så mycket ändå kan förväntas förändras över den tid som återstår till rivningen.

Det har också framkommit att tillgång till data som föreligger i sådana strukturer att de kan jämföras är en mycket viktig faktor, liksom identifiering av sådana särdrag som kan ha en stor och varierande betydelse för kostnaden. Om fokus läggs på dessa frågor så öppnar det också för möjligheten att utveckla och använda parametrisk modellering. Visserligen kommer utvecklingen av sådana modeller att kräva en hel del insatser, men å andra sidan kommer sådana modeller att kunna användas på många reaktorer med liten insats i varje enskilt fall.

Dock kommer man aldrig ifrån de klassiska förutsättningarna för pålitliga kostnads-kalkyler: radiologisk kartering, teknisk planering och identifiering av potentiella kostnadsförhöjande faktorer.

Tack

Författaren vill rikta ett stort tack till de personer vid Barsebäcksverket som generöst delat med sig av sin stora kunskap och erfarenhet, och som också visat anläggningarna. Författaren tar emellertid det fulla ansvaret för innehållet i denna rapport.

Referenser

- [1] *Controlled nuclear chain reaction, the first 50 years*. American Nuclear Society, 1992.
- [2] Lindskog, S., and Sjöblom, R., *Regulation evolution in Sweden with emphasis on financial aspects of decommissioning*. Decommissioning Challenges: an Industrial Reality? Sept. 28 to Oct.2, 2008 – Avignon, France.
- [3] Andersson, I., Backe, S., Iversen, K., Lindskog, S., Salmenhaara, S. and Sjöblom, R., *Cost calculations for decommissioning and dismantling of nuclear facilities*. Nordic Nuclear Safety Research, Project NKS-R, Report number NKS-165, July 2008.
- [4] Sjöblom, R., Sjöö, C., Lindskog, S. & Cato, A., *Early stage cost calculations for determination and decommissioning of nuclear research facilities*. The 10th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management. Glasgow, UK, 4-8 September, 2005.
- [5] Lindskog, S. and Sjöblom, R., *Division of nuclear liabilities between different license holders and owners*. Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM2011, September 25-29, 2011, Reims, France.
- [6] Brynielsson, H., *Nuclear energy in Sweden - 1970*. In Rastogi, B. P., editor. Proceedings of the seminar on nuclear power. Published by the Department of Atomic Energy, Government of India.
- [7] Söderberg, O., *"In the shadow of the nuclear power debate around 1980 – thoughts on the birth of the finance system of today."* (In Swedish). In "Nuclear waste – costs and financing" (Swedish title: Kärnavfall – kostnader och finansiering). Swedish National Council for Nuclear Waste. SOU 2005:83.
- [8] *Radioaktivt avfall. Lägesrapport om låg- och medelaktivt avfall från Aka-utredningen*. Industridepartementet, Ds I 1975:8.
- [9] *Spent nuclear fuel and radioactive waste. A summary report given by the Swedish Government committee on radioactive waste*. AKA public investigation. (English summary of Aka Reports I-III, in Swedish) Department of Industry, SOU 1976:32.
- [10] *Använt kärnbränsle och radioaktivt avfall. Betänkande av Aka-utredningen*. Industridepartementet, SOU 1976:30 och SOU 1976:31.
- [11] *Decommissioning of nuclear facilities*. Report of a technical committee meeting on decommissioning of nuclear facilities organized by the International Atomic Energy Agency and held in Vienna, 20-24 October, 1975. IAEA-179.
- [12] *Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk*. SKBF/KBS (nu SKB) Teknisk Rapport 79-21, 1979.
- [13] Hedin, G., Gustavsson, B. and Carlsson, J., *Teknik och kostnader för rivning av svenska kärnkraftverk..* SKB R-04-44, Svensk Kärnbränslehantering AB, 2004.
- [14] Gustavsson, B., Hedin, G., Johnsson, H., Cassidy, C. and Swenson, B., *Swedish BWR Reference Plant Decommissioning Study*. Westinghouse Report SEP 06-055, rev 0, Westinghouse Electric Sweden AB, 2006.
- [15] *Decommissioning Cost Analysis for Barsebäck Nuclear Station*. Document S33-1567-002, Rev. 0, TLG Services, Inc, 2008.
- [16] Hansson, B. and Jönsson, L.-O., *Comparative analysis of the Oskarshamn 3 and Barsebäck site decommissioning studies*. SKB Report R-09-55, January, 2009.
- [17] Mareljus, F. and Keyser, P., *Avvecklingskostnad Barsebäck. Beräkning av osäkerheter i och granskning av kostnadsberäkningen för avveckling av Barsebäck*. Strålsäkerhetsmyndigheten, Rapport SSM2011-153-29.
- [18] Peters, M. S. and Timmerhaus, K. D., *Plant design and economics for chemical engineers*. McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [19] Humphreys, K. K. and English, L. L., editors, *Project and cost engineers' handbook, 3rd edition*. Marcel Dekker, Inc., 1993.
- [20] *Financial aspects of decommissioning*. IAEA-TECDOC-1476. November 2006.

- [21] *Parametric estimating handbook, 4th edition*. International Society for Parametric analysis, April, 2008.
- [22] Smith, R. I., *Estimation of decommissioning costs: history and status*. Energy Information Administration Workshop in Nuclear issues: Current and Future. Washington D. C., November 12, 1992.
- [23] LaGuardia, P. E., *Decommissioning methods and equipment*. In Osterhout, M. M., *Decontamination and decommissioning of nuclear facilities*. Plenum Press, 1979.
- [24] Taboas, A. L., Moghissi, A. A. and LaGuardia, T. S., Editors, *The decommissioning handbook*. ASME Press, 2004.
- [25] *International Structure for Decommissioning Costing (ISDC) of Nuclear Installations*. OECD/NEA, Paris 2012.
- [26] Murphy, L. T. and Hickey, M., *Parametric cost estimates for an international competitive edge*. WM'06 Conference. February 26 - March 2, 2006. Tucson, Arizona, USA.
- [27] Deiters, G., *Parametric modelling of decontamination and decommissioning costs using MCACES Gold*. Cost Engineering, Vol. 39, No. 3 March, 1997.
- [28] *Decommissioning of nuclear facilities. An analysis of decommissioning cost estimates*. OECD/NEA, Paris 1991.
- [29] *Decommissioning of nuclear power plants. Policies, strategies and costs*. OECD/NEA, Paris 2003.
- [30] *Filing by Southern California Edison Company's (U 338-E) of independent panel report*. A.09-04-009 and A.09-04-007, both filed April 3, 2009. Final report of the Independent Panel filed on March 1, 2011.
- [31] *Decision adopting recommendations of the independent panel on nuclear decommissioning costs, estimates, assumptions and format*. (Contains a summary of the panel report). Decision 11-07-003 July 14, 2011, Public Utilities Commission of the State of California.
- [32] LaGuardia, T. S., *Well-Founded Cost Estimation Validated by Experience*. Safe, efficient and cost-effective decommissioning, a NEA International Workshop. Rome, September 6-10, 2004.
- [33] Lorentz, H., *Barsebäck NPP in Sweden – Decommissioning Project*. Waste Management 2009 Conference, March 1-5, 2009, Phoenix, Arizona, USA.

Bilaga A. Parametrisk metodik

A.1 Inledande exempel

I samband med deltagande i "EPRI International Decommissioning and Radioactive Waste Management Workshop in Collaboration with Barsebäck Nuclear Power Plant", Lund den 20–22 september 2011, samt senare, har det varit flera som frågat om vad parametrisk kalkylering egentligen innebär. Detta är i grunden mycket enkelt men ändå svårt att förklara. Därför inleds detta avsnitt med ett välkänt exempel på parametrisk kalkyleringsteknik, nämligen taxering av villafastigheter.

Varje villaägare får med jämna mellanrum fylla i en blankett med diverse uppgifter. Här ingår storlek för mark och byggnader samt standarden hos byggnaden. Denna anges genom att man räknar samman standardpoäng, vilka beror på material, ålder, VVS (Vatten, Värme och Sanitet) och el.

Dessa uppgifter lägger Skattemyndigheten sedan in i en modell enligt vilken man går in i tabeller eller enkla matematiska uttryck i vilka storlek för markytan, storlek för byggnaden och standardpoängen ingår. Dessutom tillkommer en lägesfaktor som fungerar som en generell skalfaktor. Lägesfaktorn finns bestämd för varje så kallat värdeområde.

Det har troligen inneburit ett ganska stort arbete för skattemyndigheten att med stöd av ett stort antal uppgifter om priser som under de senaste åren betalats vid överlåtelser samt befintliga taxeringsuppgifter för dessa fastigheter ta fram tabeller, matematiska uttryck och faktorer.

Men när man väl fått fram sin modell går det blixtnabbt att räkna ut taxeringsvärdet för en given fastighet utgående från de data som ägaren angett på blanketten. Sådana uträkningar kan man för övrigt göra själv i och med att myndigheten numera har en särskild tjänst för detta på sin webbplats.

Det finns naturligtvis villafastigheter som inte passar in i mönstret enligt ovan och för vilka värderingarna blir missvisande. Inte heller finns det någon exakt allmängiltig relation mellan taxeringsvärdet för en fastighet och vad man i verkligheten får i betalning vid en försäljning. Men när modellen väl är framtagen så får man i de allra flesta fall fram ett ungefärligt värde snabbt och med en ringa ansträngning.

En principiellt intressant detalj i dessa modeller är den numera borttagna diskmaskinen. Denna ingick tidigare bland de omständigheter som kunde ge upphov till poäng. Detta kunde exempelvis innebära att en mycket begagnad diskmaskin som inhandlats för kanske en tusenlapp kunde generera en ökning av taxeringsvärdet med tiotusentals kronor. Med en fastighetsskatt på ett par procent kunde då en diskmaskin inom loppet av ett några få år kosta mer i höjd fastighetsskatt än i inköp.

Utfallet är naturligtvis inte önskvärt, och det är också därför som det är borttaget. Men exemplet beskriver ändå något om principen i parametrisk kalkylering, nämligen att man försöker hitta faktorer med vars hjälp man får fram en uppskattning av den totala kostnaden. Rimligen måste taxeringsmyndigheten ha satt poäng på diskmaskinen eftersom man i dataunderlaget kunnat se en samvariation mellan förhöjda försäljningspriser och förekomst av en diskmaskin.

Sveriges villaägare skulle antagligen ha storknat om Skattemyndigheten i stället begärt underlag för bestämning av taxeringsvärdet enligt "bottom-up" metoden.

Generellt sett så finns det lite olika sätt på vilka man kan uppskatta värdet på fastigheter. En metod går ut på att uppskatta byggnadens värde utgående dels från vad det skulle kosta att uppföra en sådan byggnad i dag, dels räkna av en del av detta värde efter ålder och slitage. Denna modell fungerar bäst för förhållandevis nya fastigheter.

Enligt denna modell kan man tänka sig att använda bottom-up metoden, d v s i princip räkna bräda för bräda. Rimligen har hustillverkare något som liknar den ovan nämnda UFC-metoden för detta.

Det måste tilläggas att det valda exemplet med fastighetstaxering visar på principen med parametrisk kalkylering. Naturligtvis måste själva modellen som man tar fram för nedläggning av ett kärnkraftverk se helt annorlunda ut.

A.2 Om själva metodiken

Beskrivningen i denna Bilaga grundar sig i stor utsträckning på den ovan nämnda ISPA:s handbok [21].

Den moderna parametriska metodiken växte ursprungligen fram under 1970-talet och inom flygindustrin inför utveckling av nya modeller och tillhörande produktionsanläggningar.

Sedan dess har metodiken utvecklats, och under de senaste decennierna även validerats. Bland annat har tretton "Parametric Estimating Reinvention Laboratory" arbetslag testat och implementerat ett spektrum av tekniker, från specifika element till stora sammansatta kostnader. Resultaten av dessa tester har integrerats i ISPA:s handbok[21].

Enligt handboken är de huvudsakliga fördelarna med den parametriska tekniken att den är billigare, snabbare och mera anpassningsbar. Kalkyler i tidiga skeden kan inte utföras effektivt på något annat sätt.

Utvecklingsarbete pågår med en standard för certifiering eller ackreditering av organisationer som utför parametrisk kalkylering. Bland annat ingår revision, och i samband med denna blir man bedömd med avseende på "mogenhetsgrad" och får ett betyg i skalan 1 - 5. Certifieringen kallas "*Capability Maturity Model Integration*" (CMMI).

Enligt en CMMI-certifiering ska en Parametrisk kalkyleringsprocess karakteriseras av följande:

- Kalkyleringen ska grunda sig på historiska data
- Det är acceptabelt att bedömningar ingår, men de ska ha koppling till historiska fakta
- Historiska data måste finnas tillgängliga i databaser
- Processen ska vara enhetlig och reproducerbar
- Processen ska följas upp och modellen ska uppdateras kontinuerligt utgående från gjorda erfarenheter

- Metoden ska tillämpas på ett likartat sätt inom hela organisationen

Parametrisk kostnadsanalys utförs med hjälp av numeriska modeller i datorer. De använder data för tillänkta projekt för att uppskatta de resurser som kommer att krävas i form av arbete, material och tid för genomförande.

Det är inte bara en utfallssiffra som genereras för varje storhet, utan spridningen är kanske viktigare än medeltalet. Inte minst används metodiken för att simulera vilka konsekvenser som kan tänkas uppkomma till följd av olika avvikelser i förutsättningarna.

Parametrisk analys omfattar tre olika huvudsakliga delar:

- Sammanställning och utveckling av en databas
- Utveckling av en modell, inklusive validering
- Användning av modellen, inklusive återföring av erfarenhet

Databasen ska innefatta kostnadsuppgifter för historiska projekt. Men den ska också innehålla information om vilka faktorer som påverkar kostnaderna. Databasen ska stämma överens med konteringsprinciperna i bokföringssystemet, och även svara mot "god redovisningssed". Särskilda genomgångar rekommenderas för att upptäcka och eliminera effekterna av bristande systematik i konteringarna.

Faktorer som påverkar kostnaderna kan vara diverse ingenjörstekniska data, t ex vikt, effekt och flöde. Kravet är att det ska gå att se samband mellan storheten i fråga och kostnaderna.

Innan man ställer upp själva modellen behöver man göra klart för sig vad det är man vill åstadkomma med dess hjälp. Detta gäller naturligtvis vad kostnaden ska avse samt särskilt precisionen och vilka känslighetsanalyser man vill kunna göra.

Varje parametrisk modell måste innehålla minst en så kallad CER (CER = Cost Estimation Relationship). En CER är alltid ett slags matematiskt samband, och de vanligaste formerna är algebraiska uttryck (jfr ekvation (1) ovan) och tabeller ur vilka värden kan slås upp.

En nyckelfråga för modellen är valet av arkitektur, och valet av parametrar som ska användas. Parametrarna kan vara direkt (t ex kvantitet) eller indirekt (t ex kvalitet) relaterade till kostnaden. Helst ska också parametrarna vara oberoende av varandra.

Vikt är en storhet som ofta är tillgänglig och det är därför ofta enkelt att använda vikt som en parameter. I många fall är det dock inte vikten i sig, utan vad som mer eller mindre samvarierar med vikten som är av intresse. Det finns exempel på när en onyanserad viktsfixering kan leda till suboptimering och förhöjda kostnader.

Det är viktigt att särskilda kostnadshöjande företeelser identifieras och beaktas. Sådan identifiering hänger nära samman med teknisk kompetens kring verksamheten i fråga. Här uppkommer lätt skillnader mellan kalkyler som görs i den egna organisationen och dem som görs av en extern konsult. Uppskattningar kan i detta avseende skilja ganska mycket mellan olika utförare. De kan ha olika förutsättningar för arbetet och utföra det på olika sätt. Att olika aktörer inte delar information av kommersiella skäl kan också spela en stor roll.

Bilaga B. Rekommendationer från expertgruppen i Kalifornien

Expertgruppen i Kalifornien[30-31] (se Avsnitt 3.3) lämnade synpunkter och rekommendationer vilka återges i sammandrag och mycket fri översättning i det följande. Framställningen ska ses som en komplettering till den generella beskrivningen i Avsnitt 3.3.

Expertgruppens genomgång av SINGS 2 och 3 samt DCPD ledde inte till att några orimliga omständigheter påträffades med hänsyn taget till förutsättningarna och den kunskap som fanns år 2008. Det finns ändå rekommendationer att lämna inför nästa gång som kostnadsuppskattningarna ska uppdateras, och dessa är som följer:

- 1 Havda kostnader ska användas för uppskattning av kostnader när så är tillämpligt. Havda kostnader behöver emellertid granskas för att rensas från diverse oförutsett som egentligen inte hör dit.
- 2 Enheter som arbetar med fysiskt och radiologiskt skydd bör involveras i arbetet för att säkerställa att en lämplig nivå har ansatts med hänsyn till de behov som föreligger under en nedläggningssituation. Detta behöver inte innebära att information av intresse ur icke-spridningssynpunkt (safeguard / non-proliferation) ska lämnas ut.
- 3 Verksamhetsutövarna bör utnyttja varje tillfälle som erbjuds för att få fram kvantitativa data för kontamination och aktivering eftersom sådana data har stor betydelse för rivningskostnaderna. Sådana tillfällen inkluderar ombyggnader, revisioner och annat underhåll av anläggningen. Data från strålskyddsverksamheten kan användas för att bedöma rimligheten i modeller och andra uppskattningar för aktivering och kontamination. Särskild uppmärksamhet bör ges åt svärmätta radionuklider såsom tritium och kol-14.
- 4 Verksamhetsutövarna bör dela data med varandra beträffande rivningsarbeten och med dessa sammanhängande kostnadsdata, när så är tillämpligt. Sådant delande av data ska dock inte ske i strid med behovet av att behålla affärshemligheter och liknande.
- 5 Ägarna bör överväga att använda gemensamma antaganden, när så är lämpligt. Expertgruppen föreslår att sådana antaganden ska omfatta bland annat hur man lever upp till myndighetskrav avseende sluttillståndet för området och alternativ för lågaktivt avfall inklusive respektive kostnader.
- 6 Den översiktliga uppställningen av kostnader för olika reaktorer bör upprättas på ett likartat sätt.
- 7 Sammanfattningarna i kostnadsredovisningarna bör innehålla en sammanställning av de olika förutsättningarna för kalkyleringen. Dessa bör indelas i följande kategorier:
 - Gemensamma antaganden enligt punkt 5
 - Omfattningen av kontaminationen av anläggningar och mark
 - Volymerna lågaktivt avfall och farligt avfall (motsvarande farligt avfall enligt den svenska avfallsförordningen) när arbetena påbörjas
- 8 Panelen rekommenderar att resultaten jämförs i en sammanfattning som innefattar följande:
 - Olika typer av arbetskraftskostnad, totalt och för varje period
 - Motsvarande för fysiskt skydd (exklusive safeguard)
 - Genomsnittliga kostnader för olika kategorier arbetskraft
 - Volymerna avfall av olika slag som lämnat området

- Huvudsakliga kostnader för olika aktiviteter och perioder, uppställda på ett sådant sätt att de kan jämföras mellan olika enheter.

9 - 12 Dessa punkter avser förhållanden som är specifika för reaktorerna i Kalifornien och refereras därför inte här.

Ovanstående kan jämföras med den "jämförelserapport"[16] som SKB utfärdat. Naturligtvis är det önskvärt att olika poster hanteras på ett likartat sätt i olika rapporter även om de kommer från olika företag. Ännu viktigare är dock att kostnaderna blir belysta och uppskattade från olika håll, så som nu också har skett.



2012:64

Strålsäkerhetsmyndigheten har ett samlat ansvar för att samhället är strålsäkert. Vi arbetar för att uppnå strålsäkerhet inom en rad områden: kärnkraft, sjukvård samt kommersiella produkter och tjänster. Dessutom arbetar vi med skydd mot naturlig strålning och för att höja strålsäkerheten internationellt.

Myndigheten verkar pådrivande och förebyggande för att skydda människor och miljö från oönskade effekter av strålning, nu och i framtiden. Vi ger ut föreskrifter och kontrollerar genom tillsyn att de efterlevs, vi stödjer forskning, utbildar, informerar och ger råd. Verksamheter med strålning kräver i många fall tillstånd från myndigheten. Vi har krisberedskap dygnet runt för att kunna begränsa effekterna av olyckor med strålning och av avsiktlig spridning av radioaktiva ämnen. Vi deltar i internationella samarbeten för att öka strålsäkerheten och finansierar projekt som syftar till att höja strålsäkerheten i vissa östeuropeiska länder.

Strålsäkerhetsmyndigheten sorterar under Miljödepartementet. Hos oss arbetar drygt 250 personer med kompetens inom teknik, naturvetenskap, beteendevetenskap, juridik, ekonomi och kommunikation. Myndigheten är certifierad inom kvalitet, miljö och arbetsmiljö.

Strålsäkerhetsmyndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

SE-171 16 Stockholm
Solna strandväg 96

Tel: +46 8 799 40 00
Fax: +46 8 799 40 10

E-mail: registrator@ssm.se
Web: stralsakerhetsmyndigheten.se