

Bilaga 2 - Granskning av osäkerhetsanalysen i Plan 2019

Sammanfattning

- Resultatet av osäkerhetsanalysen har en central roll i beräkning av kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp. För det första ger analysen ett osäkerhetspåslag i respektive reaktorinnehavares grundkostnader. Grundkostnaderna används sedan som underlag av Riksgälden för beräkning av kärnavfallsavgifter, kompletteringsbelopp och finansieringsbelopp. För det andra ger analysen ett mått på den totala risken i programmets kostnader.
- I vissa avseenden har osäkerhetsanalysen i Plan 2019 förbättrats jämförts med tidigare år. Antalet riskfaktorer (variationer) är något färre, SKB:s beskrivning av fasta förutsättningar är tydligare och expertgruppens bedömningar av hög- och lågvärden i trepunktskattningarna görs nu vid 90:e respektive 10:e percentilen. Åtgärderna har förenklat myndighetens granskning av underlaget och är troligen en förklaring till att den totala risken, mätt som standardavvikelse relativt medelvärdet, har ökat något från 13 procent i den förra kostnadsberäkningen till 16 procent i den nu aktuella.
- Trots förbättringarna kvarstår flera brister i osäkerhetsanalysen:
 - Detaljeringsgraden i analysen är alltför hög. Den höga detaljeringsgraden medför att analysarbetet blir omfattande och svåröverblickbart, och kan ge en falsk bild av exakthet. Att beräkningsmodellen består av många Excelflikar med en hög grad av manuellt arbete adderar också en lager av komplexitet som försvårar arbetet med kvalitetssäkring och analys.
 - För många variationer med för låg eller ingen inbördes samvariation används, vilket medför att det uppstår en diversifieringseffekt som bidrar till att hålla nere standardavvikelsen.
 - Analysgruppens sammansättning, där majoriteten av medlemmarna och moderatorn har koppling till kärnkraftsindustrin, innebär en risk för bias i bedömningarna.
 - Det krävs mer analys avseende rimligheten i egenskaperna och formen på den resulterande kostnadsfördelningen.
 - Osäkerhetsmodellen saknar tekniska förutsättningar att simulera tidsfördelade osäkerheter, vilket bland annat medför att tidsförskjutningar inte simuleras ändamålsenligt.

- Riksgäldens bedömning är att ovanstående brister leder till att den totala risken i kostnaderna troligen är underskattad. Detta bekräftas av indikativa jämförelser med spridningen i kostnader för andra stora infrastrukturprojekt.

Bakgrund

Den 30 september 2019 inkom Svensk Kärnbränslehantering (SKB) med Plan 2019, som är en bedömning av de förväntade kostnaderna för respektive reaktorinnehavares andel i kärnavfallsprogrammet (grundkostnader). Osäkerhetsanalysen, som är en del av kostnadsunderlaget som SKB lämnat in, används för två huvudsakliga ändamål. För det första beräknas det påslag som behövs från att gå från SKB:s deterministiska ingenjörsräkning till de förväntade kostnaderna. Grundkostnaderna används som underlag av Riksgälden för beräkning av kärnavfallsavgifter, kompletteringsbelopp och finansieringsbelopp. För det andra kvantifierar osäkerhetsanalysen en fördelning över återstående kostnader för respektive reaktorinnehavare. Fördelningen är en bedömning av risken på skuldsidan i en reaktorinnehavares balansräkning som tidigare låg till grund för beräkning av kompletteringsbeloppet.

I föregående avgiftsförslag bedömde Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) att brister i osäkerhetsanalysen medförde att den totala risken i kärnavfallsprogrammet troligen underskattades. Myndigheten överlämnade till SKB förslag på åtgärder att implementera inför denna kostnadsberäkning.

Syftet med denna underlagsrapport är att granska osäkerhetsanalysen i Plan 2019 samt följa upp hur SKB har hanterat tidigare brister som påtalats.

Beskrivning av osäkerhetsanalysen

Osäkerhetsanalysen består av två delar i kombination: en tillämpning av den så kallade *successiva principen* och en stokastisk beräkningsmodell. I nedanstående kapitel görs en beskrivning av respektive del. För en mer utförlig beskrivning av osäkerhetsmodellen hänvisas till SSM granskning 2017¹ samt SKB:s beskrivning i Plan 2019, Flik 9².

Tillämpning av den successiva principen

Den successiva principen (även kallad successivprincipen eller Lichtenbergsmetoden) utvecklades på 70-talet av Steen Lichtenberg vid Danmarks Tekniska Högskola. Metoden används för att bedöma framtida kostnader och osäkerheter för ett projekt. Metoden vilar på fyra grundpelare:

1. Acceptera osäkerheten – framtiden är osäker, identifiera och eliminera osäkerheter
2. Statistisk beräkningsmetod – trepunktsskattning av samtliga osäkerheter för att beräkna en sannolikhetsfördelning av utfallen med ett medelvärde, standardavvikelse, osv.
3. Top-down teknik – alla kostnadsposter görs uppifrån och ner, osäkra poster bryts ner successivt till mer detaljerade bedömningar
4. Generella osäkerheter – utöver objekten används även osäkerheter som påverkar en eller flera objekt (konjunktioner, lagstiftning, osv.)

Successiv kalkylering är en någorlunda etablerad metod i projektsammanhang. I Norge är alla statliga investeringar i infrastrukturprojekt större än 500 miljoner NOK förpliktade att genomgå en kvalitetssäkring avseende koncept och kostnad för olika projektfaser. Kvalitetssäkringen innebär bland annat att en osäkerhetsanalys måste göras för projektets kostnader i ett tidigt skede.

¹ SSM2015-3606-7

² Plan 2019, Underlag för kostnadsberäkningar, SKB

Budgetramen för statliga projekt baseras normalt sett på beräknade kostnader runt 85:e percentilen i fördelningen³. Trafikverket i Sverige använder sedan början av 00-talet successiv kalkylering för kostnadskalkylering av alla projekt över 100 miljoner kronor⁴. Trafikverket använder resultatet av osäkerhetsanalysen för att ge projektledningen för objektet en second opinion om projektets kostnad och osäkerheter. Finansieringsbehoven beräknas dock med traditionella kalkyler. Även SSM har använt successiv kalkylering 2017 i samband med beräkning av de så kallade *merkostnaderna*, dvs. kostnader för statens tillsyn och vissa kommuners informationsinsatser i kärnavfallsprogrammet.

Centralt för arbetet är en arbetsgrupp, av SKB kallad *analysgrupp*, som enligt metoden ska bestå av personer med olika kompetenser och vara heterogent sammansatt vad gäller ålder, befattning, osv. I osäkerhetsanalysen i Plan 2019 består analysgruppen av 11 personer (5 kvinnor och 6 män) med bakgrund från SKB, Vattenfall, Barsebäck Kraft AB, Boverket och olika konsultbolag. Analysgruppen leds av en moderator som har till uppgift att säkerställa att arbetet sker på ett metodmässigt korrekt sätt samt att arbetets mål uppnås. Moderatoren i osäkerhetsanalysen är planarbetets projektledare (från SKB).

En av arbetsgruppens roller är att inventera *generella osäkerheter*. I SKB:s analysgrupp sker inventering genom diskussioner (eller brainstorming) inom sex fördefinierade områden: samhälle, ekonomi, genomförande, organisation, teknik och kalkylering. Inventering av *objektosäkerheter*, dvs. osäkerheter som bara påverkar ett enda objekt, görs först inom planprojektet och bygger i huvudsak på en nedbrytning av kalkylen som blivit praxis genom åren, dvs. redovisning efter anläggning eller kostnadsslag.

Förslag på uppdelning presenteras sedan för analysgruppen, där diskussion om eventuella förändringar sker. Totalt används i denna analys 84 osäkerhetsfaktorer, varav 48 är objektspecifika och 36 är generella. SKB har även definierat *fasta förutsättningar* som har till syfte att avgränsa analysen. Analysgruppen ska inte ta upp osäkerheter som faller utanför de ramar som de fasta förutsättningarna ger.

Analysgruppen har också som roll att värdera de identifierade osäkerheterna. Värderingen sker genom en trepunktsskattning, där lågvärde, mest troligt-värde och högvärde bedöms för varje osäkerhet. Bedömningarna är analysgruppens subjektiva värderingar, dock givetvis baserat på den erfarenhet och bakgrund som varje deltagare har. Här har moderatoren en viktig roll för att leda diskussionerna och ingripa vid ohälsosamma tecken såsom dominans, stress, konflikter eller passivitet. När en osäkerhet har värderats kallas den istället för *variation*.

För objektvariationerna hämtas det mest troliga värdet från den tekniska beräkningen i ingenjörskalkylen, analysgruppen gör alltså ingen skattning av troligt värde för objektvariationen. För de variationer som rör de så kallade externa ekonomiska faktorerna (EEF) gör analysgruppen heller ingen bedömning. Inputvärden för dessa variationer baseras istället på de konfidensintervall som erhålls av SKB:s statistiska prognosmodeller. För generella variationerna ansätts troligt värdet till noll, eftersom generella osäkerheter är definierade relativt objekten. Ett troligt värde på noll innebär således att det inte föreligger någon avvikelse från det definierade villkoret. Konfidensgraden i osäkerhetsanalysen i Plan 2019 är 10 procent för lågvärdet och 90 procent för högvärdet.

³ *Alternative scenarier til kostnads- og usikkerhetsanalyse - Sluttlagringen for svensk kjernekravfall 2013*, NTNU 2016

⁴ *Handledning Successiv kalkylering inkl Lathund Anläggningskostnader*, Vägverket och Banverket, 2009

För de flesta variationer görs bedömningar för hög- och lågvärde som procentuella påslag eller avdrag på kostnader, men andra typer av bedömningar förekommer också, exempelvis storlek på försvarsutrymmen eller olika typer av absoluta kostnadsavdrag/påslag.

Probabilistisk beräkningsmodell

Den probabilistiska modellen ska beräkna fördelningsfunktioner för alla variationer baserat på analysgruppens bedömningar och därefter göra Monte Carlo-simuleringar för att skapa en sannolikhetsfördelning för de totala kostnaderna. Beräkningarna i osäkerhetsanalysen görs i en Excelmodell utvecklad av SKB med tillhörande underlagsfiler.

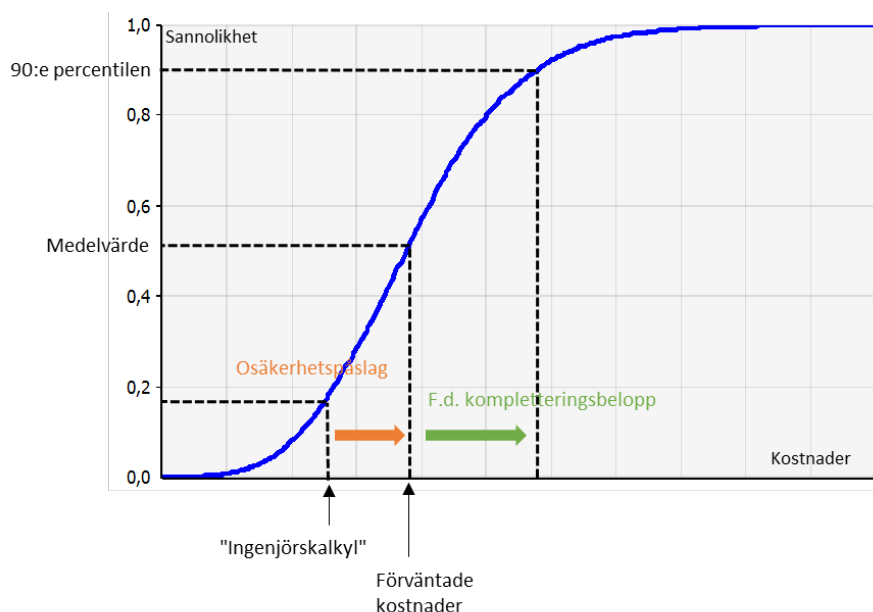
Modellen kan bara hantera två typer av fördelningsfunktioner; betafördelning och binär fördelning (som kan anta 1 eller 0). Betafördelningar används för majoriteten av variationerna. En kombination av båda fördelningarna används för att beskriva sannolikheten för ett visst utfall i kombination med effekten betingat händelsen, exempelvis variationen *ny lokaliseringsprocess för kärnbränsleförvaret* (nr. 203), dvs. risken att tillstånd inte erhålls för att bygga Kärnbränsleförvaret i Forsmark som planerat. Sannolikheten för den händelsen bedöms av analysgruppen till 0,23 procent (beräknat som medelvärde av gruppens individuella bedömningar) och effekten, att hela programmet skjuts framåt i tiden, bedöms enligt lågalternativet till 7 år och enligt högalternativet till 25 år.

I modellen är det möjligt att ansätta korrelationsfaktor(er) mellan en eller flera av de variationer som bedöms samvariera i någon grad. I osäkerhetsanalysen i Plan 2019 används ett sådant samband för variationen *marknadssituation vid upphandling av entreprenader för avveckling av kärnkraftverk* (nr. 113) och *tillgång till kompetens vid avveckling av kärnkraftverk* (nr. 405). Korrelationsfaktorn mellan de två variationerna har satts till 0,5.

Utöver korrelationer används även en teknik som SKB kallar *skalfaktor*. När utfallet för en generell variation beräknas i en simuleringscykel tas hänsyn till utfallet av objektvariationen i den aktuella beräkningscykeln. Detta görs genom att utfallet för den generella variationen multipliceras med en faktor som utgör förändringen mellan den simulerade objektkostnaden och referensvärdet för samma objekt i aktuell simuleringscykel. Därmed skalas utfallen för de generella variationerna med utfallen för objektvariationerna.

Excelmodellen kan inte utföra beräkningar på tidsfördelade kostnader, alltså måste först effekten av respektive variations hög- och lågvärde på grundkalkylen summeras. Summeringen görs i ett stort antal Excelflikar i fristående filer som sedan kopieras in som inputvärden i Excelmodellen. Den stokastiska adderingen i Excelmodellen sker genom Monte Carlo-simulering. Varje variation antas vara en stokastisk variabel och utfallet för varje stokastisk variabel bestäms av ett slumpstal. Då utfall för alla stokastiska variabler har erhållits summeras utfallen för respektive objekt. Summeringen upprepas 5000 gånger för att erhålla en kumulativ fördelningsfunktion (S-kurva), se principiell figur nedan.

Figur 1. Principiell S-kurva för osäkerhetsanalysens resultat



Skillnaden mellan den så kallade *ingenjörskalkylen*⁵ och medelvärdet av utfallet i osäkerhetsmodellen benämns *osäkerhetspåslag* av SKB (orange pil i figuren). Osäkerhetspåslaget är alltså ett tillägg till underlagskalkylerna för att erhålla förväntade kostnader (grundkostnader). De förväntade kostnaderna är uttrycka som en summa över alla år som kalkylen avser, fram till år 2080.

Enligt 5 § finansieringslagen framgår dock att grundkostnader avser årliga förväntade kostnader, vilket också krävs för att Riksgälden ska kunna beräkna avgifter och säkerhetsbelopp. Fördelningen genomförs med en metod som SKB kallar *stretchning*. Metoden innebär att det odiskonterade osäkerhetspåslaget läggs på med ett fast årligt belopp för de återstående kostnaderna från 2024. Därefter har kostnaderna sträckts ut i tiden så att nuvärdet av kostnaderna (beräknat med en diskonteringsräntekurva från 2018-12-31 och enligt den metod som användes i myndighetens föregående avgiftsförslag) i den utsträckta kurvan överensstämmer med resultatet i simuleringen⁶. Enligt metoden erhålls årliga förväntade sträckta kostnader, nu fram till 2080, som överensstämmer med medelvärdet av det odiskonterade och diskonterade beloppet i osäkerhetsanalysen.

⁵ Ingenjörskalkylen består i praktiken av många underlagskalkyler, rivningsstudier, avvecklingsstudier, etc. baserade på ingenjörsmässiga antaganden om volymer och priser. Ingenjörskalkylen avser i denna PM kostnader uppräknade med historiska och framtida bedömningar av pris- och löneförändringar avseende programmets insatsfaktorer.

⁶ 1879093 - SKBs svar på Riksgäldens begäran om kompletterande information och underlag för Plan 2019 avseende punkt 7, SKB

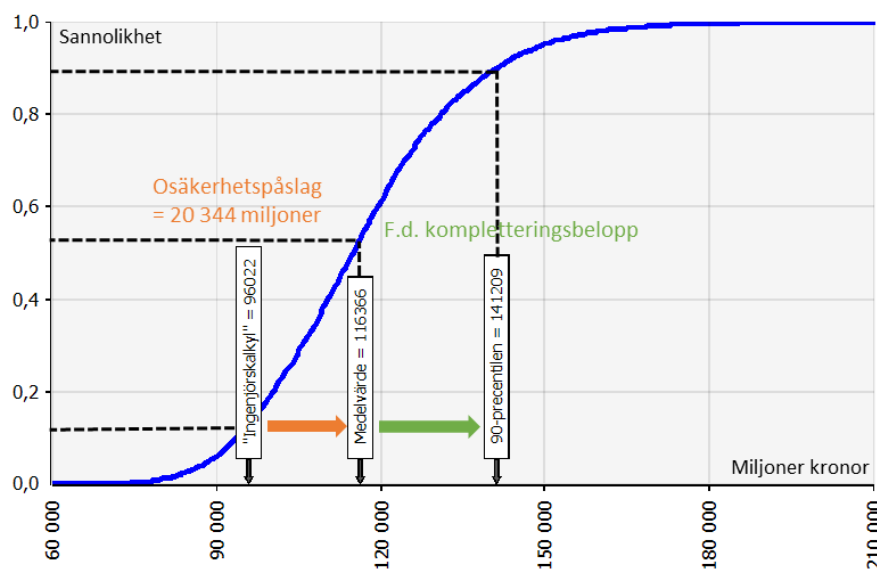
Osäkerhetsanalysens resultat

Som beskrivits tidigare producerar osäkerhetsanalysen två huvudsakliga resultat. Dels ger analysen ett påslag till ingenjörskalkylen för att erhålla förväntade kostnader, dels ger analysen underlag för de risker som finns i de återstående kostnaderna.

Resultat från SKB:s beräkningar

Osäkerhetsanalysens resultat som redovisas här baseras på totala reala odiskonterade kostnader, 50 års drifttid för reaktorerna och beräkningar av EEF enligt det underlag som används för Riksgäldens beräkningar av kärnavgifter⁷. Ovan nämnda kostnadsberäkning ligger också till grund för myndighetens beräkning av kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp. SKB gör inte någon fördelning av kostnader mellan reaktorinnehavare i osäkerhetsanalysen och dessa redovisas därför inte heller här. De totala kostnaderna (för alla reaktorinnehavare) kan illustreras som en kumulativ fördelningsfunktion (S-kurva), se figur 2 nedan.

Figur 2. Osäkerhetsanalysens resultat illustrerat som en S-kurva (miljoner kronor)



Källa: SKB.

Som figuren ovan visar blir medelvärdet av simuleringarna 116 miljarder kronor, vilket innebär ett osäkerhetspåslag på 20 miljarder kronor (orange pil i figuren). Relativt ingenjörskalkylen blir påslaget 21 procent, vilket i stort sett är oförändrat med osäkerhetsanalysen i föregående kostnadsredovisning, Plan 2016. Eftersom analysgruppen inte gör bedömning av mest troligt-värde för varken objektsäkerheter eller generella osäkerheter, så beror ökningen relativt ingenjörskalkylen på högerskevhet (positiv skevhet) i fördelningarna. Med andra ord bedömer analysgruppen att konsekvensen för dåliga utfall är högre än konsekvensen för goda utfall (vid samma konfidensgrad).

Riksgäldens känslighetsanalys

För att undersöka känsligheten av vissa antaganden har Riksgälden genomfört scenarioanalyser med varierande antaganden i SKB:s osäkerhetsmodell, dels genom att nollställa hög- och lågvärden

⁷ Enligt SKB:s terminologi: Gul Modell 0 % 50+ alt eef,

för alla generella variationer, dels genom att anta att hög- och låg-värdena för objektvariationerna är lika med referensvärdena.

Att nollställa alla generella variationer minskar medelvärdet med ca 18 miljarder jämfört med ursprungsanalysen och ger en standardavvikelse på ca 4 % relativt medelvärdet. När hög- och låg-värdena för objektvariationerna antas vara lika med referensvärdena så minskar medelvärdet med ca 4 miljarder relativt ursprungsanalysen och standardavvikelsen relativt medelvärdet blir ca 15 procent. Analysen visar att de generella variationerna har betydligt större inflytande än objektvariationerna på både osäkerhetspåslaget och på den beräknade standardavvikelsen (risken) i kostnaderna.

Riksgälden har även undersökt effekterna av att nollställa hög- och lågvärden för variationer som rör EEF. Detta ger ett oförändrat medelvärde och en minskning av den absoluta standardavvikelsen med ca 600 miljoner (och en minskning av p90 med ca 1 miljard). I SKB:s beräkningar har således EEF-variationerna låg betydelse för osäkerhetspåslaget och den totala risken i kostnaderna.

SKB:s bedömning av de mest betydelsefulla riskerna

SKB har i underlaget till Plan 2019 redovisat vilka variationer som anses bidra mest till medelvärdet av kostnaderna, se tabell nedan. Beräkningen bygger på vad SKB beskriver som en "alternativ metod" då det anses för tidskrävande att göra en ny fullständig simulering med varje variation undantagen⁸.

I SKB:s lista över de tio mest betydelsefulla riskerna återfinns *lagstiftning och myndighetskrav – avveckling av kärnkraftverk* (nr. 102) i toppen. Nio av de tio mest betydelsefulla variationerna består av generella variationer. Således bekräftas Riksgäldens slutsats att de generella variationerna är mest betydelsefulla för medelvärdet.

Tabell 1. De tio mest betydelsefulla variationerna för medelvärdet, 1 procent rak diskontering

Rank	Variation
1	102 - Myndighetskrav avveckling
2	201 - Tidpunkt för tillstånd KBS-3
3	204 - Driftstörningar i KBS-3-systemet
4	209 - Realism i kostnadsuppskattningar - SFK
5	103 - Myndighetskrav konventionell verksamhet
6	403 - Inlärningseffekt vid avveckling av kärnkraftverken
7	202 - Tid för uppförande och driftsättning KBS-3
8	115 - Projekteringsunderlag - SKB
9	101 - Myndighetskrav kärnteknik utom avveckling
10	801 - Objekt 1: SKB centralt

Källa: SKB

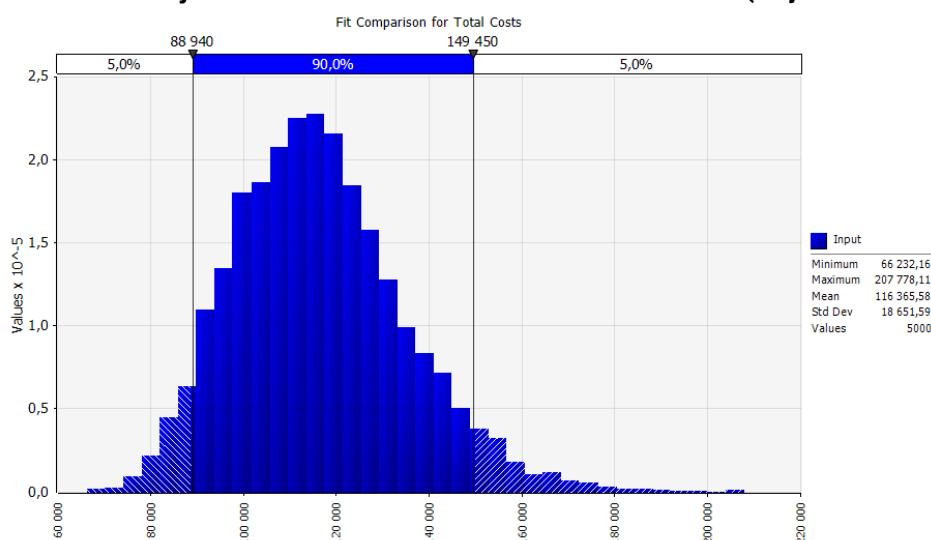
⁸ Simulering i SKB:s modell med 5000 cykler på Riksgäldens datorer tar ca 20 min. Simulering med en variation undantaget åt gången skulle därmed ta ca 84 x 20 min = 1680 min = 28 timmar

Jämförelse med den förra kostnadsberäkningen

Medelvärdet för osäkerhetsanalysen i Plan 2019 är 116 miljarder kronor i reala termer (prisnivå januari 2019), vilket är samma som medelvärdet i osäkerhetsanalysen i Plan 2016 (prisnivå januari 2016). Oförändrat medelvärde ska dock inte tolkas som oförändrad kostnadsuppskattning. Exempelvis är det olika prisnivåer och tre år med kostnader har realiserats mellan 2016 och 2019.

Därtill görs en annan bedömning av elproduktion och därmed en annan bedömning av antalet kapslar med använt kärnbränsle som ska slutförvaras. Om ovanstående effekter tas i beaktande har ingenjörskostnaderna enligt SKB ökat med 5,3 procent mellan Plan 2016 och Plan 2019. Av figur 3 framgår även att de totala kostnaderna enligt analysen med 90 procent sannolikhet beräknas vara mellan 149 och 89 miljarder kronor. Figuren nedan visar även de totala kostnaderna är begränsade till som lägst 66 och som högst 208 miljarder kronor.

Figur 3. Osäkerhetsanalysens resultat illustrerad som en täthetsfunktion (miljoner kronor)



Källa: egna beräkningar med data från SKB.

Granskning av osäkerhetsanalysen

I detta avsnitt framgår Riksgäldens granskning av osäkerhetsanalysen i Plan 2019. Granskningen omfattar de områden som anses särskilt kritiska för analysens resultat och som tidigare varit föremål för granskning. Dessa områden är:

- Beräknad risk i de totala kostnaderna.
- Antal variationer och samvariation mellan dessa.
- Tillämpning av metoden för successiv kalkylering.
- Fasta förutsättningar för osäkerhetsanalysen.
- Simulering på summerade värden.

SSM har tidigare granskat osäkerhetsanalysen, främst i samband med tidigare beräkningar och förslag till kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp. Synpunkter som framförts i tidigare granskningar beskrivs under respektive avsnitt. Riksgälden har i denna granskning utgått från beskrivningar av

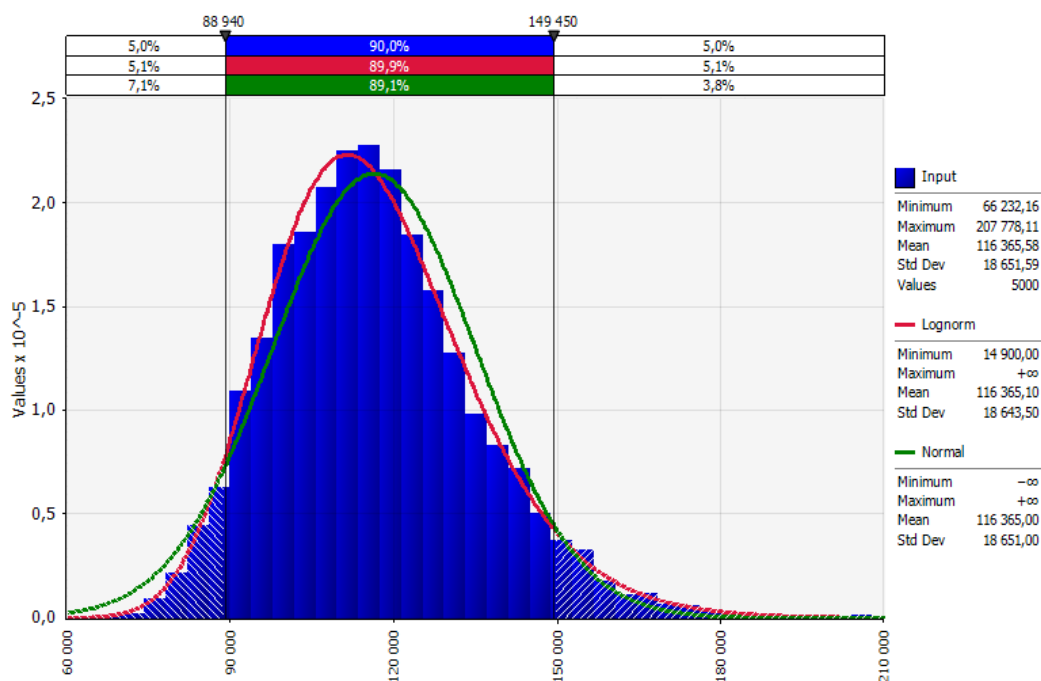
modellen och processen i Plan 2019, erhållet Excelunderlag (inklusive beräkningsmodellen), samt inkomna kompletteringar från SKB.

Beräknad risk i de totala kostnaderna

SKB:s beräkningar

Figur 4 visar osäkerhetsanalysens totala kostnader illustrerad som en täthetsfunktion (blåa staplar) samt en distributionspassning av funktionen. En lognormal fördelning ger bästa passning (röd linje) och en normalfördelning (grön linje) ger en något sämre passning. Illustration av distributionen och distributionsanpassningen har gjorts med mjukvaran *Palisade @Risk*, som är in insticksmodul till Excel. Underlaget består av Monte-Carlo simuleringens 5 000 utfall i osäkerhetsanalysen (med samma kostnadsberäkning som diskuterades tidigare).

Figur 4. Osäkerhetsanalysens resultat illustrerad som en täthetsfunktion med distributionspassning



Källa: egna beräkningar och SKB.

Standardavvikelsen relativt medelvärdet är ett mått på total osäkerhet i kostnaderna. Den relativa standardavvikelsen för osäkerhetsanalysen i Plan 2019 är 16 procent (19 miljarder kronor i absoluta termer), vilket är en ökning från 13 procent i osäkerhetsanalysen i Plan 2016 och 10 procent i osäkerhetsanalysen i Plan 2013.

I en komplettering till Riksgälden i januari 2020⁹ beskriver SKB att ökningen av standardavvikelsen beror på en kombination av flera olika faktorer:

⁹ 1885040 – SKBs svar på Riksgäldens begäran om kompletterande information och underlag för Plan 2

- Analysgruppen har gjort nya högre bedömningar för vissa av variationer, bland annat *drift av Clab* (nr. 505), *Kärnbränsleförvaret* (nr. 515) och *lagstiftning och myndighetskrav för kärnteknisk verksamhet* (nr. 101).
- Vidare har tio generella faktorer slagits ihop till tre, vilket ökat variationskoefficienten.
- Analysgruppen har gjort värdering av hög- och lågvärden vid en konfidens om 90 procent (istället för 99 procent) respektive 10 procent (istället för 1 procent). SKB anser dock att det är svårt att bedöma i vilken utsträckning de nya värderingarna har påverkat resultaten.

Riksgäldens bedömning

Riksgälden delar i huvudsak SKB:s bedömning att ökningen av standardavvikelsen beror på en kombination av flera faktorer, bland annat att variationer slagits samman i analysen men även att korrelations samband mellan variationer införts (mer om detaljeringsgraden i analysen i nästa avsnitt). Detta är i linje med de rekommendationer som SSM tidigare lämnat till SKB.

I SSM:s förslag till kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp för 2018-2020 framfördes att en standardavvikelse på 13 procent är orimligt låg¹⁰. Bedömningen grundades delvis på slutsatser från Norges Tekniska och Naturvetenskapliga Universitet (NTNU), som anlätts av SSM för dess specialistkunskap inom osäkerhetsanalyser för stora infrastrukturprojekt. Genom empiriska undersökningar och vissa antaganden om mognadsgrad utifrån projektets karaktär (extrem lång tidshorisont och hög teknisk komplexitet), visade NTNU att standardavvikelsen i programmet borde vara närmare 20-25 procent¹¹. År 2011 beställde SSM ett utlåtande av osäkerhetsanalysen i Plan 2010 av upphovsmannen till den successiva principen, Sten Lichtenberg (tillsammans med Lorens Borg)¹². Enligt utlåtandet har stora anläggnings- och infrastrukturprojekt utan större inslag av forskning och utveckling typiskt en standardavvikelse i området 20-25 procent, vilket alltså borde ses som ett minimum för kärnavfallsprogrammet. Lichtenbergs bedömning var således att den totala risken i programmet troligen var underskattad.

Formen på kostnadsfördelning i figuren ovan är delvis ett resultat av vilken fördelning som antas representera analysgruppens bedömningar. I detta syfte använder SKB företrädesvis Beta-fördelningen. Betafördelningen är i sin normalform definierad mellan 0 och 1. I beräkning av betafördelningens parametrar transformeras funktionen för att motsvara analysgruppens bedömningar som kan anta alla negativt eller positiva tal gjorda vid 90:e respektive 10:e percentilen. Resultatet av adderingen av alla stokastiska fördelningar i beräkningsmodellen resulterar i en total fördelning över förväntade kostnader.

Enligt SKB har Beta-fördelningen valts delvis eftersom den har ändligt intervall (även för att den genom varierande parameterintervall kan hantera en hög snedfördelning mellan min och max relativt det troliga värdet från grundkalkylen). Att anta att kostnaderna har en undre gräns kan anses rimligt, men Riksgälden anser inte det en självklarhet att kostnaderna ska antas ha en övre gräns.

Kärnavfallsprogrammet är förknippat med stora osäkerheter avseende omfattning, duration och genomförande. Analysen bör därmed inte utgå ifrån, utan närmare analys, att det finns ett tak på slutkostnaden, även om sannolikheten för extremt höga kostnadsutfall är låg.

¹⁰ SSM2016-5513-66

¹¹ SSM2015-3606-6

¹² SSM2011-153-28

Sammantaget ser Riksgälden positivt på SKB:s beräkningar av den totala risken för programmets kostnader tar succesiva steg mot en mer realistisk bild, men bedömningen att den totala osäkerheten är fortsatt påtagligt underskattad kvarstår.

Antal variationer och samvariation

SKB:s beräkningar

Som nämnts tidigare är detaljeringsgraden hög i osäkerhetsanalysen. Totalt består osäkerhetsanalysen av 84 variationer, varav 48 är objektspecifika och 36 är generella. I osäkerhetsanalysen i Plan 2016 användes totalt 99 variationer, varav 52 var objektspecifika och 47 var generella. Minskningen med totalt 15 variationer förklaras av att fyra variationer utgått och tio variationer har slagits ihop till tre. Dessutom har kalkylstrukturen förändrats så att antalet objektvariationer minskat från 52 till 48.

I SSM:s förslag till kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp för 2018-2020 framfördes att den totala osäkerheten i programmet troligen är underskattad eftersom ett stort antal variationer används med låg inbördes samvariation. Vid ett möte med SKB den 25 januari 2019 framfördes vidare att antalet variationer i kommande osäkerhetsanalys bör minskas genom sammanslagning¹³.

Riksgäldens bedömning

I granskningen av osäkerhetsanalysen i Plan 2010 anlätades Steen Lichtenberg och Lorens Borg, tillika upphovsmän till den successiva principen, att granska osäkerhetsanalysen. I sin granskningsrapport skriver de (översatt från skandinaviska):

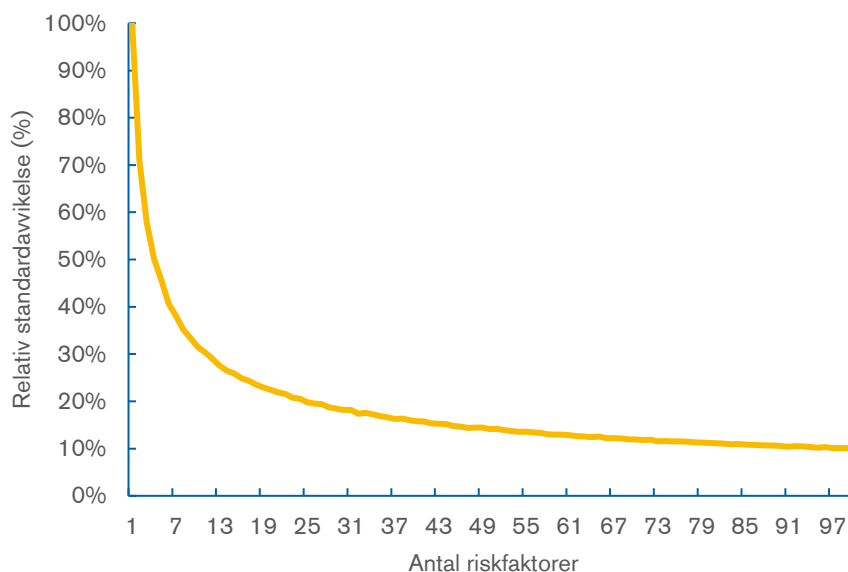
”Ett så stort antal bedömningar bidrar inte mycket till att höja resultatets kvalitet. Detta beror på att ömsesidiga beroenden inte identifieras. Det stora antalet kan istället skugga ett antal viktiga gemensamma bakomliggande osäkerhetsfaktorer ... Typiskt dominerar ca. tio osäkerhetsfaktorer resultatets totala osäkerhet. Om man fördubblar detta antal (med oförändrad relativ spridning och oförändrad förutsättning om oberoende), halverar man principiellt den totala variansen. Med detta förfarande ökar de potentiella inbördes beroendena och motsvarande kovarianser. Därför är den lägre varianssumman för liten. I det här fallet tredubblar man antalet. Här återfinns sannolikt en väsentlig orsak till den lilla osäkerheten i SKB:s resultat¹⁴.”

Författarna pekar alltså på att ett (för) stort antal variationer ger svårigheter att modellera inbördes samvariationer och därmed till att den totala risken i projektet underskattas.

Fenomenet kan principiellt illustreras i figur 5, nedan. Figuren visar hur den totala beräknade standardavvikelsen i ett projekt påverkas om en given osäkerhetsfaktor delas in i flera ömsesidigt okorrelerade osäkerhetsfaktorer med bibehållen total spridning. Beräkningarna bygger på PERT-fördelningar och 10 000 simuleringar.

¹³ *Inför Plan 2019 2019-01-25, Riksgälden*

¹⁴ *Granskning av SKB:s användning av den successiva kalkylmetoden – undersökning av SKB:s kostnadsberäkningar för Plan 2010, Lichtenberg & Borg*

Figur 5. Standardavvikelse som funktion av antalet oberoende riskfaktorer

Källa: egna beräkningar.

Som framgår figur 5 avtar den beräknade standardavvikelsen snabbt och redan efter en indelning av den ursprungliga variationen i fyra oberoende variationer har standardavvikelsen halverats, jämfört med om osäkerheten hade modellerats med en variation.

Variationerna i osäkerhetsanalysen i Plan 2019 kan nästintill ses som oberoende, förutom en enstaka korrelation mellan variationen *marknadssituation vid upphandling av entreprenader för avveckling av kärnkraftverk* (nr. 113) och *tillgång till kompetens vid avveckling av kärnkraftverk* (nr. 405) (med korrelationsfaktor 0,5). Användandet av skalfaktorn, som gör att utfallet för en generell variation multipliceras med en faktor som utgör förändringen mellan den simulerade objektkostnaden och referensvärdet för samma objekt, bidrar till att öka den totala standardavvikelsen marginellt¹⁵.

Ett stort antal variationer tillsammans med SKB:s antaganden om låg samvariation mellan variationerna är en viktig förklaring till den låga relativa standardavvikelsen i osäkerhetsanalysen i Plan 2019.

För att få en mer rättvisande bild av osäkerheterna är det därför av stor vikt att de samband som finns mellan variationer identifieras och hanteras på ett korrekt sätt i osäkerhetsanalysen. Problemet kan principiellt hanteras på två sätt beroende på hur starkt variationerna bedöms samvariera; dels finns det variationer som förefaller reflektera samma underliggande osäkerhetsfaktor och därför skulle kunna slås samman (motsvarande fullständig korrelation), dels finns det ytterligare variationer som bör antas vara korrelerade i viss grad. Exempelvis ställer sig Riksgälden frågande till att objektvariationerna 601, 701, 801 och 901 (avvecklingsförberedelser och avställningsaktiviteter)

¹⁵ Riksgälden testade genom att sätta skalfaktorerna till 1 för alla objektvariationer i den aktuella kostnadsberäkningen. Detta gjorde att standardavvikelsen relativt medelvärdet minskade med ca 0,6 procentenheter.

antas vara helt oberoende av varandra i analysen, vilket SSM även påtalade i granskningen av osäkerhetsanalysen i Plan 2016¹⁶. Tvärtom finns det anledning att förvänta sig att stora delar av avvecklingsarbetet påverkas av samma riskfaktorer. Variationerna hanteras dessutom gemensamt av analysgruppen då bedömningar på hög- och lågvärde görs. Givet att riskbilden huvudsakligen delas mellan kärnkraftverken, med några undantag för platsspecifika faktorer och när i tiden som arbetet planeras genomföras, borde ett mer rimligt antagande vara att variationerna är starkt korrelerade (eller till och med kan slås ihop).

Riksgälden bedömer att för många variationer används med låg inbördes samvariation i osäkerhetsanalysen i Plan 2019. Att använda ett så stort antal variationer som SKB gör försvårar möjligheterna att skatta och bedöma korrelationerna mellan dem, vilket leder till att den totala osäkerheten underskattas även i de fall analysgruppens bedömningar av respektive variations osäkerhetsintervall är väl tilltagna.

Tillämpning av successiv kalkylering

SKB:s metod

I syfte att identifiera och värdera osäkerheter i kärnavfallsprogrammet använder SKB successiv kalkylering, se avsnitt 2.1. Analysgruppen har, som tidigare diskuterats, en central roll - gruppens subjektiva identifiering och värdering av variationer blir input till Monte Carlo-simuleringen i den stokastiska beräkningsmodellen. Tillämpningen av metoden och analysen genomförande får därför stor betydelse för analysens resultat.

I vissa avseende avviker SKB:s tillämpning av successiv kalkylering från metodens ursprungliga utformning. Enligt Lichtenberg ska arbetsgruppen för varje variation göra bedömningar av max-, mest troligt- och min-värde. Teoretiskt ska sedan bedömningarna av max och min representeras av 99:e respektive 1:e percentilen för vald fördelningsfunktion¹⁷. I osäkerhetsanalysen i Plan 2016 och tidigare Plan-rapporter gjorde analysgruppen bedömningar vid 99:e respektive 1:e percentilen för vald fördelningsfunktion (beta-fördelning). I osäkerhetsanalysen i Plan 2019 görs bedömningar istället vid 90:e respektive 10:e percentilen. Förändringen har implementeras till följd av synpunkter lämnade av SSM i föregående förslag till avgifter och säkerhetsbelopp. SSM gjorde med stöd av NTNU bedömningen att det är svårare för personer att göra bedömningar vid sannolikheten 1:100 än vid 1:10. Förklaringen ligger i "mindset" hos personerna som gör värderingen. Personer kan ha erfarenhet av 10 projekt, men ytterst få har erfarenhet av 100, vilket gör det svårt att greppa innebörden av en sådan extrem händelse som representeras av 99:e percentilen. Riksgälden ser positivt på förändringen eftersom detta torde mildra risken att modellerade fördelningsfunktioner får för korta svansar, dvs. att kostnadseffekten av extrema händelser underskattas.

Ytterligare ett avsteg som analysgruppen gör i osäkerhetsanalysen är att bedömningar inte görs för mest troligt värde för osäkerheterna. Mest troligt värde för objektsäkerheterna som input till simuleringen kommer istället från ingenjörskalkylen (uppräknat med trenden i reala pris- och löneutvecklingen) och mest troligt värdet för generella osäkerheter är noll (eftersom påslaget är relativt objektkostnaderna). SKB anser att analysgruppen inte har den tekniska bakgrund som krävs för att göra bedömning om troligt värde för objekten.

¹⁶ SSM2015-3606-7

¹⁷ *Projektplanlægning – i en foranderlig verden*, 1990, Sten Lichtenberg

Riksgäldens bedömning

I de flesta avseenden kan slutsatser i Lichtenbergs utlåtande fortfarande anses relevant eftersom den grundläggande metoden för analysen i stort sett är oförändrad mellan Plan 2010 och Plan 2019. Enlig utlåtanden är det ett "allvarligt metodfel" att analysgruppen inte gör bedömningar på mest troligt värde för osäkerheterna. Lichtenberg menar att det finns dokumenterat att referensvärdet typiskt bedöms för lågt i förhållande till utfallet i framtiden.

I utlåtandet beskrev även Lichtenberg vikten av bredd vad gäller kompetens och bakgrund i analysgruppens sammansättning. Om flertalet medlemmar direkt eller indirekt känner lojalitet mot kärnkraftssektorn kan de omedvetet vara optimistiska i sina bedömningar. Vid tidpunkten för utlåtandet saknade författarna information om analysgruppens sammansättning. I osäkerhetsanalysen i plan 2019 framgår av underlaget att sju av elva medlemmar har direkt koppling till kärnkraftssektorn genom sitt arbete på SKB, Vattenfall eller Barsebäck. I tillägg leds analysgruppen av en moderator som är projektledare för utarbetande av kostnadsberäkningen. Moderatoren har en mycket viktig uppgift i sin roll att säkerställa att arbetet sker på ett metodmässigt korrekt sätt. Det går därför inte att utesluta att medlemmarnas bakgrund medför en grad av bias i bedömningarna och osäkerheter, även om det sker omedvetet.

Ytterligare ett problem med tillämpningen av den successiva principen i osäkerhetsanalysen i Plan 2019 är den höga detaljeringsgraden i analysen. Analysgruppen gör bedömningar på specifika objektosäkerheter, som exempelvis osäkerheten i investeringskostnader för stam- och deponeringstunnlar för slutförvaret för använt kärnbränsle. Även bedömningar av konsekvenser av generella osäkerheter kan anses mycket specifika, exempelvis andel förkastade kapselpositioner som underlag för storlek och utformning av kärnbränsleförvarets bergutrymme. En risk med för hög detaljeringsgrad är att det ger falsk bild av exakthet, ett problem som beskrivs i en artikel från 2014 om applicering av osäkerhetsanalyser i bedömning av projektkostnader¹⁸. Författarna hävdar att om målet är att ge en korrekt bild av osäkerheten i ett projekt så bör analysen hållas på en relativt hög nivå. En annan utmaning är att bibehålla samband mellan osäkerhetsfaktorer då antalet variationer är hög. Risken med att samvariation inte modelleras mellan många osäkerhetsfaktorer är att det uppstår en diversifieringseffekt vilket i sin tur gör att den totala risken i projektet underskattas, som beskrivits tidigare.

SKB:s tillämpning av successiv kalkylering avviker från ursprungsmetoden. I vissa avseenden får detta anses positivt, exempelvis att analysgruppens bedömningar representeras av 90:e och 10:e percentilen i fördelningsfunktionen. Förändringen torde ge mer realistiska bedömningar för hög- och lågvärde för osäkerheterna. I andra avseenden, mer specifikt analysgruppens sammansättning och den höga detaljeringsgraden i analysen, leder troligtvis till bias och underskattning av den totala risken.

Fasta förutsättningar för analysen

SKB:s metod

I tillämpningen av den successiva principen används antaganden, som SKB kallar för fasta förutsättningar, i syfte att begränsa analysgruppens arbete. I arbetet med osäkerhetsanalysen ska analysgruppen inte identifiera och bedöma osäkerheter som faller utanför de ramar som de fasta

¹⁸ *Uncertainty analysis – 5 challenges with today's practice*, Agnar Johansen, Bettina Sandvin, Olav Torp, Andreas Øklan, Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2014

förutsättningarna definierar. Genom att använda fasta förutsättningar blir faktorer som skulle kunna tolkas som osäkerheter inte kvantifierade och ingår således inte i underlaget för beräkning av avgifter och säkerhetsbelopp. Detta betyder att om en på förhand definierad fast förutsättning i praktiken skulle visa sig vara osäker så är risken stor att beräknade kärnavfallsavgifter och kompletteringsbelopp inte täcker de extra kostnader som kan uppstå.

Ett exempel på en fast förutsättning är *Svenska kärnkraftverk*, vilket innebär att osäkerhetsanalysen enbart ska omfatta risker kopplat omhändertagandet av radioaktiva restprodukter härrörande från kärnkraftverk belägna inom Sveriges gränser. Ett annat exempel är *KBS-3-metoden*, dvs. analysen ska inte omfatta alternativa slutförvaringsmetoder, som exempelvis djupa borrhål. Den förstnämnda förutsättningen kan anses som en naturlig följd av finansieringssystemets syfte. Den senare är dock inte lika självklar. SKB beskriver att de förutsättningar som används ska vara väl underbyggda och inte baseras på subjektiva bedömningar. Beslut om vilka fasta förutsättningar som analysen ska omfatta tas på ledningsnivå inom SKB. Totalt används samma 10 fasta förutsättningar i osäkerhetsanalysen i Plan 2019 som i osäkerhetsanalysen i Plan 2016, se tabell nedan¹⁹.

Tabell 2. Fasta förutsättningar i osäkerhetsanalysen i Plan 2019

Fast förutsättning	Beskrivning
Enbart kostnadssidan	Osäkerhetsanalysen ska enbart omfatta kostnadssidan och således inte innefatta ränteosäkerheter och andra liknande finansiella frågor.
Samhället	Rådande samhällssystem och finansiella institutioner antas bestå.
Svenska kärnkraftverk	Omhändertagandet ska avse radioaktiva restprodukter härrörande från svenska kärnkraftverk.
Inom Sveriges gränser	Kalkylen ska avse omhändertagande som sker inom Sveriges gränser.
Mängden använt kärnbränsle	Mängden använt kärnbränsle ska bestämmas utifrån kärnkraftsföretagens prognoser och ska ligga fast.
Typ av kärnbränsle	Typ av framtida använt kärnbränsle ska motsvara dagens om inte kärnkraftsföretagen redan fattat beslut om annat.
Reaktorhaveri	Konsekvenser av reaktorhaveri på mängden eller typen av restprodukter ska inte beaktas i analysen.
KBS-3-metoden	Analysen ska begränsas till att omfatta enbart KBS- 3-metoden.
Ingen förlängd övervakning	Ingen övervakning av slutförvaret efter avslutad deponering ska ingå i analysen.
Inget generellt återtagande av deponerade kapslar	Kostnader för återtagning av samtliga kapslarna med använt bränsle efter deponering ska inte ingå i analysen.

Källa: SKB

¹⁹ SKB redovisade 11 fasta förutsättningar i Plan 2016 men den som avsåg *prisnivå för kostnaderna* ansågs av SSM i praktiken inte vara en fast förutsättning.

Riksgäldens bedömning

SSM har tidigare haft synpunkter på användandet av fasta förutsättningar. I osäkerhetsanalysen för Plan 2019 har motiveringen för vissa antaganden utvecklats och förtydligats av SKB, vilket underlättar myndighetens granskning av underlaget.

Riksgälden bedömer att det är rimligt att avgränsa analysen men att det då ska finnas tydliga ramar för vad som styr begränsningen så att antaganden blir transparenta och konsekventa. Vilka typer av osäkerheter som ska ingå i osäkerhetsanalysen, eller med andra ord vilka ramar som ska styra begränsningen, kräver noggranna överväganden.

För det första bör hänsyn tas till de lagar och förordningar som styr tillståndshavarnas skyldigheter avseende omfattningen på kostnadsberäkningarna. Omfattningen regleras i huvudsak av finansieringslagen och finansieringsförordningen. Vad som avses med allmänna skyldigheter för tillståndshavarna definieras i lagen (1984:3) om kärnteknisk verksamhet (kärntekniklagen). Exempelvis upphör enligt 11 § finansieringslagen reaktorinnehavarens skyldigheter att betala kärnavfallsavgift och ställa säkerhet när reaktorinnehavaren har fullgjort samtliga sina skyldigheter enligt 10 § kärntekniklagen eller har fått dispens från dem. I praktiken innebär detta till dess att allt kärnämne och kärnavfall placerats i ett slutförvar och slutligt förslutits – då övergår ansvaret till staten. Det är därmed rimligt att anta att *ingen förlängd övervakning* bör vara en fast förutsättning i analysen. Även atomansvarighetslagen (1968:45) styr omfattningen, exempelvis vad gäller tillståndshavarnas skyldigheter vid kärnteknisk olycka.

För det andra bör beslutet om vad som bör utgöra en osäkerhetsfaktor ta hänsyn till om det är möjligt att kvantitativt beräkna osäkerheten. Med andra ord, är det möjligt att ta fram ett kostnadsunderlag för aktiviteterna som osäkerhetsfaktorn avser? Exempelvis är det för den fasta förutsättningen *KBS-3-metoden* svårt för SKB eller annan aktör att ställa kostnadsunderlaget som ligger till grund för metoden mot en bedömning av andra alternativ, som djupa borrhål eller transmutation. Givetvis går det att göra förenklade antaganden, detta skulle dock enligt Riksgäldens bedömning inte ge meningsfulla resultat. Dessutom råder enligt både SSM och SKB osäkerhet om metodernas genomförbarhet över huvud taget. Det bedöms således inte rimligt att efterfråga ett alternativt kostnadsunderlag för metoden.

Osäkerhetsfaktorer bör även ha en faktisk effekt på underlaget för beräkning av kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp för att de ska vara meningsfulla att modellera. Kärnavfallsavgifter beräknas på medelvärdet av simuleringarna. Osäkerheterna bör därmed ha en medelvärdeshöjande effekt. Exempelvis kan de fasta förutsättningarna *reaktorhaveri* och *KBS-3-metoden* anses vara osäkerheter av typen låg sannolikhet och hög konsekvens. Det inte självklart att de skulle ha någon större effekt på medelvärdet eller risken inom 90:e percentilen i simuleringarna.

Mot bakgrund av ovanstående resonemang lämnar Riksgälden kommentarer på SKB:s uppställda fasta förutsättningar, se bilaga A. I bedömningen har Riksgälden konsulterat SSM som lämnat utlåtande avseende tekniska och säkerhetsmässiga aspekter för två av de fasta förutsättningarna²⁰.

Sammantaget anser Riksgälden att det är rimligt att begränsa förutsättningarna för analysen utifrån ett praktiskt perspektiv, men även för att analysens resultat ska vara meningsfulla. Det är viktigt att ramarna för begränsningarna är tydliga så att antaganden blir transparenta och följdriktiga. I

²⁰ SSM2020-162-2

bedömning av vilka risker som bör utgöra grund för osäkerhetsanalysen har Riksgälden utgått utifrån gällande lag och förordning, samt utifrån SSM:s bedömning i egenskap av teknisk expertmyndighet inom kärnkraftsområdet. Dessutom ska det vara möjligt att ta fram tillförlitligt och relevant kostnadsunderlag för de risker som används. Baserat på dessa kriterier bedömer Riksgälden att de fasta förutsättningar som används i osäkerhetsanalysen i Plan 2019 är rimliga.

Simulering på summerade värden

SKB:s beräkningar

Enligt 5 § finansieringslagen ska kostnadsberäkningen som tillståndshavarna (genom SKB) lämnar in avse de *årliga* förväntade kostnaderna för åtgärder som krävs för säker hantering och slutförvaring av verksamhetens restprodukter²¹. SKB inkom den 30 september med ett kostnadsunderlag som avsåg årliga kostnader för ingenjörskalkylen, samt ett summerat, ej tidsfördelat, påslag för oförutsett och risk. Efter begäran om komplettering inkom SKB den 12 november med underlag för de totala årliga förväntade kostnaderna (inklusive ett tidsfördelat osäkerhetspåslag).

Utöver att följa 5 § finansieringslagen behöver kostnadsunderlaget uttryckas som årliga kostnader för att Riksgälden på ett ändamålsenligt sätt ska kunna beräkna kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp. För kärnavfallsavgifter krävs årliga kostnader eftersom kostnaderna nuvärdesberäknas med en årlig diskonteringsräntekurva. SKB:s stokastiska Excel-modell kan inte genomföra Monte Carlo-simuleringar på fördelningar över tid. Istället gör modellen simuleringar på variationers summerade hög- och lågvärden för respektive objekt i kostnadskalkylen.

Ett generellt problem med att simulera på summerade variationer är svårigheterna att fånga tidsvariationernas effekt på grundkalkylen på ett korrekt sätt. I analysen används totalt ett tiotal variationer som innehåller någon form av tidskomponent, dvs. att variationerna medför en justering av objektkostnaderna de verkar på, antingen bakåt eller framåt i tiden. I beräkningssteget då variationernas hög- och lågvärdena summeras så försvinner information om när i tiden eventuella förseningar och tidigareläggningar sker för tidsvariationerna. Detta beror på att varje hög- och lågvärde uttrycks som summor och inte som kassaflöden. Efter simuleringen går det därför aldrig för ett givet scenario att spåra vilka tidseffekt utfallet av en tidsvariation haft på kostnaderna, eller med andra ord, vilka orsaker som ligger bakom tidsförskjutningen eller tidigareläggningen.

För att efterleva finansieringslagens krav om att grundkostnaderna ska vara fördelade över tid har SKB i Plan 2019, efter föreläggande från Riksgälden, använt en egenutvecklad metod benämnd *stretchning*. I korthet går metoden ut på att tidsfördela det totala osäkerhetspåslag som erhålls från SKB:s modell på ett sätt som gör att nuvärdet av kostnaderna (inklusive osäkerhetspåslag), om det diskonteras med en given diskonteringskurva, är oförändrat jämfört med SKB:s tidigare metod. Eftersom det finns oändligt många olika möjligheter för hur osäkerhetspåslaget kan fördelas över tid finns heller ingen unik lösning, vilket innebär att SKB utanför sin ordinarie osäkerhetsanalys behöver göra antaganden om hur riskerna utvecklas över tid.

Till att börja med har SKB, utan närmare förklaring, undantagit de tre första åren vilket innebär ett implicit antagande om att dessa år är "riskfria". För resterande år har det totala osäkerhetspåslaget fördelats ut med ett (i absoluta termer) lika stort påslag varje år, innebärande ett implicit antagande

²¹ Detta skiljer sig från tidigare gällande lagstiftning där grundkostnaderna definierades som de totala (och inte årliga) förväntade kostnaderna.

om att osäkerheten mätt i kronor är lika stort för kärnavfallsprogrammet oavsett de underliggande kostnaderna i ingenjörskalkylen. I relativa termer innebär detta att risken, mätt som procentuell andel av underliggande kostnader, är lägre för de år där SKB förväntar sig höga kostnader.

Efter att osäkerhetspåslaget fördelats ut över tid sträcks kostnaderna ut i tiden med en sträckningsfaktor. Sträckningsfaktors målsöks så att så att nuvärdet av kostnaderna (beräknat med en diskonteringsräntekurva från 2018-12-31 enligt metoden som användes vid föregående avgiftsförslag) i de utsträckta kostnaderna blir likadant som resultatet i simuleringen²². Eftersom tidsaxeln har sträckts ut fortgår programmet nu till och med 2080 istället för 2070. Ett sätt att tolka resultatet är att den förväntade förseningen i programmet, givet SKB:s mertid, är 10 år. Stretchningen genomförs separat för varje reaktorinnehavare.

Riksgäldens bedömning

Metoden som SKB valt för att transformera underlaget till årliga värden, dvs. stretchning, har inte förutsättningar att åtgärda grundproblemet, dvs. att SKB:s modell inte kan hantera Monte Carlo-simuleringar på fördelningar över tid. Metoden har även andra brister:

- Eftersom sträckningen påverkar alla objekt med samma faktor så finns det inget direkt samband mellan hur många år kalkylen förlängs, i det här fallet tio år, och vilken effekt tidsvariationerna har på kalkylen.
- Alla objekt-kassaflöden blir procentuellt lika mycket påverkade eftersom sträckningen genomförs på totala årliga kostnader per reaktorinnehavare, inte uppdelade per objekt. Kostnadsobjekt som enligt analysgruppen inte ska påverkas av en given generell tidsvariation riskeras därmed bli utsträckta i tiden av sträckningsfaktorn.
- Samma absoluta belopp av osäkerhetspåslaget läggs på kostnaderna som underlag för stretchningen. Innebörden är att storleken på de årliga kostnaderna i ingenjörskalkylen är helt oberoende av storleken på det årliga påslaget. Osäkerhetspåslaget kan därmed exempelvis bli oproportionerligt högt i förhållande till ingenjörskalkylen för år då kostnaderna är låga, och vice versa för år då kostnaderna är höga.
- Resultatet från metoden är endast giltigt för den diskonteringsränta som används som underlag för stretchningen. Vid tillfället då stretchningen genomförs är den diskonteringsräntan som används som underlag för beräkning av kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp okänd. I praktiken kommer diskonteringsräntekurvan som används i myndighetens beräkningar baseras på marknadsdata över ett år efter det underlag som används för uppbyggnad SKB:s diskonteringsräntekurva i stretchningen. Vid stora marknadssvängningar, alternativt metodförändringar i uppbyggnaden av kurvan, kommer målsökningen i stretchningen inte vara giltig.

Sammantaget anser Riksgälden att osäkerhetsmodellen i Plan 2019 inte har tekniska förutsättningar att simulera på tidsfördelade osäkerheter. Metoden som används för att tidsfördela kostnaderna kan garantera att de totala kostnaderna med summerat osäkerhetspåslag och ett tidsfördelat osäkerhetspåslag är lika vid en vald diskonteringsräntekurva, men inte att den tidsfördelade kalkylen avspeglar effekten av de verkliga tidsvariationerna. Det finns inget uppenbart sätt att lösa problematiken, som i grunden är ett resultat av att SKB genom att summera värden kastar bort

²² 1879093 - SKBs svar på Riksgäldens begäran om kompletterande information och underlag för Plan 2019 avseende punkt 7, SKB

information som man sedan försöker återskapa genom en godtycklig metod. Sammantaget bör därför osäkerhetsmodellens uppbyggnad och metodval ifrågasättas som underlag för myndighetens beräkningar.

Slutsatser

I vissa avseenden har osäkerhetsanalysen i Plan 2019 förbättrats jämförts med tidigare år. Antalet riskfaktorer är något färre, SKB:s beskrivning av fasta förutsättningar är tydligare och expertgruppens bedömningar av hög- och lågvärden i trepunktskattningarna görs nu vid 90:e respektive 10:e percentilen. Åtgärderna har förenklat myndighetens granskning av underlaget och är troligen även en förklaring till att den totala risken, mätt som standardavvikelse relativt medelvärdet, har ökat något från 13 procent i den förra kostnadsberäkningen till 16 procent i den nu aktuella.

Trots förbättringarna kvarstår flera brister i osäkerhetsanalysen. För de första är detaljeringsgraden i analysen alltför hög. Den höga detaljeringsgraden medför att analysarbetet blir mycket omfattande och svåröverblickbart, och kan ge en falsk bild av exakthet. Att beräkningsmodellen sammanlagt består av hundratals Excelliflikar med en hög grad av manuellt arbete adderar också en lager av komplexitet som försvårar arbetet med kvalitetssäkring och analys. Dessutom används för många variationer med för låg eller ingen inbördes samvariation, vilket gör att det uppstår en diversifieringseffekt som bidrar till att hålla nere standardavvikelsen.

För det andra innebär analysgruppens sammansättning, där majoriteten av medlemmarna och moderatören har koppling till kärnkraftsindustrin, en risk för bias i bedömningarna. För det tredje krävs det mer analys avseende rimligheten i egenskaperna och formen på den resulterande kostnadsfördelningen. För det fjärde saknar osäkerhetsmodellen tekniska förutsättningar att simulera tidsfördelade osäkerheter, vilket bland annat medför att tidsförskjutningar inte simuleras ändamålsenligt.

Sammantaget är Riksgäldens bedömning att ovanstående brister leder till att den totala risken i kostnaderna troligen är underskattad. Detta bekräftas av indikativa jämförelser med spridningen i kostnader för andra stora infrastrukturprojekt.

Bilaga A: Riksgäldens kommentarer på fasta förutsättningar i Plan 2019

Fast förutsättning	Kommentar
Enbart kostnadssidan	I finansieringsförordningen finns bestämmelser om finansiering av hantering av restprodukter från kärnteknisk verksamhet. Förordningen bestämmer att en kostnadsberäkning ska lämnas in till Riksgälden vart tredje år. Det får därför anses självklart att osäkerhetsanalysen som SKB förser myndigheten med endast avser kostnader. Däremot ska myndighetens beräkning av kompletteringsbeloppet även avse risker på tillgångssidan i balansräkningen för en reaktorinnehavares skyldigheter.
Samhället	Förutsättningen betyder att ansvarsfördelningen mellan kärnkraftsbolagen och staten i framtiden kvarstår, samt att staten även i fortsättningen förvaltar inbetalda medel på ett ansvarsfullt sätt. Riksgälden menar att rollfördelningen och respektive parts ansvar är tydligt definierat i lag och förordning. Det är därför motiverbart att det är en fast förutsättning. Att göra avvikande antaganden om en framtida samhällsstruktur får dessutom anses högst spekulativt.
Svenska kärnkraftverk	I 5 a § kärntekniklagen anges att det är förbjudet att utan särskilt tillstånd av regeringen eller den myndighet som regeringen bestämmer i Sverige slutförvara eller i avvaktan på slutförvaring mellanlagra kärnavfall eller kärnämne som inte är avsett användas på nytt, om avfallet eller ämnet kommer från en kärnteknisk anläggning eller annan kärnteknisk verksamhet i ett annat land. Riksgälden menar därför att omhändertagandet av radioaktiva restprodukter härrörande från svensk kärnkraft är rimligt att använda som fast förutsättning.
Inom Sveriges gränser	Enligt ovanstående resonemang i kärntekniklagen kan analysen begränsas till att avse omhändertagande som sker inom Sveriges gränser.
Mängden använt kärnbränsle	Det är reaktorernas återstående drifttid som styr hur mycket bränsle som behöver omhändertas. Drifftiderna vid beräkning av kärnavfallsavgifter och säkerhetsbelopp bestäms av 4 § finansieringsförordningen som säger att varje reaktor ska anses ha en total drifttid om 50 år och en återstående drifttid om minst sex år, om det inte finns skäl att anta att drifftiden kan komma att upphöra dessförinnan. Återstående drifttid kan således ses som fast förutsättning. Den volym el som kärnkraftverken förväntas producera, givet drifftiden, är dock inte fast. I beräkningen av kärnavfallsavgifter använder Riksgäldens en egenutvecklad stokastisk modell för bedömning av framtida elproduktion från kärnkraftverken. Således kommer variationer i framtida elproduktion modelleras i beräkning av kärnavfallsavgifter (Även storleken på finansieringsbeloppet påverkas i liten utsträckning eftersom en justering av framtida kostnaderna görs i proportion till bränslemängder som faller ut av en annan bedömning av elproduktion). SKB har i Plan 2019 tillhandahållit underlag för att justera förväntade kostnader utifrån en annan bedömning av framtida elproduktion. I praktiken görs alltså en deterministisk justering av grundkostnaderna som underlag för beräkning av avgifter och säkerhetsbelopp. Däremot görs inte en modellering av risken kring justeringen. Riksgälden har inte underlag för att i praktiken implementera osäkerhet kring kostnadsförändringar som följd av förändringar i mängden använt kärnbränsle. Det är dessutom i dagsläget svårt att föreställa sig hur utarbetandet av ett sådant underlag ska gå till, då det kräver antaganden om exempelvis beroenden mellan kvantitet av bränsle och behov av olika slutförvar och transporter. Mängden använt kärnbränsle kan därför utgöra en fast förutsättning för analysen. Området kan möjligen utvecklas i framtiden då det kan vara intressant att undersöka beroenden mellan olika komponenter på skuld och tillgångssidan i en reaktorinnehavarnas balansräkning.
Typ av kärnbränsle	SKB beskriver att utgångspunkten är kärnkraftsföretagens prognoser där nuvarande reaktortyper används, som ger upphov till BWR- och PWR-avfall. Scenariot som innebär att en ny typ av bränsle skulle behöva omhändertas är endast aktuellt om nya reaktorer byggs och om dessa nya reaktorer ger upphov till en ny typ av använt kärnbränsle. Lagen medger visserligen att nya reaktorer får uppföras för att ersätta avställda reaktorer. Det är dock svårt att uppskatta sannolikheten för att sådant scenario. Dessutom är det oklart vilket alternativt kostnadsunderlag som skulle behöva utarbetas för att spegla osäkerheten eftersom det kräver spekulation om ännu ej färdigutvecklade framtida reaktortyper. Riksgälden anser således att det är rimligt att begränsa analysen till dagens typ av kärnbränsle.
Reaktorhaveri	SKB anser att kostnader som faller ut av ett reaktorhaveri inte ska täckas av medel i kärnavfallsfonden utan av ägarna till anläggningarna själva, vilket är korrekt enligt atomansvarighetslagen. Skyldigheter i atomansvarighetslagen avser framför allt direkta kostnader, exempelvis extra kostnader för omhändertagande av skadat bränsle. Däremot finns indirekta kostnader som kan påverka kostnader för avveckling och slutförvaring. NTNU pekar på att ett

reaktorhaveri med hög sannolikhet kommer betyda ett skifte i samhällsvärderingar, vilket leder till högre säkerhetskrav på alla delar i programmet, vilket i slutändan troligen innebär kostnadsökningar för dessa åtgärder. SKB menar att den typen av osäkerheter täcks av variationerna som rör lagstiftning och myndighetskrav (nr 101 och 103) samt driftstörningar i KBS-3-systemet (nr 204). Huruvida dessa effekter faktiskt omhändertas i variationerna ingår inte i omfattningen för den här granskningen. Riksgälden har således inga synpunkter i frågan.

KBS-3-metoden

2011 ansökte SKB om tillstånd att få bygga ett slutförvarssystem för använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden. Ansökan prövas mot kärntekniklagen hos SSM och mot miljöbalken hos Mark- och miljödomstolen. SSM har tillstyrkt ansökan. I april lämnade SKB det kompletterande underlag som Mark- och miljödomstolen efterlyste. Innan regeringen beslutar i ärendet måste berörda kommuner tillfrågas eftersom de har vetorätt i frågan om geografisk placering av slutförvar. SKB motiverar avgränsningen dels med att KBS-3-metoden är så långt framme att det i praktiken blir omöjligt att införa andra metoder, dels att det är omöjligt att ställa det mycket detaljerade kostnadsunderlag som föreligger KBS-3 mot en alternativ metod.

I SSM:s granskning under tillståndsberedningen jämfördes alternativa metoder – djupa borrhål och transmutation. Myndigheten bedömde att metoderna inte är praktiska alternativ nu eller i framtiden. Även om SKB:s ansökan mot förmodan skulle avslås av regeringen förväntar sig SSM inte att något av alternativen blir aktuella för fortsatt utvecklingsarbete. Det bör även noteras att det inte finns något annat land i världen med aktivt slutförvarsprogram som för närvarande satsar på utveckling av djupa borrhål som en metod för slutförvaring av använt kärnbränsle. SSM har dessutom en uttalad strategi om att stegvis pröva SKB:s planering och implementering av systemet, vilket möjliggör för myndigheten att när som helst, med lag- eller förskiftsstöd, kräva åtgärder, pausa eller stoppa en verksamhet. SSM konstaterar därmed att sannolikheten för att KBS-3 metoden som koncept vid en framtida tidpunkt på något sätt "underkänns" av SSM (kan) anses som mycket låg. Således anser SSM att det inte finns något som motiverar att industrin behöver ta höjd för andra metoder än KBS-3 i sina kostnadsberäkningar.

Riksgälden vill dessutom tillägga att det inte är helt självklart hur ett alternativt kostnadsunderlag skulle utarbetas. För det första är det, som SSM konstaterar, oklart mot vilket alternativ KBS-3-metoden ska jämföras då det enligt både SSM och SKB är tveksamt om alternativa slutförvaringsmetoder är praktiskt tillämpbara. För det andra skulle grova antaganden behöva göras avseende exempelvis sannolikhet för inträffande och tidsplan, givet en alternativ slutförvaringsmetod. Kostnadsunderlaget skulle, om de implementerades i osäkerhetsanalysen, antagligen inte bidra med meningsfull data som underlag för myndighetens beräkningar.

Sammanfattningsvis anser Riksgälden därmed att alternativa slutförvaringsmetoder inte bör utgöra underlag för riskanalysen. Det bör i sammanhanget poängteras att det givetvis kan uppstå tekniska problem i KBS-3-systemet som påverkar programmets kostnader, utan att en helt ny metod för den delen måste implementeras. SKB hävdar att osäkerheter i KBS-3-metodens olika delar ingår som en del av andra generella variationer, bland andra tidpunkt då SKB erhåller tillstånd för Kärnbränsleförvaret och inkapslingsanläggningen (nr. 201), driftstörningar i KBS-3-systemet (nr. 204), storlek och utformning av kärnbränsleförvaret (nr. 205), mfl. I vilken grad dessa osäkerheter får genomslag i analysen är utanför den här granskningens omfattning. Det bör också nämnas att det givetvis kan finnas ett intresse av att i andra sammanhang, exempelvis scenarioanalys eller riskrapportering, undersöka effekten av alternativa slutförvaringsmetoder.

Ingen förlängd övervakning

Enligt 11 § finansieringslagen upphör reaktornnehavarens skyldigheter att betala kärnavfallsavgift och ställa säkerhet när reaktornnehavaren har fullgjort samtliga sina skyldigheter enligt 10 § kärntekniklagen eller har fått dispens från dem. I praktiken kvarstår skyldigheten tills dess att allt kärnämne och kärnavfall placerats i ett slutförvar och slutligt förslutits – då övergår ansvaret till staten. Riksgälden anser därför att detta bör vara en fast förutsättning.

Inget generellt återtagande av deponerade kapslar

SKB beskriver att återtag av enskilda kapslar ska kunna genomföras som en tänkbar åtgärd för att hantera eventuella fel som uppstår eller upptäcks under deponeringssekvensen. Ett generellt återtag av samtliga kapslar är inte aktuellt, även om detta skulle kunna vara tekniskt möjligt. Till skillnad från vissa andra länder finns inget uttryckligt krav i svensk lagstiftning på att utforma ett slutförvar för att enklare kunna återta avfallet, särskilt efter förslutning.

I sitt utlåtande hävdar SSM att det är rimligt att ta höjd för osäkerheter kopplat till eventuella fel uppstår eller upptäcks under deponeringssekvensen. SSM ser dock inte något hypotetiskt scenario som motiverar att kostnader ska avsättas för återtag av betydande mängder bränsle. Riksgälden anser, vilket delvis beskrivs i SSM:s utlåtande, att scenariot som skulle frambringa ett generellt återtag av deponerade kapslar är troligen en teknisk brist i någon del av KBS-3-systemet. För det scenariot hänvisas till fast förutsättning om KBS-3 systemet. Sammantaget anser därför Riksgälden att generellt återtag kapslar kan utgöra en fast förutsättning.