

Kärnkraftsavfallet – en teknisk och politisk utmaning

Willis Forsling

Prof. Emeritus i Oorganisk kemi, Luleå tekniska universitet

Ledamot i Kärnavfallsrådet (Statens råd för kärnavfallsfrågor)

Denna text är författad av Dr Willis Forsling, prof. Emeritus i Oorganisk kemi, Luleå tekniska universitet, ledamot i Kärnavfallsrådet (Statens råd för kärnavfallsfrågor). Den skrevs ursprungligen på uppdrag av SNS som ett kapitel i en planerad antologi ” Röster om Kärnkraft”. Boken blev sedan av olika anledningar aldrig utgiven.

Syftet är att ge en teknisk och historisk beskrivning av hanteringen av kärnkraftsavfall i Sverige. De åsikter och ställningstaganden som finns i texten är helt och hållet mina egna och sammanfaller inte nödvändigtvis med Kärnavfallsrådets.

Bakgrund

Frågan om hur vi ska hantera vårt kärnkraftsavfall är i högsta grad aktuell och så har den tidvis varit under cirka fyrtio år det vill säga sedan den första kärnkraftsreaktorn togs i drift (Oskarshamn 1, 1972). Det använda kärnbränslet har blivit ett allt mer brännande tekniskt och politiskt problem med oerhört långsiktiga konsekvenser för framtida generationer i många tusen år. I detta sammanhang diskuteras tidsperioder på hundratusen år innan den joniserande strålningen i avfallet från använt kärnbränsle har nått bakgrunds nivå, vilket i ett historiskt perspektiv får tanken att svindla. Den extremt långa tidsperioden gör ju att hanteringen av kärnkraftsavfallet ställer väldigt speciella krav på hur processen ska utformas. Det gäller rent tekniska aspekter men även sociala och demokratiska. Är det över huvud taget möjligt att förvara någonting säkert under så lång tid och vem har ansvaret för att ingenting negativt sker? Samtidigt finns avfallet hos oss redan idag. Det svenska kärnkraftsprogrammet förväntas ge upphov till omkring 12 000 ton använt kärnbränsle som måste omhändertas på ett betryggande sätt.

Olika typer av avfall

Förutom använt kärnbränsle genererar ett kärnkraftverk driftavfall och rivningsavfall. Endast 5 % av allt radioaktivt avfall är använt kärnbränsle men det står för hela 99 % av avfallets totala radioaktivitet. Det högaktiva avfallet har så hög strålning att det måste skärmas av (med vatten, bly eller betong) och kylas ner. Driftavfallet från kärnkraftverken utgörs till exempel av förbrukade filter, utbytta komponenter och använda skyddskläder, medan rivningsavfallet består av bland annat metallskrot och byggnadsmaterial.

Det lågaktiva avfallet som sopor och annat mjukt material emballeras i balar medan skrot och övrigt hårt material packas i lådor eller containrar. En del av det lågaktiva avfallet placeras i markförvar på kärnkraftverkens industriområden där strålningen har minskat till naturlig nivå efter cirka 50 år. Övrigt lågaktivt avfall slutförvaras i SFR (Slutförvar för kortlivat låg- och medelaktivt avfall) nära Forsmarks kärnkraftverk.

Medelaktivt avfall blandas med betong och gjuts in i plåt- eller betonglådor så kallade kokiller. De förvaras i ett mellanlager på kärnkraftverken innan de transporteras till SFR där de förvaras i stora berggrum. Avfallet består bland annat av sopor, skrot, isoleringsmaterial och använda skyddskläder. Från sjukvården, industrin och forskningen kommer årligen 10–20 m³ låg- och medelaktivt avfall. Detta transporteras till Studsvik för behandling och förpackning och därifrån till SFR. Efter cirka 500 år har strålningen sjunkit till samma nivå som i det omgivande berget.

SFR togs i bruk 1988 har alltså varit i drift i över 20 år och står för närvarande inför behov av att byggas ut. I dag har SFR en lagringskapacitet på 63 000 kubikmeter och det har under tiden fyllts till hälften. Nu finns ytterligare behov av förvarsutrymmen på cirka 20 000 kubikmeter för rivningsavfall från avställda reaktorer i Barsebäck, Ågesta och Studsvik. Ansökan om ett utbyggt SFR ska vara klar år 2013.

Högaktivt avfall uppstår när bränslet i en reaktor byts ut. Det är då mycket radioaktivt och varmt och placeras i vattenbassänger vid kärnkraftverken. Vattnet skyddar mot strålning och koler bränslet. Efter ett år transporteras bränslet för att mellanlagras i Clab – Centralt mellanlager för använt kärnbränsle – i Oskarshamn. Transporterna sker med det nya specialbyggda fartyget m/s Sigrid från och med sommaren 2013. I Clab mellanlagras bränslet i 40 år och under den tiden minskar

värmeutvecklingen från bränslet vilket underlättar den fortsatta hanteringen. Dessutom har strålningen från bränslet minskat med 90 %.

Efter mellanlagring är ska det använda bränslet slutförvaras och det är just detta som är den stora tekniska och politiska utmaningen. Det gäller både den metod som föreslagits och placeringen av slutförvaret. Jag kommer nedan att beskriva den metod och placering som föreslagits av SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) i den ansökan som inlämnats den 16 mars 2011 och som för närvarande är föremål för granskning av SSM (Strålsäkerhetsmyndigheten) och Miljöödomstolen. Texten innehåller också en redogörelse för utvecklingen av det föreslagna konceptet, de utmaningar och ifrågasättanden som finns samt en diskussion om alternativa metoder för slutförvar av använt kärnbränsle.

Vänta och se?

De sociala och demokratiska perspektiven är centrala när det gäller kärnavfall och allmänhetens synpunkter och oro måste tas på stort allvar i ett demokratiskt samhälle. Tveksamhet, tvivel och till och med mistänksamhet från allmänhetens sida över olika experters ställningstaganden är faktorer som måste hanteras. Argumenten mot ett slutförvar i den ena eller andra formen och på den ena eller andra platsen är ofta djupt känslomässiga. Den joniserande strålningens skadeverkningar ter sig långsiktigt skrämmande och ansvaret för vår egen och framtida generationer känns tungt. Det kan då ligga nära till hands att inta attityden "vänta och se" i en förhoppning om att teknikutvecklingen ska medföra en bättre och mer definitiv lösning på problemet. En sådan inställning kan ju också i någon mening spegla en viss teknikoptimism, men innebär samtidigt att vi överlämnar ansvaret till framtida generationer att hantera ett problem som vi har skapat genom vårt eget energiutnyttjande. Det är knappast etiskt försvarbart med tanke på vårt ansvar för en rättvis fördelning av resurser mellan dem som lever idag och kommande generationer. Det är ju trots allt inte helt säkert att den framtida samhällsutvecklingen automatiskt innebär att vi får en bättre teknik inom den närmaste tiden. Teknikutvecklingen kanske bara förändras marginellt eller rent av står stilla under en tid.

Industrins ansvar

Kärnkraftsindustrin som har producerat avfallet har naturligtvis ett mycket stort ansvar för att lösa frågan om hur avfallet ska behandlas och enligt kärntekniklagen har den skyldighet att omhänderta och slutförvara kärnämne och kärnavfall. Denna skyldighet måste av naturliga skäl ha sin begränsning i tid och i det riktigt långa perspektivet måste staten också ta ansvar. Samhället har ju onekligen haft nytta av kärnkraften i samhällsutvecklingen eftersom den under lång tid har stått för omkring hälften av vårt lands elproduktion.

Statens långsiktiga ansvar föreskrivs bland annat i den internationella så kallade kärnavfalls - konventionen som Sverige har anslutit sig till. Det gäller ju inte minst vårt ansvar att vidarebefordra information till kommande generationer om slutförvaret med avseende på plats, konstruktion och innehåll. Det kan också gälla det forskningsbehov som vi idag inte kan förutse och som därför måste tillhöra statens långsiktiga ansvar.

Med detta i bakhuvudet är det alltså viktigt att ta tag i frågan om hur det använda kärnbränslet ska hanteras och slutförvaras. Den långsiktiga säkerheten måste ha högsta prioritet men innebär detta automatiskt att avfallet aldrig ska kunna återtas om behovet uppstår på ett eller annat sätt i framtiden?

Karakterisering av kärnreaktorbränsle

Kärnbränsle framställs av uranmineral som förekommer i berggrunden över hela jorden och på några ställen i brytvärda koncentrationer. Det finns tre isotoper av naturligt uran (uran med tre olika atommassor) och alla är lågaktiva men långlivade med halveringstider på flera miljoner år. I naturligt uran är halten av den lättast klyvbara uranisotopen (U-235) cirka 0,7 %. Resten är till allra största delen U-238, som inte är lika användbart som bränsle. U-235 har alltså den speciella egenskapen att atomkärnan kan klyvas av fria neutroner, varvid stora mängder energi frigörs som används för att producera energi i kärnkraftverk. I en kärnreaktor är det alltså i första hand U-235 som klyvs och de svenska lättvattenreaktorerna (LWR) behöver kärnbränsle med en halt upp till 5 % U-235. I alla lättvattenreaktorer används vanligt ultrarent vatten (H₂O) som kylmedel och moderator (regulator) med avseende på tillgången på neutroner.

Tre av reaktorerna i Ringhals är så kallade tryckvattenreaktorer (PWR), medan övriga sju svenska reaktorer är kokvattenreaktorer (BWR). Även de två avställda reaktorerna i Barsebäck var kokvattenreaktorer.

Naturligt uran duger inte för att driva LWR då vanligt vatten "stjäl" för många neutroner och klyvningsprocessen kan inte hållas igång. Därför måste andelen U-235 höjas, vilket sker utomlands i en anrikningsanläggning. Där framställs flyktiga komplex av uranhexafluorid (UF₆) som gör det möjligt att separera U-235 och U-238 genom gasdiffusion. Den anrikade uranhexafluoriden överförs till pulverformig urandioxid (UO₂) som pressas ihop till små cylindrar som kallas kutsar. Dessa är en knapp centimeter i diameter och drygt en centimeter långa. Vid upphettning till höga temperaturer, sintring, får kutsarna en keramikliknande struktur med en densitet på cirka 10 g/cm³. Restprodukt efter anrikningen blir uran som har en lägre halt av U-235 än hos naturligt uran, så kallat utarmat uran.

Kutsarna förs in i kapslingsrör som oftast består av en legering som till 90 % består av zirkonium (det engelska och svensk-engelska fackuttrycket är "zirc-alloy"), som ska förhindra att det omgivande vattnet i reaktorn ska förorenas av radioaktiva ämnen. Rören försluts med täta svetsar och monteras ihop till bränsleelement. En reaktor drivs med 450-700 bränsleelement, vilket motsvarar omkring 20 miljoner bränslekutsar. U-235 klyvs till två andra atomer i reaktorn genom att atomkärnan fångar upp neutroner under kontrollerade former varvid nya neutroner frigörs som i sin tur kan klyva andra U-235 atomer. Kärnreaktionen blir därigenom självunderhållande.

Vid driften av en kärnkraftreaktor ökar bränsleelementens radioaktivitet kraftigt. Efter ungefär fem år är det inte längre lämpligt för fortsatt användning och tas därför ut ur reaktorn. Den joniserande strålningen, och därmed bränslets farlighet, är då som störst. Därefter sönderfaller de radioaktiva ämnen och farligheten avtar. Men det tar mycket lång tid, cirka 100 000 år, innan radioaktiviteten avtagit så mycket att den nått samma nivå som i den mängd naturligt uran som användes när bränslet framställdes.

Blandoxidbränsle

Som ett alternativ till anrikat uran kan man använda plutoniumberikat bränsle, så kallat blandoxidbränsle (Mixed Oxide Fuel, MOX).

I det använda bränslet finns outnyttjade energireserver som skulle kunna tas till vara genom en så kallad upparbetning. Priset på uranmalm är dock förhållandevis lågt. Det begränsade kärnkraftsprogrammet i Sverige både i tid och till omfånget gör inte upparbetning av det använda bränslet till ett ekonomiskt rimligt alternativ. Även etiska överväganden spelar in. Det använda bränslet innehåller plutonium som kan användas vid tillverkning av kärnvapen. Risken för att sprida kärnvapenteologi har varit ett tungt vägande skäl för att avstå från metoden.

Urantillgångar i världen

De största kända uranfyndigheterna i världen finns i Australien, Kazakstan, USA, Kanada och Sydafrika. Enligt OECD, Nuclear Energy Agency (NEA) finns i Sverige ung. 10 000 ton uran (4 000 ton är kända tillgångar och ytterligare 6 000 ton utgör en uppskattning) som är möjligt att bryta till en rimlig kostnad

Vattenfall köper uran från Australien (32 %), Namibia (32 %) och Ryssland (36 %). E.ON köper uran från Kanada (60 %), Ryssland (20 %) och Kazakstan (20 %).

Organisationen för ekonomiskt samarbete och utveckling (OECD) och Internationella atomenergiorganet (IAEA) i 2010 producerade tillsammans en rapport om urantillgångar: "Uran 2009: Resurser, produktion och efterfrågan." Rapporten säger att kända urantillgångar är tillräckliga för att möta kärnkraftens bränslebehov för åtminstone de närmaste 100 åren på nuvarande konsumtionsnivå. Effektivare snabba reaktorer kan förlänga denna period till mer än 2500 år.

Kraftindustrin är övertygad om att bränsletillförseln till branschen kommer att svara mot ökande efterfrågan. Förtroendet för framtida tillgången är stärkt av det faktum att några av världens rikaste fyndigheter av uran finns i politiskt stabila länder. Kanada och Australien står för 40 % av den globala uranproduktionen, USA står för 3 %.

Avfallet i ett tidsperspektiv

Det högaktiva avfallet (*eng. HLW, High Level Waste*) måste alltså isoleras från omgivningen under en extremt lång tid för att den joniserande strålningen åter ska ligga på en naturlig nivå. Under samma tidsrymd bakåt i tiden har människans utveckling gått från Homo Neanderthalensis till Homo Sapiens och det globala klimatet har omfattat långa oerhört kalla perioder med tjocka istäcken. Klimatets variationer har också orsakat många förändringar på jordytan. Den senaste istiden tog slut för ungefär 10 000 år sedan, och om vi går 20 000 år tillbaka i tiden var klimatet mycket kallt. En detaljerad beskrivning av landisens inverkan på landskapet finns i en tidigare kunskapslägesrapport från Kärnavfallsrådet (SOU 2007:38), där också professor Bert Bolin redovisade kunskapsläget om den framtida klimatutvecklingen i tre olika tidsskalor. Under de närmaste 1000 åren, det vill säga 30 - 40 generationer, kommer klimatet att påverkas av de kraftiga störningar som orsakas av bland annat en ökande halt av koldioxid och andra så kallade växthusgaser i atmosfären som förhindrar eller försvårar värmeutstrålningen från jordytan. En stigande temperatur skulle i sin tur ge upphov till en rad oönskade effekter som isavsmältning, havsnivåhöjning med mera. Under dessa varierande förhållanden förväntas slutförvaret fungera i 100 000 år och det använda bränslet från våra kärnreaktorer ska isoleras från omgivande miljö. Hur utvecklingen ser ut under denna långa tidsperiod är omöjligt att förutsäga och att bygga ett säkert slutförvar är en stor utmaning.

Hur ska man välja metod för slutförvaring?

Vad finns det då att hålla sig till och hur trygg kan man känna sig på säkerheten med avseende på den metod man väljer? Naturligtvis kan ingen garantera att ingenting destruktivt ska hända under denna långa tidsperiod. Det gäller att utforma sitt förvar med utgångspunkt från den samlade naturvetenskapliga och tekniska kunskap vi har idag och som har visat sig kunna tillämpas i andra sammanhang där konstruktion och val av material är kritiska parametrar.

Jag kommer i fortsättningen att redogöra för de olika alternativ för slutförvar som finns i debatten och särskilt beskriva den metod som har förordats av SKB i Sverige – KBS-3. Den bygger på geologisk förvaring med ett flerbarriärsystem (kopparkapsel, bentonitlera och berg) som ska kapsla in och

isolera avfallet under denna långa tid. Den kapsel av koppar som ska innesluta avfallet är utan tvivel den industriella produkt som förväntas ha historiens längsta funktionstid. Den granskning av konceptet som görs av bland andra Strålsäkerhetsmyndigheten och Miljödomstolen innebär att identifiera de hot mot kapselns långsiktiga funktion som kan finnas i förvarsmiljön.

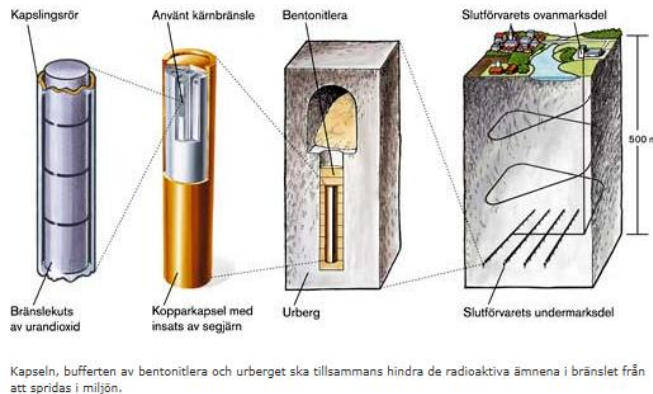


Fig 1. Barriärer i SKB:s förslag till slutförvar av använt kärnbränsle KBS-3 ur "Vår metod för slutförvaring" SKB 2006

Utveckling av den svenska modellen

Arbetet med att utveckla en metod för att ta hand om det högaktiva avfallet från de svenska kärnkraftverken startade på allvar i och med villkorslagen, som stiftades år 1977. Lagen krävde att för att få regeringens tillstånd att tillföra bränsle till de reaktorer som var planerade eller var under uppförande skulle reaktorinnehavarna uppvisa en detaljerad plan för hur avfallet skulle hanteras. Planen skulle innehålla ett avtal om upparbetning av använt kärnbränsle följt av en "helt säker" deponering av det högaktiva avfallet från upparbetningen. Alternativt skulle planen innehålla en beskrivning av en "helt säker" metod för förvaring av icke upparbetat kärnbränsle. För att uppfylla villkoren i lagen startade kärnkraftsföretagen inom bolaget Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) det så kallade KBS-projektet (projekt **KärnBränsleSäkerhet**), som redovisat sitt arbete i tre huvudrapporter.

Den första rapporten (KBS-1) utkom 1977 och behandlade hantering av förglasat avfall efter upparbetning. KBS-2 rapporten 1978 fokuserade på direktdeponering av använt kärnbränsle i berggrunden med ett flerbarriärsystem. KBS-3 metoden (1983) innebär att bränslet innesluts i kopparkapslar med insatser av gjutjärn som ska placeras i urberget på cirka 500 meters djup omgivna av bentonitlera som en skyddande barriär. Efter avslutad deponering ska förvaret återfyllas med bentonitblock och pellets varefter tunnlar och berggrum försluts.

För närvarande mellanlagras allt använt kärnbränsle i Clab (Centralt mellanlager för aktivt kärnbränsle) i Oskarshamn. Där ligger det i stora vattenbassänger som kyler bränslet och skyddar omgivningen från strålning. År 2006 ansökte SKB om tillstånd enligt kärntekniklagen att uppföra en inkapslingsanläggning i anslutning till Clab och att driften vid de båda anläggningarna skulle integreras. Den planerade integrerade anläggningen för mellanlagring och inkapsling benämns Clink. En ny kompletterandeansökan lämnades i mars 2011.

Det industriella utvecklingsarbetet har varit föremål för insyn och påverkan av omgivande samhälle och olika institutioner t.ex. regeringen, statliga myndigheter, universitet och högskolor, kommuner och olika miljöorganisationer. Detta gjordes i början genom ett vanligt remissförfarande av KBS-rapporter och från 1983 genom att SKB presenterar s.k. Fud - program (**F**orskning, **u**tveckling, **d**emonstration) vart tredje år som ska överlämnas till myndigheter (SKI, SSI och numera SSM) för

granskning och utlåtande. Myndighetsgranskningen har dessutom inneburit ett omfattande remissförfarande.

En annan viktig aktör i granskningsförfarandet är Kärnavfallsrådet (tidigare KASAM) som är en oberoende tvärvetenskaplig kommitté som bl.a. har till uppgift att bilda sig en självständig uppfattning om kunskapsläget inom kärnavfallsområdet genom att granska och bedöma den forskning och utveckling som pågår i Sverige och utomlands. Rådet ska också informera kommuner och massmedia om sina åsikter, skapa debatt i angelägna frågor och vara rådgivare till regeringen.

Platsvalet

Ett av kärnavfallsfrågans huvudproblem är platsvalet, dvs. att nå fram till ett välgrundat beslut om lokaliseringen av ett slutförvar. Miljöbalken stadgar att "för all verksamhet och alla åtgärder skall en sådan plats väljas att ändamålet kan uppnås med minsta intrång och olägenhet för människors hälsa och miljön" (2 kap, 4§). I diskussionen om platsvalet har man ofta talat om "bästa möjliga plats". Innebörden av detta uttryck är dock oklart och förekommer inte i lagstiftningen och inte heller i relevanta förarbeten. Enligt Kärnavfallsrådet är det lämpligare att tala om platsvalskriterier i form av en uppsättning krav som en plats för upprättandet av ett slutförvar bör uppfylla. Sådana har också uppställts av SKB t.ex. i dess Fud - program 1995. Där räknade SKB med fyra s.k. platsvalsfaktorer, nämligen säkerhet, teknik, mark och miljö, samt därtill samhällsaspekter.

I mars 2011 lämnade SKB (Svensk Kärnbränslehantering) in en ansökan om att få uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle från kärnreaktorer vid Söderviken nära Forsmark i Östhammars kommun med motivering att där finns de bästa geologiska förutsättningarna. Den totala mängden av använt kärnbränsle från reaktorerna i Barsebäck, Forsmark, Ringhals och Oskarshamn uppskattas idag till cirka 12 000 ton och ska placeras på cirka 500 meters djup i 1,9 miljarder år gammal granit. SKB föreslår att man använder den så kallade KBS-3-metoden, som bygger på ett flerbarrärsystem (kopparkapsel, bentonitbuffert, berg) och att återfyllning av tunnlarna, schakt och bergrum görs med bentonitblock och pellets.

Nu inleds en period av granskning och prövning enligt Kärntekniklagen (KTL) och Miljöbalken som görs av Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) resp. Mark- och miljödomstolen. Detta kommer att ta några år och deras utlåtanden lämnas därefter till regeringen för beslut.

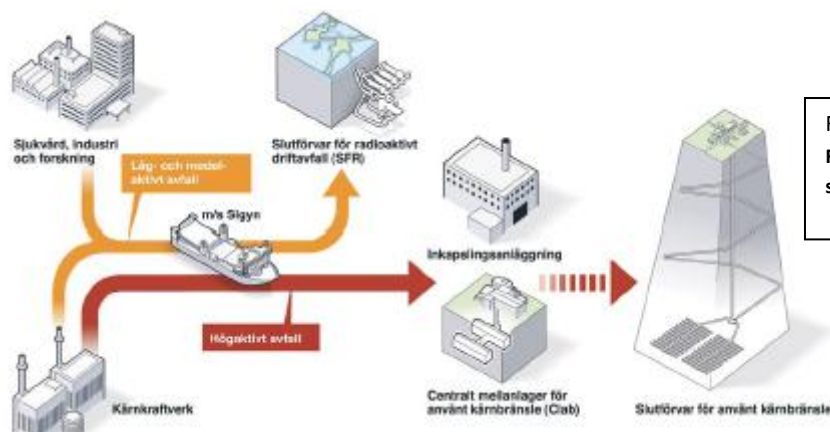


Fig. 2 översikt av den svenska modellen; från Fickfakta - SKB har uppdraget att ta hand om det svenska kärnavfallet; 2010

Alternativen

KBS-3 metoden är alltså en variant av geologiskt förvar där bergets egenskaper ska utnyttjas som ett naturligt skydd för kopparkapseln. De verkliga hoten mot kapselns långsiktiga funktion som en tät barriär i slutförvaret utgörs av korrosion genom inverkan av grundvatten och seismiska rörelser i berget. Det gäller att hitta en berggrundsvolymer som är så tät och fri från sprickor som möjligt för att skapa en stabil kemisk miljö.

Även om KBS-3 metoden är det alternativ som SKB för fram i sin ansökan är det viktigt att alternativa metoder för att slutförvara använt kärnbränsle också uppmärksammas och undersöks. Detta är relevant inte minst ur ett demokratiskt perspektiv och därför att kunskapsunderlaget ska vara allsidigt och främja en samlad bedömning inför beslut av miljödomstolen och regeringen. Hur frågan om alternativen har hanterats i planeringsprocessen och hur valet av plats har skett är mycket centrala i sammanhanget.

Vi kan bortse från metoder som måste anses som orealistiska eller förbjudna genom internationella konventioner t.ex. kvittblivning genom utskjutning i rymden eller deponering i otillgängliga områden på vår planet, exempelvis under Antarktis istäcke eller i havsbottensediment på stort djup. Kvar finns då alternativen att förvara avfallet i bevakade anläggningar nära ytan eller att bygga ett geologiskt slutförvar i någon form.

Ett tredje alternativ skulle kunna innebära att behandla avfallet kemiskt för att kunna återanvända delar av det som bränsle (upparbetning) eller att beskjuta det med en ström av neutroner för att minska mängden långlivade radioaktiva ämnen genom att de får kortare halveringstider (transmutation).

I samband med folkomröstningen 1980 övergavs tanken på upparbetning till förmån för direktdeponering av det använda bränslet, eftersom utvecklingen av ett fungerande system för separation och transmutation beräknas ta mycket lång tid och kräver också någon typ av slutförvaring.

De som inte vill göra någonting alls just nu förespråkar vad som brukar kallas nollalternativet vilket i praktiken innebär att det använda kärnbränslet får en förlängd mellanlagring i Clab i anslutning till Oskarshamns kärnkraftsverk (OKG). Ansökan om slutförvar ska enligt Miljöbalken innehålla en beskrivning av de konsekvenser som uppstår om verksamheten inte kommer till stånd och nollalternativet ska fungera som en referensram för att underlätta jämförelser mellan olika alternativ, det vill säga, mellan att uppföra ett slutförvar för använt kärnbränsle eller att fortsätta att mellanlagra det. I Clab lagras kärnbränslet i två djupa vattenbassänger, 30 meter ned i berget. Strålningen skärmas av åtta meters vattentäckning som samtidigt kylvet heta bränslet. Radioaktiviteten och värmeutvecklingen minskar med tiden och genom att mellanlagra bränslet i cirka 40 år blir det enklare att hantera i ett framtida slutförvar. Idag mellanlagras drygt 5000 ton använt kärnbränsle i anläggningen under ständig övervakning och kontroll.

Enligt SKB:s beräkningar ska bränslet mellanlagras i 30-40 år och för att inte utsätta människor och miljön för risker måste Clab skötas av utbildad och kunnig personal. Dessutom måste el- och vattenförsörjningen fungera. Under dessa förutsättningar har SKB beräknat att Clab rent tekniskt skulle kunna fungera i 100 år om underhållet sköts på ett korrekt sätt. Det är dock knappast etiskt försvarbart att överlämna problemet till kommande generationer på detta sätt. Om inte kontroll och övervakning fungerar kan bränslet komma på avvägar och människor utsättas för strålning.

Ett annat sätt att mellanlagra eller till och med att slutförvara radioaktivt avfall är torr lagring. Strålningen skärmas med stål och betong och bränslet kan kylas med cirkulerande luft.

Det svenska urberget utgör en bra omgivning för ett slutförvar av använt kärnbränsle. Urberget har en ålder på mellan en och två miljarder år och rörelserna i berget är mycket små. Det förekommer ingen större vulkanisk aktivitet och omsättningen av vatten är relativt liten. Det finns en rad tekniska lösningar för att slutförvara använt kärnbränsle i urberg. De bygger allihop på att de radioaktiva ämnena ska isoleras och hindras från att nå markytan genom ett system av konstgjorda och naturliga barriärer (kapsel, buffert och berg). Om en barriär slås ut ska de övriga ge det skydd som behövs.

Strålningen från det inneslutna bränslet är inget större problem eftersom det räcker med några få meter berg för att stoppa den. Den viktigaste uppgiften blir att försäkra sig om att bränslet inte löses upp av grundvattnet så att radioaktiva ämnen sprids i omgivningen. Vid sidan av huvudalternativet, KBS-3, finns varianterna långa tunnlar, WP - Cave och djupa borrhål. (se figur 3)

Långa tunnlar

Metoden långa tunnlar påminner om djupförvarsmetoden KBS-3-H, där H står för horisontell och består av parallella horisontella och omkring 4,5 km långa tunnlar på cirka 500 meters djup. I mitten av dess placeras kapslarna. Under deponeringstunnlarna på 600 meters djup finns en undersökningstunnel för att kontrollera berggrunden längs deponeringstunneln. En nackdel är att kapslarna inte kan deponeras oberoende av varandra vilket gör det svårt att åtgärda enskilda kapslar. För ett slutförvar enligt alternativet Långa tunnlar är tekniska barriärer och material desamma som i ett KBS-3 förvar och avståndet mellan tunnlar är cirka 100 m. Deponering och kontroll samt ett eventuellt återtagande av deponerade kapslar är dock komplicerad.

WP - Cave

Utformningen av WP - Cave påminner om ett ägg. I "gulan" eller centrum av anläggningen finns det använda kärnbränslet i borrhål lutande kanaler. "Vitan" är ett lager av urberg och skalet utgörs av ett skikt av sand och bentonitlera. Det använda bränslet ligger koncentrerat vilket medför att värmeutvecklingen från bränslet blir stor. Anläggningen måste därför hållas öppen under de första hundra åren så att den kan kylas med luft från ytan. Runt barriären på ett avstånd av ungefär 50 meter ska det finnas en så kallad hydraulisk bur. Genom att borra en stor mängd lodräta borrhål för att utjämna skillnader i hydrostatiskt tryck minskar strömningen av grundvatten genom den del av försvaret där bränslet finns. Den hydrauliska buren ställer höga krav på berggrunden och metoden går endast att använda på ett fåtal platser.

DRD - konceptet

Dry Rock Deposit (DRD) är ett system för torr lagring under mycket lång tid, upp till flera tusen år. Förslagsställarna bakom konceptet menar att mer forskning och utveckling behövs för att vara försäkra sig om att metoden innebär en slutgiltig och tillräckligt säker förvaring. Kärnbränslet måste därför förvaras så att det är lätt att övervaka tills denna forskning är genomförd.

Den huvudsakliga skillnaden mellan DRD - konceptet och de system för torr lagring som redan nu finns i drift utomlands är det utrymme som omger lagringsbehållarna. Enligt DRD - konceptet placeras bränslet i täta behållare i ett självdränerande berggrum. Efter deponering stängs berggrummet. Inga insatser krävs för länspumpning eller kylning. Tanken är att minimera behovet av underhåll och övervakning så att lagringen kan ske under lång tid. Bränslet placeras i någon form av behållare som man får anta ska utformas med hänsyn till temperaturen och luftatmosfären i berggrummet så att bränsle och behållare förblir opåverkade under lagringstiden.

Det självdränerande berggrummet ska byggas i en berggrund som sticker upp över omgivande dalgångar. Bergformationen ska omgärdas av en vertikal krosszon som dräneras via en svagt lutande horisontell tunnel. Tunneln förses med en stoffälla där dräneringsvattnet kan kontrolleras. Kylningen planeras ske genom naturlig cirkulation och lagringsutrymmet antas vara självdränerande. För att

inte vatten ska tränga in ovanifrån tätas berget genom injektering. Förutsatt att DRD - konceptet kan visas fungera som tänkt, är det möjligen den minst resurskrävande varianten av övervakad lagring vad gäller mänsklig närvaro.

Någon form av övervakning behövs trots allt, till exempel för att motverka olovlig befattning med det använda bränslet. Vidare är det sannolikt att det med jämna mellanrum skulle behövas underhåll av behållare, bergförstärkningar och dylikt.

Djupa borrhål

Deponering i djupa borrhål innebär att metallkapslarna med det använda bränslet ska staplas på varandra på flera kilometers djup. Säkerheten i förvaringen bygger på bergets förmåga att fördröja transporten av radioaktiva ämnen. Det finns tveksamheter om man kan genomföra deponeringen med tillräckligt hög kvalitet och det är mycket svårt att återta kapslarna om behov för detta skulle uppstå. Det finns en osäkerhet om hur barriärerna det vill säga kapseln och berget fungerar på lång sikt. Kunskaperna om de kemiska förhållandena samt om sprickstrukturer och transportkanaler för vatten på så stora djup är begränsade. Den allmänna uppfattningen är dock att bergets kvalitet är bättre på stora djup än närmare ytan. Om det är så skulle det kanske bli lättare att hitta en plats för förvaret än vid grundare deponeringsmetoder. Metoden innebär att ett antal hål borrar lodrätt från markytan ned till stort djup i berggrunden.

Enligt det koncept som presenterats innesluts det använda kärnbränslet in i kapslar med en ytterdiameter av 0,5 meter och en längd av fem meter, alltså mindre dimensioner än i KBS-3-metoden och därför behövs fler kapslar. Kapslarna sänks ner i hålen och staplas på varandra. Deponeringen sker på ett djup av mellan två och fyra kilometer. Borrhålets diameter är en meter ner till två kilometers djup och 0,8 meter där kapslarna placeras.

Kapslarna omges av en buffert som består av en blandning av bentonit och en uppslamning av mineral och vatten.

Mellan kapslarna placeras högkompakterad bentonit. De övre två kilometrarna av hålet försluts med en kombination av bentonit, asfalt och betong.

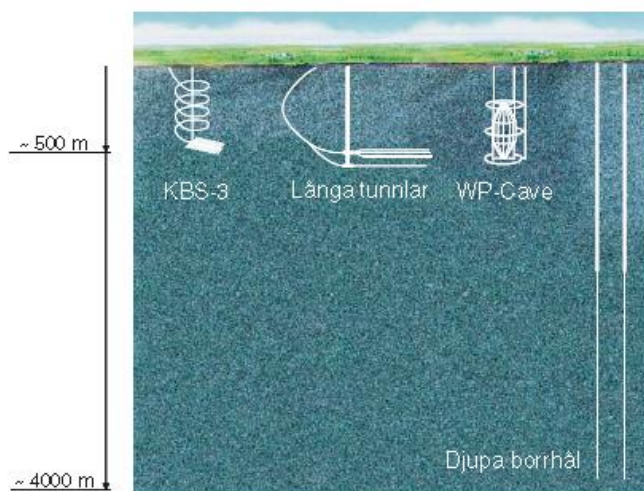


Fig. 3 visar en sammanställning av olika geologiska förvaringsmetoder som presenterats i SKB:s rapport: **Metodval – utvärdering av strategier och system för att ta hand om använt kärnbränsle**; Oktober 2010

Kritisk granskning av KBS-3 metoden

Det ligger som antytts ovan ett mycket långt utvecklingsarbete bakom den metod (KBS-3) som är huvudalternativet i SKB:s ansökan om att få tillstånd för att projektera för ett slutförvar i Forsmark.

Forskningen har bedrivits helt i SKB:s egen regi även om utförarna har engagerats från olika konsultfirmor, forskningsinstitut och universitet eller högskolor i Sverige och utomlands. Det är dock SKB:s egen personal som har haft sista ordet när det gäller vilken kunskap man anser sig behöva och vilka projekt som ska bedrivas. Det finns både en styrka och en svaghet i ett sådant arrangemang.

Styrkan ligger i att SKB lär sig var den kompetens finns som efterfrågas för tillfället och att sociala kontakter underlättas genom att man så småningom lär känna varandra. Detta gör säkert att man kan spara tid och undvika många anledningar till konflikter, både personliga och vetenskapliga. Tyvärr är detta också en svaghet för att i ett så här långvarigt och viktigt projekt som att utveckla en metod för slutförvar för använt kärnbränsle krävs ibland att etablerade metoder och idéer ifrågasätts och att tolkningen av olika försöksresultat utmanas.

Jag tror att det hade varit bra för hela projektet om det skulle ha funnits en oberoende forskningsfinansiär som hade haft "finansiella muskler" att understödja forskare som har andra idéer än de redan etablerade. Det är inte alls säkert att detta automatiskt hade lett till alternativa metoder eller avgörande förändringar i slutresultatet, men det skulle troligen ha betytt att trovärdigheten hade ökat inför prövningen av ansökan och för att få allmänhetens förtroende.

Med detta sagt måste man ändå ge beröm till SKB för den seriositet och det engagemang man visat i sitt uppdrag att finna en metod och en placering för slutförvaret. Det finns hundratals rapporter publicerade som redovisar försök och resultat från nationella och internationella forskningsgrupper, artiklar publicerade i vetenskapliga tidskrifter och akademiska avhandlingar av olika slag som behandlar varierande delar av utvecklingsarbetet.

SKB har som tidigare nämnts redovisat övergripande resultat och planer för fortsatt forskning redovisats i Fud - rapporter vart tredje år. Dessa rapporter har granskats och kommenterats av myndigheter (SKI, SSI och numera SSM), Kärnavfallsrådet (tidigare KASAM), Miljöorganisationer och genom ett remissförfarande även av kommuner, universitet och högskolor. Regeringen har haft sista ordet när det gäller behov av tydliggöranden och kompletteringar. Det har därigenom funnits en god insyn i verksamheten och det har funnits möjligheter att ifrågasätta resultat och kritisera prioriteringar i det fortsatta arbetet.

Genom att SKB internt har initierat, finansierat och publicerat forskningsrapporterna och därigenom själva har bestämt vilka kriterier som gäller för att de ska offentliggöras har det dock ibland (framför allt från miljöorganisationer) framförts misstankar om att man undanhållit vissa obekväma resultat. Jag tror personligen inte att man medvetet handlat så, men dessa synpunkter utgör i sig ytterligare en motivering för behovet av forskningsfinansiärer oberoende av SKB (till exempel Vetenskapsrådet eller Formas).

Äspölaboratoriet i Simpevarp i Oskarshamns kommun som togs i drift 1995 utgör en viktig del i SKB:s arbete. Det är ett underjordslaboratorium med en tunnel ner till 460 meters djup. Verksamheten där har starkt bidragit till att öka SKB:s trovärdighet med avseende på att utforma, bygga och driva ett slutförvar, samt att utveckla metoder för att fastställa kriterier för val av plats för förvaret. I laboratoriet bedrivs både grundläggande och tillämpad forskning och verksamheten presenteras i en särskild rapport varje år.

Slutförvarets utformning

Slutförvarsanläggningens delar under jord består av ramp, schakt, centralområde och förvarsområdet med deponeringstunnlar som är 200 – 300 m långa. I tunnarna placeras kopparkapslarna i vertikalt borrarade hål som är cirka 8 m djupa och har diametern 1,75 m. Hålen har ett avstånd på ungefär 6 – 8 m mellan varandra och varje hål ska inspekteras med avseende på inflödande vatten från sprickor i berget innan kapseln deponeras. Hålet kommer inte att användas om flödet är för stort. Varje kapsel ska omges av en buffert av bentonitlera och i figur 4 ges en översiktlig skiss (ej skalenlig) av hur systemet kan se ut. Figurtexten ger också några relevanta data om kapsel och bentonit.

Efter att kapslarna deponerats fylls tunnarna igen. Övriga utrymmen kommer att fyllas igen när allt använt kärnbränsle har deponerats. När tunnlar och schakt fyllts igen upp till markytan är förvaret förslutet.

Det är inte avsikten att kapslarna med kärnbränsle ska återtas efter avslutad deponering. Slutförvaret är ändå utformat så att det är möjligt att återta deponerat avfall. En anledning till att återta bränslet kan vara att framtida generationer av något skäl vill förändra, komplettera eller förbättra förvarets utformning eller funktion, eller för att komma åt avfallet för annan användning. Det kommer dock att krävas omfattande åtgärder för att i praktiken genomföra ett återtagande efter förslutning. En fortsatt diskussion kring problematiken om återtagande av använt kärnbränsle som redan placerats i en slutförvarsanläggning ges i ett textavsnitt nedan.

Horisontell placering av kapslar?

SKB:s huvudalternativ med avseende på slutförvarsmetod och det som förs fram i ansökan är alltså KBS-3 V, vilket innebär att kopparkapslarna ska deponeras vertikalt enligt vad som beskrivits ovan. SKB har också beskrivit en variant av metoden (KBS-3 H) där kapslarna kan placeras horisontellt i 100 -300 m långa deponeringshål direkt från en stamtunnel, vilket betyder att inga deponeringstunnlar är nödvändiga. I deponeringshålen placeras paket (så kallade supercontainers) bestående av en kapsel omgiven av bentonitbuffert och en perforerad stålbehållare.

Mellan varje supercontainer placeras distansblock av bentonitlera för att täta tunneln, så att vattenflödet längs tunneln förhindras och för att inte temperaturen i bufferten ska bli för hög. En förslutningsplugg installeras i deponeringshålens mynning. Pluggen håller supercontainrar och distansblock på plats tills stamtunneln återfylls. Deponeringshålen kan ha ett inbördes avstånd av 25–40 meter, beroende på bergets egenskaper.

Den största skillnaden mellan KBS-3V och KBS-3H är att i den sistnämnda saknas deponeringstunnlar. Detta medför att uttaget av bergmassor för ett KBS-3H-förvar är väsentligt mindre (cirka 50 procent) än för ett KBS-3V-förvar och att mängden lera till återfyllning är mindre.

En annan skillnad är att i KBS-3H krävs att bentonitbufferten skyddas av en stålbehållare som kan förväntas korrodera på lång sikt vilket innebär att rostprodukter innehållande järnjoner kommer att infiltrera bentonitbufferten. Vilken betydelse kommer detta att ha för dess egenskaper?

Det krävs ytterligare forskning, utveckling och demonstration för att kunna göra en heltäckande säkerhetsanalys. SKB:s bedömning är att tekniken inte är tillräckligt utvecklad för att varianten KBS-3H ska vara ett tillgängligt alternativ idag. Det återstår betydande forskningsinsatser för att avgöra om den överhuvudtaget kan användas.

Utmaningar för KBS-3 metoden

Det finns en rad omständigheter som ställer specifika krav på en geologisk slutförvaring enligt KBS-3 metoden. En viktig utmaning gäller den extremt långa funktionstiden för det barriärsystem som har ett avgörande inflytande på den långsiktiga säkerheten. Under denna tidsrymd kommer den yttre temperaturen att variera från dagens nivå till ett sannolikt varmare klimat på grund av global

uppvärmning och långa perioder av istider med mycket kallt klimat. En låg temperatur innebär att vattnet i åtminstone de övre delarna i förvaret (förslutning och återfyllning) fryser till is, vilket påverkar dem både mekaniskt och kemiskt. När klimatet blir varmare kommer det tjocka istäcket ovanför förvaret att smälta och smältvatten som har en annorlunda sammansättning än grundvattnet sipprar ned i förvaret och kan orsaka erosion av bentoniten i återfyllningen och i deponeringshålen.

Från initialtillstånd till idealtillstånd

När kopparkapseln omgiven av bentonitlera har deponerats i berget och deponeringshålet och tillhörande del av deponeringstunneln har förslutits inleds det så kallade initialtillståndet. Detta tillstånd kännetecknas av att kopparkapselns temperatur är strax under 100 °C medan bergets temperatur är cirka 10 °C, vilket ger upphov till en temperaturskillnad över den omgivande bentonitbufferten. Bentoniten är inte helt vattenmättad och sorption och transport av grundvatten från omgivande berg sker alltså från en lägre mot en högre temperatur, vilket påverkar hur föroreningar i bentoniten slutligen kommer att fördelas. Bentoniten innehåller initialt också syrgas i inneslutna fickor av luft och i porvatten. Syret kommer så småningom att förbrukas genom kemiska reaktioner i bufferten och bakteriell verksamhet. När bentoniten är helt vattenmättad och fri från syre har bufferten uppnått sitt idealtillstånd som förhoppningsvis ska bestå under resten av förvarstiden.

För kopparkapseln gäller att temperaturen vid initialtillståndet gradvis kommer att sjunka under ett antal hundra år för att efter ungefär 1000 år vara lika med omgivningens. Innan dess kommer ytan att reagera med omgivande vatten i bufferten och sedan med jonföreningar i grundvattnet som har diffunderat genom bentoniten. Den vattenmättade bentoniten sväller och utövar ett hårt tryck mot kapseln och när trycket är jämnt fördelat över hela kapseln har den uppnått sitt idealtillstånd.

Deponeringstunnlarnas återfyllning, som består av kompakterade block och pellets av bentonit, är inte heller helt vattenmättad i sitt initialtillstånd. Under förutsättning att vattenströmningen från sprickor i berget inte är alltför stor, vilket kan orsaka erosion, kommer återfyllningen att vattenmättas och svälla så att tunnarna blir helt uppfyllda med bentonit som försvårar fortsatt vattentransport. Då har återfyllningens idealtillstånd uppnåtts.

Den enda helt täta barriären i konceptet är kopparkapseln med ett hölje av ren koppar som är 50 mm tjockt. Fler detaljer om mått och vikt med mera ges i figur 4 nedan. När kapseln är på plats i deponeringshålet ska den skyddas av bentonitbufferten som ska förhindra att grundvatten från omgivande berg ska kunna flöda fritt mot kapselns yta och orsaka korrosion. Det är just frågan om kopparkapselns beständighet mot korrosion i slutförvaret som har blivit ett hett diskussionsområde under den senaste tiden. Korrosion leder till en försvagning av material, och i slutförvaret skulle detta kunna leda till läckage av radioaktiva ämnen ut i grundvattnet och vidare till biosfären. Man skiljer mellan korrosion i närvaro och frånvaro av syre. Det är det senare fallet som är mest aktuellt i detta sammanhang och en eventuell korrosion av koppar i grundvatten innebär då alltid att vätgas bildas. Vätgasutvecklingen är sedan i sig själv en spärr mot fortsatt korrosion under förutsättning att den kan hållas kvar i närheten av kapseln och inte diffunderar bort kontinuerligt.

Den vetenskapliga diskussionen gäller vilket partialtryck av vätgas som krävs för att upprätthålla kopparkapselns relativa immunitet mot korrosion i förvaret och vilken reaktionsmekanism som dominerar. I rent och syrefritt vatten (utan löst syrgas) har beräkningar som baserats på hittills kända termodynamiska samband visat att det krävs extremt låga partialtryck väte för att reaktionen ska upphöra, medan nya experimentella försök har gett en annan bild. Problematiken kring detta och betydelsen för kopparkapselns beständighet finns redovisade i rapporter från Kärnavfallsrådet, bland annat i Kunskapslägesrapporterna för 2010 (SOU 2010:6) och 2011 (SOU2011:14)

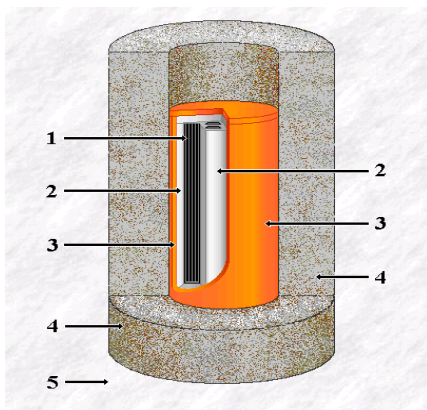
Som tidigare antytts är dessutom grundvattnet inte rent utan innehåller joner (till exempel vätesulfidjoner, HS⁻) som höjer det kritiska vätgastrycket och som därigenom utgör ett hot mot kopparkapseln. Den måste alltså skyddas mot att utsättas för ett flöde av grundvatten. Det måste bentonitbufferten klara av att åstadkomma.

Bentonitbufferten ska alltså skydda kapseln på flera sätt. Den ska dels förhindra att grundvatten som innehåller korrosiva ämnen kan flöda fritt till kapseln, dels vara en spärr mot att eventuell vätgas kan diffundera ut från kapseln och därigenom hålla vätgastrycket på en tillräckligt hög nivå för att förhindra korrosion.

Dessutom ska bentonitbufferten försvåra spridning av radionuklider från bränslet om det av någon anledning uppstår ett hål i kapseln och den ska också vara tillräckligt elastisk för att moderera mindre rörelser i berget som kan skada kopparkapseln.

Vid sidan av kopparkapseln som måste betraktas som "kungen" i förvaret har alltså bufferten viktiga uppgifter som barriär och beskyddare av kapseln. Bentoniten i deponeringshålet och i återfyllningen av deponeringstunnlarna får alltså inte erodera bort i alltför hög utsträckning så att dessa inte kan uppfylla sina uppgifter i förvaret.

Det är alltså i första hand eventuell korrosion av kopparkapseln och erosion av bufferten som utgör de största utmaningarna mot barriärsystemet just nu och SKB fortsätter därför sitt arbete med att fastställa mekanismer för korrosion och optimal sammansättning av bentoniten för att minimera risken för erosion.



1. Använt kärnbränsle i rör av en legering med zirkonium
2. Insats av gjutjärn
3. Kopparkapsel
4. Buffert av bentonitlera
5. Omgivande berg

Hela kapseln är ungefär 5 m lång och har cirka 1 m diameter. Den väger totalt 25 ton varav kopparhöljet som är 50 mm tjockt väger ungefär 8 ton och bränslets vikt är cirka 2 ton. Bentonitbufferten är ungefär 35 cm tjock.

Fig.4 från **Kunskapsläget på Kärnavfallsområdet 2001**
SOU 2001:35

Om återtagande, reversibilitet och övervakning

Problematiken kring om det ska vara möjligt att återta använt kärnbränsle i olika delsteg av slutförvaring diskuteras i Kärnavfallsrådets kunskapslägesrapport 2010. Återtagande innebär att man tar upp en eller flera kapslar med kärnavfall från förvaret till markytan, för att antingen återanvända det eller förvara det på annat sätt.

Återtagbarhet är en egenskap hos slutförvaret och begreppet syftar på den tekniska möjligheten till återtagande. Ett återtagande är naturligtvis tekniskt sett enklast innan kapseln har placerats i deponeringshålet och omgett av bufferten, svårare sedan deponeringstunnlarna fyllts och förseglets

och allra svårast – och mest kostsamt – sedan hela förvaret förslutits.

Diskussionen har gällt om återtagbarhet i slutförvaret innebär att den långsiktiga säkerheten försämrats. Eftersom den långsiktiga säkerheten har prioriterats har frågan om återtagbarhet fått stå tillbaka.

Att det ska finnas möjligheter att återta kapslar som av någon anledning har skadats är föga kontroversiellt men ett återtagande med avsikt att återanvända kärnbränslet är en mer problematisk fråga. Vilken inställning man har till att återanvända bränslet beror i hög utsträckning på den åsikt man har om framtida användning av kärnkraft. En negativ inställning till kärnkraft återspeglas ofta i vilken slutförvarsmetod som förespråkas. Djupa borrhål till exempel innebär ju kvittblivning av avfallet och det kommer inte att kunna återtas medan slutförvaring på jordytan lämnar möjligheterna öppna för att återanvända bränslet på olika sätt.

Reversibilitet är ett vidare begrepp än återtagbarhet och syftar på möjligheten att vid varje steg i programmet ta ett eller flera steg tillbaka i processen. Detta förutsätter granskning och möjlighet till omvärdering av tidigare beslut.

Tillämpat på KBS-3 metoden innebär det att man ska kunna göra en översyn av exempelvis teknikutvecklingen eller den sociala acceptansen vid olika steg i processen (till exempel förslutning av kopparkapslarna, efter deponeringen av kopparkapslarna i deponeringshålet, efter igenfyllning av deponeringstunnlarna eller till och med efter förslutning av förvaret som helhet). Efter varje steg kan man besluta om man ska gå vidare eller återta bränslet.

Om dessa möjligheter finns kan det upplevas som en trygghet för den kommun som ska vara värd för slutförvaret och till och med som en förbättrad långsiktig säkerhet.

Ett annat begrepp som har diskuterats i samband med slutförvaret är frågan om övervakning. Grundtanken är att när förvaret har förslutits ska barriärsystemet (kapsel, buffert, berg) sköta om "vakthållningen" och inga fler ingrepp ska behöva göras. Motiveringen för detta passiva system är att alla former av ett inbyggt övervakningssystem kan påverka den långsiktiga säkerheten negativt. De viktigaste platserna att övervaka är egentligen deponeringshålen där kopparkapslarna med avfallet är placerade omgivna av buffertblock. Efter förslutningen kommer deponeringshålen att finnas längst ner i förvaret det vill säga på cirka 500 meters djup från jordytan och blir därigenom svåra att kontrollera i efterhand.

Det bör emellertid finnas vissa möjligheter att göra det under byggnadstiden eftersom deponeringshål och deponeringstunnlar kommer att förslutas allt eftersom kapslarna har placerats och hela processen kommer att ta många år. Kanske finns möjlighet att med modern IT-teknik kunna följa de naturliga processerna (vattenmättnad, syrgasförbrukning etc.) i några utvalda hål utan att påverka den långsiktiga säkerheten. Man skulle då kunna välja att följa förloppet i deponeringshål där vattenflödet är på gränsen till att vara för stort för att accepteras respektive i helt torra hål.

Jag tror att det skulle kunna bidra till ökad trygghet under deponeringsfasen vid uppförandet av slutförvaret.

Svenskt slutförvar i ett globalt perspektiv och avslutande reflektioner

Sverige har genom SKB fått en världsledande roll när det gäller forskning, utveckling och demonstration av slutförvar för använt kärnbränsle och tillsammans med Finland och Frankrike anses Sverige tillhöra de länder som har kommit längst i slutförvarsprocessen. Även om inte alla länder har valt samma metod som Sverige kom ett nytt EU-direktiv förra sommaren som säger att geologisk djupförvaring är den säkraste metoden.

En nulägesbeskrivning av slutförvaring i några andra länder finns redovisad i Kärnavfallsrådets Kunskapslägesrapport 2012 (SOU 2012:7)

I Finland ansvarar kärnkraftsproducenterna för att ta fram en slutförvarsmetod och de har bildat bolaget Posiva Oy för att lösa frågan. Posiva har valt den svenska KBS-3 metoden och ett nära samarbete med SKB har bedrivits under lång tid. Posiva har planer på att uppföra slutförvarsanläggningen på halvön Olkiluoto i Euraåminne kommun i västra Finland och bygger nu en forskningstunnel som ska bli en del av slutförvaret.

I Frankrike har det statliga affärsverket ANDRA (Agence Nationale pour la Gestion Des Déchets Radioactifs) uppdraget att hantera det radioaktiva avfallet. Verket har byggt en forskningsanläggning i Bure i Meuse/Haute-Marne i nordöstra delen av Frankrike i närheten av en plats som anses lämplig för slutförvaring. Det gäller geologisk djupförvaring i en berggrund som består av lermineralrik skiffer på cirka 500 meters djup. ANDRA bedriver även forskning om slutförvaring i granit samt om separation och transmutation och fortsatt lagring av avfallet nära ytan efter konditionering.

Även i Tyskland har reaktorägarna det fulla tekniska och finansiella ansvaret för mellanlagring av kärnavfallet, men slutförvaring är ett federalt ansvar med den tyska strålskyddsmyndigheten, Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), som verkställande myndighet. Kraftföretagen åläggs att stå för löpande och framtida kostnader för avfallshanteringen och att göra de externa avsättningar som behövs för detta liksom för avveckling av produktionsanläggningarna. Tillstånd till slutförvaring ges enbart om det kan visas att avfallet kommer att vara stabilt i förvaret under en miljon år och dessutom måste avfallet vara återtagbart under den tid som slutförvaret är i drift innan slutlig förslutning.

I Schweiz inrättades ett nationellt samarbetsorgan (NAGRA) mellan staten och reaktorinnehavarna för att säkerställa att avfallet tas om hand på ett långsiktigt säkert sätt. I en rapport från 2002 visades att det är möjligt att slutförvara använt kärnbränsle, separerat högaktivt avfall och långlivat medelaktivt avfall i Schweiz. Nu pågår ett arbete för att hitta en lämplig plats och målet är att ha ett slutförvar i drift 2020.

”Amerikas kärnavfallshanteringsprogram befinner sig i en återvändsgränd” sammanfattar den statliga *Blue Ribbon Commission on America's nuclear future* slutsatser som presenterades den 26 januari 2012. Den amerikanska processen fick ett bakslag när den ansökan som inlämnats av den amerikanska energimyndigheten, DOE, till kärnenergimyndigheten, NRC, drogs tillbaka av Obamas administration. Enligt förslaget skulle det använda bränslet förvaras 300 meter ner i berget och 300 meter ovan grundvattennivån i Yucca Mountain, Nevada. Beslutet att dra tillbaka ansökan innebar att 25 års utvecklingsarbete avfärdades och behovet av alternativ blev akut. För närvarande förvaras det använda kärnbränslet i 39 delstater och på mer än 130 platser i landet både i torrförvar och i vattenbassänger. Nu krävs omedelbara åtgärder från regeringen och kongressen för att åter få igång det amerikanska slutförvarsprogrammet.

Många länder har uppenbarligen mycket att lära av hur Sverige har hanterat den tekniska och demokratiska problematiken kring hantering av vårt kärnavfall och inrättande av ett slutförvar för använt kärnbränsle.

Jag tycker att ett geologiskt slutförvar är ett naturligt val i Sverige eftersom vårt land har en lång historia med gruvverksamhet. Vår kunskap om hur man bygger och driver gruvor sitter så att säga i generna och är en stor fördel när vi ska anlägga slutförvaret. Vår stabila kristallina berggrund med låg seismisk aktivitet är också viktig en förutsättning för att lyckas.

Vid mina egna kontakter med forskare utomlands med anknytning till hantering av kärnavfall hör jag ofta att Sverige på många sätt betraktas som ett föregångsland inom området. Det gäller inte bara rent tekniska aspekter utan i minst lika hög grad hur saken har hanterats med avseende på

medinflytande från berörd allmänhet. Det har ju bland annat resulterat i att det finns en stor majoritet av befolkningen i både Östhammars och Oskarshamns kommun som är positiva till att vara delaktiga i och vara värd för slutförvaret av använt kärnbränsle från svenska kärnreaktorer.

Som föregångsland inom området har vi världens ögon riktade på oss. Hur vi hanterar vårt avfall kommer att påverka utvecklingen i många andra länder även om man väljer andra metoder som är anpassade till deras förhållanden.

Som tidigare nämnts pågår för närvarande en omfattande granskning av SKB:s ansökningar, som lämnades till Strålsäkerhetsmyndigheten och Mark- och miljödomstolen 2011. Granskningen omfattar både metod (KBS-3) och platsval (Forsmark) och SKB:s underlag och motiveringar ska synas i detalj. De ursprungliga ansökningarna kommer säkert att behöva både kompletteras och förändras med anledning av det fortsatta granskningsförfarandet.

Det är viktigt att SKB fortsatt lyssnar på den kritik och de invändningar som kan komma mot KBS-3 metoden från utomstående grupper och bemöter dessa seriöst och med respekt. Forskningen inom nyckelområden för att åstadkomma ett långsiktigt säkert slutförvar för använt kärnbränsle måste fortsätta.

Referenser

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2001 (SOU 2001:35)

Bentonitens roll som teknisk barriär vid slutförvar av använt kärnbränsle

Tid för slutförvaring - Samhälle, teknik och natur

En fördjupning till KASAM:s rapport om kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2007 (SOU 2007:38)

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2011 - geologin, barriärerna, alternativen

Rapport från Kärnavfallsrådet (SOU 2011:14)

Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2010 - utmaningar för slutförvarsprogrammet

Rapport från Kärnavfallsrådet (SOU 2010:6)

Kärnavfallsrådets yttrande över SKB:s Fud - program 2010

Betänkande av Kärnavfallsrådet (SOU 2011:50)

Fickfakta - SKB har uppdraget att ta hand om det svenska kärnavfallet

Informationsmaterial från SKB 2010

Grundfelt B, 2010b. Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutlig förvaring av använt kärnbränsle. SKB R-10-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Metodval – utvärdering av strategier och system för att ta hand om

använt kärnbränsle; Svensk Kärnbränslehantering AB; oktober 2010

Willis Forsling; Vad ska vi göra med kärnkraftsavfallet?

THULE; Kungl. Skytteanska Samfundets Årsbok 2003