

Miljöorganisationernas kärnavfallsgranskning, MKG

Underlag för kompletteringskrav rörande grundvattenförhållanden på djupet och alternativa metoden djupa borrhål

Prof Karl-Inge Åhäll, Karlstads universitet

Maj 2012

1. Sammanfattande inledning

Ansökan gäller slutförvaring av högaktivt kärnavfall på ca 500 m djup vid Forsmark enligt KBS-metoden, vilket innebär att inkapslat kärnavfall placeras i den övre zon i berggrunden som har ett rörligt grundvatten med de konsekvenser detta har för säkerheten. Tillståndsprövningen kommer att ske längre fram och frågan nu gäller om redovisningen behöver kompletteras för att medge en allsidig prövning.

Min granskning har fokuserat på metodval och metodvalsaspekter som redovisas på fyra ställen i ansökan:

1. Toppdokumentet avsnitt 5.1. och 5.2.
2. Bilagan miljökonsekvensbeskrivningen, MKB, avsnitt 3.6
3. Bilagan som beskriver metodvalet (MV), R-10-25, som är huvudrapport i dessa frågor, samt
4. Underrapporten R-10-13 där en konsult jämför sökandens KBS-metod och deponering i djupa borrhål som slutförvaringsmetoder.

Utgångspunkten har varit att all redovisning bör följa vetenskaplig praxis. Tillämpat på denna tillståndsansökan innebär det att redovisningen i alla centrala frågeställningar ska vara allsidig, uppdaterad samt tillräckligt detaljerad så att läsaren, genom att ta del av befintlig information, ska kunna delta i en allsidig granskning av sökandens faktaunderlag, bedömningar och slutsatser. Vidare krävs en samlad redovisning i alla centrala frågeställningar oavsett tidigare ställningstaganden under FUD-programmet.

Sammanfattningsvis ger granskningen att det krävs kompletteringar av både utformning och innehåll, där behoven kan exemplifieras av att det i ansökan inte ens finns en korrekt redovisning av grundvattnets zoner trots att denna är avgörande vid valet av förvaringsdjup och således för hela metodvalet.

Särskilda kompletteringsbehov gäller redovisningens utformning. Redovisningen i centrala frågeställningar bör vara samlad, överskådlig, uppdaterad och så allsidig att läsaren själv ska kunna bilda sig en uppfattning. Och i detta avseende finns stora kompletteringsbehov i redovisningen för valet av förvaringsdjup, KBS-förvarets konceptuella svagheter och dess konsekvenser samt djupa borrhål som alternativmetod.

Ett återkommande problem i ansökan är att det saknas en samlad redovisning i många centrala frågeställningar. Ett exempel är hur man bör prioritera mellan de delvis motstridiga mål som finns för ett svenskt slutförvar. Bland annat kan man inte säkra kärnavfallens oåtkomlighet om man också vill att avfallet senare ska kunna återtas.

2. Redovisningen i ansökan bör kompletteras och utformas i enlighet med vetenskaplig praxis

Efter mer än 30 års målmedvetet utvecklingsarbete av KBS-metoden är rimligen avsikten med denna tillståndsansökan att försöka övertyga läsaren om gjorda bedömningar och slutsatser.

Men för att övertyga finns två olika redovisningsstrategier. Antingen utformas redovisningen ”av försäljaren inom oss” där vi med ett selektivt urval av fakta försöker övertyga läsaren om våra bedömningar och slutsatser, eller också utformas redovisningen för att läsaren ska bilda sig en egen uppfattning i centrala frågeställningar, för att på så sätt bli övertygad. Och vetenskaplig praxis utmärks av just detta. Att läsaren genom befintlig information ska få överblick och tillräcklig kunskap för att själv kunna bilda sig en uppfattning om det saken gäller.

I denna praxis ingår också att redovisningen utformas så att läsaren först ges en samlad information av relevanta fakta i centrala frågeställningar innan sökanden delger egna bedömningar och slutsatser utifrån jämförelser av skilda slag. Vidare bör läsarens kunskapsinhämtning underlättas av en överskådlig disposition, vägledande rubriksättning och vedertagen terminologi.

I ansökan redovisas metoder och metodvalsaspekter på fyra ställen enligt ovan. Men ingen av dessa redovisningar har utformats i enlighet med vetenskaplig praxis. Istället blandas fakta med tidigare bedömningar och allsköns jämförelser med KBS-metoden i snart sagt varje avsnitt där man som läsare förväntar sig en samlad och allsidig redovisning av relevanta fakta. Därtill finns avsnitt, även i toppdokumentet, där urvalet av redovisade data är så ensidigt att det blir vilseledande.

Avsikten med redovisningarna i ansökan inte är till för att övertyga läsaren om sökandens bedömningar och slutsatser utan för att ge läsaren möjlighet att själv bilda sig en uppfattning om basala förhållanden för att på så sätt kunna delta i en allsidig granskning av sökandens faktaunderlag, bedömningar och slutsatser.

3. Toppdokumentet

Toppdokumentets redovisning av metodvalet (avsnitt 5 sid 19-20) bör kompletteras så att den blir uppdaterad och vägledande för läsaren. I en summering av metodvalsaspekter förväntas en uppdaterad redovisning med fokus på en slutförvaring. Istället finns en rapportering av stort som smått där merparten av redovisade metoder och strategier inte är förenliga med angivna mål för en svensk slutförvaring.

För att läsaren ska få en vägledande sammanfattning bör det åtminstone finnas en syntes av slutförvaringens mål och hur olika slutförvaringsmetoder utifrån sina för- och nackdelar kan möta dessa mål. Och målredovisningen kan mycket väl vara kort: att varken utsätta oss själva eller kommande generationer för onödiga risker, ansvar eller kostnader till följd av vår tids kärnavfall. Och med tanke på tidigare lagstiftningskrav om en ”helt säker” slutförvaring, finns kanske skäl att också klargöra varför målet inte längre är att helt befria kommande generationer för alla risker trots att det vore mer etiskt och därför önskvärt.

Vidare krävs en korrekt rubricering där man skiljer på slutförvaringsmetoder och vad som är metoder/strategier för en annan hantering eller bearbetning av kärnavfall.

I ett ”toppdokument” med fokus på KBS-metoden bör läsaren även informeras om de konceptuella svagheter som just denna metod har, bland annat att förvaret skulle omges av ett rörligt grundvatten med kapacitet att föra eventuella läckage vidare mot markytan, om än långsamt och i utspädd form. Och även att det ännu inte är klarlagt om KBS-förvarets tillsynsbehov över tid kan anses förenliga med angivna målsättningar med slutförvarssystemet.

Vidare krävs en uppdaterad redovisning av konceptet djupa borrhål. Exempelvis är det vilseledande för läsaren och förtroendesänkande för sökanden att skriva att ”djupa borrhål uppfyller inte heller kraven på flera barriärer ...” och att ”säkerheten i konceptet djupa borrhål bygger på berget som barriär och ett antal antaganden om förhållanden och grundvattenrörelser på stora djup som det är mycket svårt, om ens möjligt, att verifiera”. Dagens borrhålkoncept har förvisso sina svagheter men att fortfarande basera en redovisning på PASS-studiens gamla slutsatser från 1992 är oseriöst, särskilt som man i andra avsnitt ger en mer uppdaterad bild av grundvattnets zoner och dess stabilitet över tid. Istället bör redovisas att dagens borrhålsförvar baseras på att man har identifierat fyra av naturen givna barriärfunktioner och att dessa även kan kompletteras med två konstruerade.

4. Bilagorna om metodvalet och miljökonsekvensbeskrivningen

I detta avsnitt anges kompletteringsbehov för metodvalets huvuddokument, bilaga MV (R-10-25), och i vissa fall även bilagan med miljökonsekvensbeskrivningen. MKB:n, avsnitt 3.6.

Först anges kompletteringsbehov av mer principiell karaktär i avsnitt 4.1. I avsnitt 4.2 redovisas mer sakorienterade kompletteringsbehov i redovisningen av hydrogeologi och lämpliga deponeringsdjup. I avsnitt 4.3 redovisas mer sakorienterade kompletteringsbehov i redovisningen av djupa borrhål som alternativmetod.

4.1 Kompletteringsbehov av mer principiell karaktär

I detta avsnitt anges kompletteringsbehov av mer principiell karaktär rörande målkonflikter, olika grundtyper av barriärer

4.1.1 Motstridiga mål

Kompletteringar krävs för att redovisa de delvis motstridiga mål som finns för ett svenskt slutförvar samt vilka konsekvenser det har för olika metoder. Bland annat finns en svårhanterad målkonflikt mellan att trygga kärnavfallens oåtkomlighet över tid och att slutförvara avfallet så att det senare ska kunna återtas.

I den ”dubbla KASAM-principen” formulerades tidigt två mål. Dels att avfallet ska slutförvaras så oåtkomligt att det över tid förblir väl skyddat för både avsiktliga och oavsiktliga intrång. Dels att avfallet senare ska kunna återtas om så anses befogat. Men återtagbarhet och oåtkomlighet är delvis oförenliga mål, vilket innebär att det måste göras en avvägning.

Denna avvägning är viktig för metodvalet och bör därför redovisas och analyseras innan metodvalet avgörs. Men i ansökan finns ingen samlad redovisning av denna problematik. I stället återkommer oprecisa skrivningar med budskapet att KBS-metoden uppfyller högt ställda mål och säkerhetsanalysens krav.

En annan målkonflikt gäller att metoder av KBS-typ kräver en viss tillsyn över tid, se även avsnitt 4.1.4 nedan, och att detta medför att kommande generationer – i strid med angivna mål – skulle belastas med både ansvar och kostnader till följd av vår tids kärnkraftsverksamhet.

En tredje målkonflikt gäller att säkerheten för metoder av KBS-typ inte har kunnat baseras på skyddsbarriärer som fungerar oberoende av varandra. Avsaknaden av sådana fler-barriär-system innebär att säkerheten över tid inte blir bättre än systemets svagaste punkt, vilket inte motsvarar säkerhetsnivån i den av Statens kärnkraftinspektion, SKI, tidigt formulerade fler-barriärs-principen, dvs att slutförvaret ska skyddas av flera till sin funktion oberoende skyddsbarriärer, se även avsnitt 4.2.4 nedan där KBS-barriärernas hydrogeologiska utsatthet belyses.

4.1.2 Värdering av säkerheten med konstruerade eller naturliga barriärer

Kompletteringar krävs för att redovisa och värdera säkerheten för såväl grunda som djupa slutförvar. Bland annat behövs en samlad analys av för- och nackdelar med att säkerheten baseras på av människan konstruerade skyddsbarriärer eller att säkerheten baseras på av naturen givna faktorer

Under 1990-talet påvisades en anmärkningsvärd stabilitet i grundvattnets zoner. Dessa studier medförde under 2000-talet en bred samsyn i att det i praktiken bara finns två möjliga slutförvaringsdjup i normal svensk berggrund, ca 500 m resp. 3-5 km ned. Med denna ansökan står också klart att säkerheten för grunda deponier av KBS-typ (ca 500 m ned) måste baseras på konstruerade skyddsbarriärer medan säkerheten för borrhålsdeponier (3-5 km ned) kan baseras på av naturen givna och därmed ”långtidstestade” säkerhetsfaktorer.

Konstruerade skyddsbarriärer kan inte långtidstestas under realistiska förhållanden ens under bråkdelen av den tid slutförvaringen fordrar, vilket gör att säkerhetskalkylerna baseras på extremt långa extrapoleringar med de osäkerheter detta medför. En borrhålsförvaring på 3-5 km djup kan däremot baseras på flera av naturen givna säkerhetsfaktorer, vilkas tillförlitlighet över tid man har kunnat klarlägga för årmiljoner bakåt i tid genom insamling av grundvattenprov och isotopmätningar. Detta gäller bland annat för grundvattnets zoner och dess stabilitet över tid.

Med dessa stora och konceptuella skillnader mellan grunda och djupa deponier krävs en långt mer allsidig analys av valet av förvaringsdjup, med fokus på förvarets säkerhet över tid.

4.1.3 Ansvar för kommande generationer och förlåtande teknik

Kompletteringar krävs också för att redovisa och konsekvensanalysera hur metodvalet och valet av slutförvaringsdjup påverkas av våra etiska behov som människor, dvs att beslut här och nu inte ska belasta framtida generationer med onödiga risker, ansvar eller kostnader. Och för att undvika detta krävs att vi, även i metodvalet, agerar för att minimera risker som kan ha förbisetts, ett säkerhetstänkande som bland annat medför en prioritering av teknologiskt robusta och ”mer förlåtande” system före teknologiskt komplexa system

Som etiskt ansvarstagande inser vi att det kan finnas förbisedda oklarheter och risker med det vi planerar och bygger, och särskilt i teknologiskt komplexa system. Exempelvis orsakades två av Sveriges allvarligaste kärnkraftsolyckor (elhaveriet i Forsmark 2006 och kylvattenhaveriet i Barsebäck 1996) av faktorer som trots säkerhetskalkylernas analyser hade förbisetts av såväl konstruktörer, driftsansvariga som kontrollmyndigheter (SKI och SSI).

Så för att minimera risker till följd av möjliga förbiseenden, bör teknologiskt komplexa system undvikas till förmån för mer robusta och ”förlåtande” system, ett säkerhetstänkande som länge använts inom såväl processindustri som myndigheter. Mest uppmärksammat är kanske Vägverkets framgångsrika inriktning på ”förlåtande utformningar” vid ombyggnader av olycksdrabbade vägar.

Dessvärre tycks denna risk-minimering inte vara möjlig för slutförvar som placeras i den övre zon i berggrunden som har ett rörligt grundvatten. Orsaken är att denna typ av förvar skulle ligga i en hydrogeologiskt utsatt miljö för vilken man ännu inte har kunnat konstruera några barriärsystem baserade på robusta eller förlåtande teknologier. Istället har man tvingats basera säkerheten på konstruerade barriärer som dessvärre inte fungerar oberoende av varandra, vilket bland annat medför att säkerheten över tid ej blir bättre än barriärsystemets svagaste punkt.

Exempelvis har inte ens för den teknologiskt avancerade KBS-metoden kunnat förses med skyddsbarriärer som fungerar oberoende av varandra. Bland annat måste avfallskapslarnas tjocka skyddshölje av koppar skyddas av bentonitleras förmåga att upprätthålla en tillräckligt stabil geokemisk miljö över tid, och detta med en lera som initialt kräver en tillräckligt snabb tillförsel av grundvatten för att alls börja fungera men som inte klarar en alltför heterogen tillförsel för att kunna fungera över tid.

Denna konceptuella utsatthet för grunda deponier av KBS-typ förstärks av att säkerheten även beror på faktorer som inte helt kan förutses eller kontrolleras över tid. Exempelvis kan både skyddsbarriärer och avfallskapslar skadas inte bara vid oavsiktliga, liksom vid avsiktliga, intrång i förvarsområdet utan även vid större jordskalv och oförutsedda systemtekniska svagheter, t ex förbiseenden vid planering, felbedömningar vid konstruktion eller vanligt slarv, som en kvarglömd dammsugare i Ringhalsreaktorn.

Sammantaget tycks KBS-metodens ringa deponeringsdjup medföra att man inte kan tillgodose de etiskt motiverade säkerhetsåtgärder som fordras för att också minimera risker till följd av slarv eller oförutsedda systemtekniska svagheter.

Men i denna tillståndsansökan finns ingen samlad redovisning av den förordade metodens systemtekniska svagheter, vilket i sig vore ett belysande förbiseende om avsikten varit att tillhandahålla en för läsaren tillräcklig information i basala frågeställningar, vilket borde vara en högt prioriterad åtgärd i och med att KBS-metoden inte har några säkerhetsmarginaler för vare sig slarv eller oförutsedda systemtekniska svagheter eftersom omgivande grundvatten inte kan hindras att sprida läckage vidare upp till mark och vattendrag i grundvattnets utströmningsområden.

I en ansökan om slutförvaring av högaktivt kärnavfall krävs en korrekt redovisning och rubricering där man skiljer på slutförvaringsmetoder och vad som är metoder/strategier för en annan hantering eller bearbetning av kärnavfall. Likaså krävs att så många alternativa slutförvaringsmetoder anges explicit och ges en allsidig presentation

Inte ens i huvudrapporten om metoder och metodvalet (R-10-25) görs denna uppdelning. Istället för vägledande rubriksättning och redovisning av vad som är slutförvaringsmetoder, och vad som inte är det, blandas slutförvaringsmetoder med helt andra former av hantering och bearbetning av kärnavfall – först i avsnittet ”Översikt av tänkbara strategier och system” (sid 27-49) och sen i avsnittet ”Samlad bedömning” (sid 51-59).

Varken upparbetning eller separation och transmutation är slutförvaringsmetoder (eller alternativa metoder), utan åtgärder för en bearbetning av kärnavfall så länge dessa åtgärder inte kompletteras med ett slutligt omhändertagande av de högaktiva restprodukter som dessa processer medför.

Inte heller övervakad lagring (våt eller torr) eller WP-cave slutförvaringsmetoder (eller alternativa metoder) då de för sin funktion förutsätter tillsyn över tid, och i en omfattning som tveklöst skulle belasta kommande generationer i strid med målet för en svensk slutförvaring.

Även KBS-metoden och DRD-konceptet förutsätter en viss tillsyn över tid. Dels för att leva upp till internationella åtaganden mot spridning av kärnvapenmaterial (s k safeguards), se även nästa avsnitt.

Dels för att säkra att vare sig avfallskapslar eller skyddsbarriärer skadas vid avsiktlig eller oavsiktlig påverkan.

Trots denna likhet bedöms detta helt olika. För DRD-konceptet redovisas tillsynsbehoven och med en skrivning som klargör att det varit en viktig faktor bakom slutsatsen att inte acceptera denna metod som slutförvaringsmetod (avsnitt 3.5.3, sid 48). I motsvarande avsnitt för KBS-metoden (avsnitt 3.4.1, sid 37-38) finns vare sig tillsynsbehov eller dess konsekvenser redovisade. Och inte heller i sammanfattningen (Samlad bedömning, avsnitt 4.4.3) får läsaren någon information om KBS-metodens tillsynsproblematik och de oklarheter detta medför, se nästa avsnitt.

4.1.4 Behov av övervakning

KBS-förvarets tillsynsbehov och möjlighet att återta kärnavfall medför att det krävs en samlad och långt mer allsidig analys av safeguardproblematiken. Detta för att klarlägga om ett KBS-förvar på ca 500 m djup kan infria de mål som ställs på ett svenskt slutförvar, nämligen att inte belasta kommande generationer med onödiga risker, ansvar eller kostnader till följd av vår tids kärnkraftsverksamhet.

I KBS-förvarets safeguardproblematik ligger att både tillsynsbehovet och återtagbarheten av kapslar med använt kärnbränsle har rättsliga konsekvenser eftersom dessa innehåller klyvbara material som plutonium, vilket innebär krav på övervakning av deponin, bland annat för att leva upp till internationella åtaganden för att hindra spridning av kärnvapenmaterial.

Detta av Sverige accepterade övervakningskrav, och att KBS-förvaret även utformas så att kärnavfall senare ska kunna återtas, innebär således en målkonflikt eftersom en övervakning som de facto förs över på kommande generationer strider mot ett grundläggande svenskt slutförvaringsvillkor. Villkoret att slutförvaringsmetoden inte ska kräva framtida övervakning då det skulle belasta kommande generationer med både ansvar och kostnader.

Dessa safeguardproblem påtalades tidigt i FUD-granskningen och dessutom i SKI:s ”Dialogprojekt” (1990-93) där man bland annat enades om behovet att klarlägga KBS-metodens möjlighet att ”förebygga att klyvbart material kommer i orätta händer och utnyttjas för framställning av kärnvapen”, se SKI TR 93:34, avsnitt 2.2.1 och 2.2.8. Vidare bedömdes dessa safeguardproblem vara så svårbemästrade att det skulle vara olämpligt ”att i fortsättningen enbart satsa på KBS-metoden”, avsnitt 2.2.1.

Men inte heller dessa ställningstaganden medförde någon allsidig genomlysning, kanske för att alla då kända slutförvaringsalternativ hade liknande safeguardproblem. Läget nu är dock annorlunda i och med att dagens borrhålskoncept i amerikanska studier bedöms ha potential att ge en god säkerhet över tid, även utan tillsyn, vilket medför att kommande generationer inte skulle belastas med vare sig tillsynsansvar eller kostnader (se avsnitt 6 för en lista på referenser om djupa borrhål).

Sammantaget innebär detta att läsaren måste ges en långt mer allsidig redovisning av KBS-metodens tillsynsbehov och safeguardproblematik och att konsekvensanalysen ska baseras på nu tillgänglig kunskap om förhållandena i berggrunden och hur dessa förändras med stigande djup.

4.1.5 Återtagbarhet

Det krävs kompletteringar för att mer allsidigt belysa för- och nackdelar med slutförvaringsmetoder som har en förberedd återtagbarhet av kärnavfall

En återtagbarhet av avfallskapslar är positiv i så motto att framtida generationer kan få ökad valfrihet i och med att de, vid behov, då skulle ha möjlighet att vidta förstärkningsinsatser av förvaret eller också att helt avbryta slutförvaringen till förmån för något som då bedöms vara bättre. Vidare skulle man då kunna återta kärnavfall för att använda vissa komponenter i framtida teknologier.

Dessvärre har det visat sig svårt att värdera dessa möjligheter kvalitativt i och med att de förutsätter radiologisk kunskap och teknisk kompetens som ej kan garanteras över tid. Exempelvis kan ingen här och nu säkerställa att de människor som lever här om några hundra år, eller som en gång återbefolkar Sverige efter en nedisning, verkligen kommer att ha den kunskap och kompetens som krävs för att kunna återta avfallskapslar, reparera förvaret eller ens för att upptäcka om läckage har uppstått.

Men återtagbarhet kan också ha negativa konsekvenser i form av ökade risker. Exempelvis kan framtida generationer utsättas för ökad risk just därför att det plutoniumhaltiga och mycket giftiga kärnavfallet har deponerats på så ringa djup att det både skulle kunna återtas och utsättas för sabotage.

I praktiken blir återtagbarheten av kärnavfall i grunda deponier av KBS-typ villkorad den framtida samhällsutvecklingen. Och den kan förstås beaktas i säkerhetskalkylernas olika scenarier men ändå aldrig förutses fullt ut. Därför krävs en långt mer allsidig redovisning av återtagbarhetens olika för- och nackdelar. Och utan en sådan redovisning är det inte seriöst att som nu kategorisera en återtagbarhet som en plusfaktor vid val av slutförvaringsmetod även om detta har påvisbara fördelar i några framtidsscenarier.

4.2 Kompletteringsbehov i redovisningen av hydrogeologi och lämpliga deponeringsdjup

Före 1990-talets upptäckter om grundvattnets zoner i urberg av svensk typ fanns få skäl att överväga andra deponeringsdjup än ca 500 m ned, dvs djup man enkelt kunde nå med traditionell gruvbrytningsteknik. Med den tidens kunskap var det således rimligt att inrikta kärnavfallsprogrammet på en slutförvaring av inkapslat kärnavfall på ca 400-700 meters djup, dvs KBS-metoden.

Tillsammans med den snabba borrhäls tekniska utvecklingen har dock senare års kunskaps-utveckling om grundvattnets zoner och dess stabilitet över tid ändrat förutsättningarna för valet av förvaringsdjup. Dels finns påvisbart bättre förhållanden för en säker slutförvaring på 3-5 km djup, förutsatt att all bredhålsborrning och deponering kan genomföras utan varaktigt att störa grundvattnets skiktning. Dels finns ett slutförvaringskoncept som inte har någon av KBS-metodens konceptuella svagheter:

1. att förvaret skulle omges av ett både rörligt och över tid föränderligt grundvatten med kapacitet att sprida radioaktiva läckage vidare mot mark och vattendrag i grundvattnets utströmningsområden, om än långsamt och i utspädd form,
2. att den hydrogeologiska och geokemiska miljön kring slutförvaret är så svårhanterad att man inte har kunnat förse förvaret med skyddsbarriärer som fungerar oberoende av varandra, vilket tyder på att säkerheten över tid aldrig kan bli bättre än i barriärsystemets svagaste punkt oavsett antalet ingående barriärer,
3. att man i så grunda deponier aldrig kan säkra kärnavfallets oåtkomlighet – varken på kort eller lång sikt – och särskilt om man också vill att deponerat avfall senare ska kunna återtas.

I och med att grundvattnet i normal svensk berggrund har en tydlig zoner kring 1 km-nivån finns i praktiken bara två alternativ för valet av förvaringsdjup – en grund deponering (ca 500 m ned) och en djup deponering (3-5 km ned). Orsaken är att grunda deponiers skyddsbarriärer skulle utsättas för större påfrestningar (främst geokemiskt) om förvaret placerades alltför nära 1-km-nivån och övergången till den undre zonens grundvatten, medan en borrhålsdeponi på 3-5 km djup förmodligen kräver en minst km-bred buffertzoon upp mot övergången till den övre zonens grundvatten.

På dessa två förvaringsdjup (ca 500 m resp. 3-5 km ned) är både den hydrogeologiska och geokemiska miljön olika och det är dessa skillnader som styr hur de två förvaren ska utformas för att fungera över tid.

Valet av deponeringsdjup är därför viktigt, särskilt som båda alternativen har påvisbara nackdelar, om än av olika slag. Sist men inte minst beror valet på våra etiska ställningstaganden och hur man bör prioritera mellan de delvis motstridiga mål som finns för ett svenskt slutförvar. Exempelvis kan kärnavfallets oåtkomlighet inte säkras – vare sig på kort eller lång sikt – om man samtidigt vill att deponerat avfall senare ska kunna återtas.

Under FUD-processen fick sökanden tidigt acceptans att fortsätta KBS-programmet och därmed att fokusera på en slutförvaring ca 500 m ned i lämplig berggrund. En acceptans som stärktes 1992 genom den så kallade PASS-studiens jämförelser med andra metoder.

Redovisningen av berggrundens egenskaper och lämpliga deponeringsdjup måste dock grundas på dagens kunskaper och att förutsättningarna nu är helt andra än när PASS-studien gjordes för 20 år sen. Mest avgörande är väl att man i senare års studier har man visat att zoner i normal berggrund (urberg) kan vara så stabil över tid att grundvatten på några km djup inte förs uppåt ens under årmiljoner, och på så sätt når upp till den övre zonens grundvatten. Vidare har borrhäls tekniska utveckling, med såväl precisions- som bredhålsborrning till stora djup, öppnat för en slutförvaring så djupt som 3-5 km ned.

Trots dessa nya insikter behandlas valet av deponeringsdjup mycket summariskt i ansökan (R-10-25, avsnitt 3.4 Geologisk deponering). Därtill används en gammal och vilseledande figur från 1998 när man ska visa hur berggrunden och dess egenskaper förändras med stigande djup, se punkt 9 nedan. Istället för att klargöra att det i normal svensk berggrund finns en tydlig zoner av grundvattnet

används fortfarande bilden från 1998 som felaktigt anger att grundvattnets salthalt (och därmed densitet) skulle öka successivt med djupet och därtill med en färgsättning som förstärker denna vrångbild.

I andra avsnitt finns dock en riktig, om än osystematisk, beskrivning av grundvattnets zoner. Ändå tycks denna vilseledande bild ha påverkat synen på grundvattenflöden. Bland annat finns regionala flödesmodelleringar från östra Småland (R-06-64 och R-10-43) där man helt eller delvis negligerar den snabba densitetsökning och skiktning som karakteriserar övergången mellan den övre och undre zonens grundvatten. Därtill används denna vilseledande bild även av SKBs konsulter, se R-10-13, Figur 3-1, sid 26, där man i avsnitten om ”bergets funktion” gör jämförelser mellan KBS-metoden och borrhålskonceptet.

Noterbart är att denna vilseledande bild av basala hydrologiska förhållanden i normal svensk berggrund fortfarande finns kvar efter ha påtalats i såväl FUD-remisser som vid symposier med ledande SKB-företrädare; t.ex vid KASAM:s utfrågning om Djupa Borrhål som alternativ i mars 2007.

I de följande avsnitten redovisas behov av kompletteringar av redovisningen av hydrogeologi och lämpliga deponeringsdjup.

4.2.1 Redovisning av berggrundens egenskaper på djupet

Först och främst krävs kompletteringar så att läsaren centralt i ansökan ges en samlad redovisning som i text och bild klargör hur berggrundens egenskaper förändras med stigande djup i normal svensk berggrund.

Ansökans redovisning av berggrunden och hur dess egenskaper förändras med djupet (R-10-25, sid 35) har stora brister. Bitvis är redovisningen inte ens korrekt utan gravt vilseledande som när man utelämnar att det i normal svensk berggrund finns en densitetsstyrd zoner av grundvattnet. Istället används en schematisk figur från 1998 som felaktigt anger att grundvattnets salthalt (och därmed densitet) skulle öka successivt med djupet och därtill med en färgsättning som förstärker denna vrångbild, se inledning ovan!

I redovisningen bör ingå att överskådligt förklara grundvattnets zoner – varför den finns och hur den förändras över tid, bland annat vid glaciation och isavsmältning. Det vill säga att zoner är en naturlig konsekvens av att effekten av markbundna processer (som nederbörd, avdunstning, infiltration och grundvattenutströmning) avtar med stigande djup i berggrunden eftersom tryckökningen nedåt medför en successiv minskning av andelen öppna och sammanlänkade sprickor och porutrymmen i berget. Denna minskning medför att grundvattenflödena under 1-km-nivån i flacka urbergsområden är mycket långsamma, åtminstone vid sidan av större shearzoner, vilket medför att den övre zonens lätta och rörliga vatten någonstans kring 1 km djup relativt abrupt ersätts av den undre zonens grundvatten som är mycket saltare och därmed tyngre. Vidare bör redovisas att det är denna språngvisa skillnad i densitet mellan den övre och undre zonens vatten som gör zoner stabil över tid i berggrund som inte tillförs geotermisk energi underifrån.

4.2.2 Redovisning av berggrundsdata

Det krävs en samlad redovisning utifrån nu tillgängliga berggrundsdata där man först klargör vilka förvaringsdjup som är tänkbara och vilka för- och nackdelar de olika djupalternativen har innan man redovisar varför man förordar det ena eller andra djupalternativet

4.2.3 Förflyttning av grundvattenzoner

Det krävs kompletteringar som klargör hur mycket gränsen mellan dessa två grundvattenzoner kan förflyttas uppåt och nedåt över tid, bland annat vid nedisning

Dessa klarlägganden är viktiga, bland annat för KBS-konceptet, eftersom stora förskjutningar uppåt skulle påverka den geokemiska miljön kring förvaret, vilket i sin tur skulle påverka förvarets skyddsbarriärer och därmed hur dessa bör utformas.

Dessa klarlägganden behövs också för borrhålskonceptet eftersom förskjutningar nedåt är en styrande faktor för hur bred buffertzoner som behövs för att inte störa grundvattnets skiktning kring ett borrhålsförvar. I tidigare bedömningar har SKB angett att borrhålsdeponeringen kan ske ända upp till två-km-nivån medan man i amerikanska studier i allmänhet anger en deponering under 3 km, vilket är en noterbart stor skillnad som kan tyda på att hela dataunderlaget för övergångszonens vertikala

förskjutningar över tid har så stora brister att kompletteringar måste till innan man kan välja deponeringsdjup.

4.2.4 KBS-metodens svagheter

I redovisningen krävs också att läsaren ges en samlad och korrekt bild av KBS-förvarets konceptuella svagheter till följd av förvaringsdjupet ca 500 m ned:

1. att förvaret skulle omges av ett både rörligt och över tid föränderligt grundvatten med kapacitet att sprida radioaktiva läckage vidare mot mark och vattendrag i grundvattnets utströmningsområden, om än långsamt och i utspädd form,
2. att den hydrogeologiska och geokemiska miljön kring slutförvaret är så svårhanterad att man inte har kunnat förse förvaret med skyddsbarriärer som fungerar oberoende av varandra, vilket tyder på att säkerheten över tid aldrig kan bli bättre än i barriärsystemets svagaste punkt oavsett antalet ingående barriärer,
3. att man i så grunda deponier aldrig kan säkra kärnavfallets oåtkomlighet -- varken på kort eller lång sikt -- och särskilt om man också vill att deponerat avfall senare ska kunna återtas.

4.2.5 Samlad bild av för och nackdelar av ett borrhålsförvar och KBS-metoden

Slutligen krävs kompletteringar så att läsaren centralt i ansökan ges en samlad och uppdaterad syntes av de fördelar och nackdelar som finns för ett borrhålsförvar på 3-5 km djup, som till skillnad från ett KBS-förvar inte skulle placeras i den övre zon i berggrunden som har ett rörligt och över tid föränderligt grundvatten till följd av marknära faktorer som nederbörd, nedisningar och klimatförändringar.

4.3 Kompletteringsbehov i redovisningen av djupa borrhål som alternativmetod

Redan i FUD-processen efterfrågades en mer detaljerad redovisning i alternativfrågan och särskilt för djupa borrhål som metod. Det ökade intresset speglar insikten att detta alternativ är den enda slutförvaringsmetod som tycks stå till buds vid sidan av KBS-metoden. Och hösten 2008, efter anmodan från både SSM och Kärnavfallsrådet, begärde regeringen (FUD-beslut 2008-11-20) att SKB skulle komplettera redovisningen av "kunskapsläget vad gäller alternativa slutförvaringsmetoder såsom bland annat djupa borrhål".

I ansökan finns en redovisning av alternativa metoder i tre delar. Dels en sammanställning om djupa borrhål som metod (R-10-25, avsnitt 3.4.2) Dels en jämförelse mellan KBS-metoden och konceptet djupa borrhål (R-10-13) och slutligen en "samlad bedömning" (R-10-25, avsnitt 4.4-4.5).

Först som sist måste påtalas att denna redovisning varken fyller kraven på allsidighet eller vetenskaplig systematik. Istället blandas viktig information med detaljer och rena felaktigheter. Därtill är framställningen oseriös i de delar man fortfarande använder PASS-studiens bedömningar (från tiden före 1992) trots att senare års studier av borrhålsförvar har gett andra och mer precisa resultat.

Sammanfattningsvis står klart att man i ansökan varken hörsammat regeringens eller myndigheters begäran att uppdatera och komplettera redovisningen av djupa borrhål som alternativmetod.

Nedan anges kompletteringar som krävs för att läsaren ska få en mer allsidig och uppdaterad information om djupa borrhål som alternativmetod och dess förutsättningar i normal svensk berggrund.

4.3.1 Uppdaterad och korrekt redovisning av berggrundens egenskaper

Det krävs en samlad, uppdaterad och korrekt redovisning i text och bild över berggrundens egenskaper och hur dessa förändras med stigande djup. Se avsnitt 4.2.1 ovan då denna basala information också behövs i alternativredovisningen.

4.3.2 Samlad redovisning av borrhålskonceptet

Det krävs en samlad redovisning av borrhålskonceptet där man dels använder nu befintlig information (se referenser i avsnitt 6) och dels avstår från att blanda in jämförelser med KBS-metoden så att redovisningen "fragmentiseras". Centrala basdata att redovisa är:

1. att slutförvaring på 3-5 km djup förutsätter att avfallskapslarna deponeras i djupa borrhål och att förvaret kan placeras i ett urbergsområde med stabil grundvattenzonering och lämpliga bergarter (som gnejs och granit),
2. att avfallskapslarna deponeras i halvmeter-breda borrhål,
3. att man kan begränsa ett borrhålsförvars påverkan i närområdet genom att minst ha 200 m som "buffertavstånd" mellan varje borrhål, och
4. att det ännu återstår att utveckla en tillförlitlig deponeringsmetod och att visa att såväl deponering som borrhålens försegling kan genomföras utan att varaktigt störa grundvattnets densitetsskiktning.

4.3.3 Senare års hydrogeologiska upptäckter och teknikutveckling

Det bör redovisas att det ökade intresset för konceptet djupa borrhål grundas på senare års hydrogeologiska upptäckter och teknikutveckling, bland annat:

1. att grundvattnets densitetsstyrda zonering hämmar uppåtriktade grundvattenflöden på 3-5 km djup, och särskilt rörelser genom den hydrogeologiska övergångszonen,
2. att denna skiktning kan vara så stabil över tid att grundvatten på 3-5 km djup inte kommer i kontakt med biosfären ens under så långa tidsrymder som årmiljoner,
3. att det på 3-5 km djup saknas förutsättningar för vertikala grundvattenrörelser (advektion) utanför det termalt påverkade närområdet samt att en spridning av radionukleider genom kemisk diffusion skulle bli extremt långsam i vertikalled på dessa djup (mindre än ca 200 m på 1 miljon år),
4. att dagens borrhåls-teknik medger såväl bredhålsborrning som precisionsborrning till aktuella djup.

4.3.4 Säkerhetsfaktorer för borrhålsförvar

Kompletteringar krävs för att ersätta vilseledande skrivningar om borrhålsförvarets säkerhet; bl.a måste läsaren få en samlad och uppdaterad redovisning av de säkerhetsfaktorer som dagens borrhålsförvar baseras på:

1. det stora deponeringsdjupet (3-5 km), vilket minimerar risken för både avsiktliga och oavsiktliga intrång i förvarsområdet,
2. det höga trycket (som på dessa djup minimerar andelen öppna sprickor i berget och därmed bergets permeabilitet), vilket begränsar grundvattnets mobilitet och därmed radionukleiders spridningsvägar i berggrunden,
3. grundvattnets densitetsstyrda stratifiering, vilket på 3-5 km djup motverkar vertikala grundvattenrörelser och särskilt rörelser genom berggrundens hydrogeologiska övergångszon,
4. grundvattnets sammansättning, vilket på 3-5 km djup ger en geokemisk miljö som motverkar radionukleiders spridning. I denna miljö är grundvattnet kemiskt reducerande, vilket hämmar löslighet och därmed transport av kritiska radionukleider. Vidare finns höga jonladdningar, vilket motverkar kolloidal transport av radionukleider.

Utöver dessa av naturen givna och över tid testade "skyddsbarriärer" kan säkerheten förstärkas genom konstruerade, så kallade teknologiska barriärer, vilket bland annat kan ske genom att:

1. tillföra särskilda kemiska komponenter i borrhålens buffertmaterial (som bl.a behövs för att fylla ut mellan kapslarna) för att via kemiska reaktioner med kritiska radionukleider, som jod-129, få dessa stabilt kemiskt bundna i deponiområdet,
2. använda kapselmaterial särskilt anpassade till den geokemiska miljön på 3-5 km djup, vilket åtminstone i närtid bidrar till att hålla kvar kärnavfallet inne i avfallskapslarna.

4.3.5 Oberoende barriärer

Med tanke på att grunda deponier av KBS-typ inte skyddas av sinsemellan oberoende "barriärer" bör också klargöras att djupa borrhålsdeponier har en viktig konceptuell fördel i att säkerheten på både kort och lång sikt upprätthålls genom flera olika och **funktionsmässigt oberoende** barriärer, samt att detta minskar sårbarheten vid såväl ytnära som djupa störningar i förvarsområdet. Avgörande är dock att man kan identifiera ett tillräckligt stort område som på 3-5 km djup har ett stabilt skiktat grundvatten och att man där kan deponera inkapslat avfall i borrhål utan att varaktigt störa områdets grundvattensskiktning.

4.3.6 Brister av formell karaktär

Brister av formell karaktär finns också i redovisningen av djupa borrhål som alternativ slutförvaringsmetod. Bland annat saknas en klagörande analys om MKB-lagstiftningen krav på en metods fysiska realiserbarhet inom landet kan anses uppfyllt fast det ännu är oklart om metodens fysiska förutsättningar existerar inom landet

Till saken hör att sökanden inte ens har försökt klarlägga om det inom landet existerar ett tillräckligt stort område som har de fysiska förutsättningar som borrhålskonceptet förutsätter; -- dvs en över tid stabil grundvattenzonering. Att en sådan stabilitet har påvisats lokalt på flera, fast sinsemellan mycket avlägsna platser, räcker ej för att visa att metodens fysiska förutsättningar (dvs områdeskriteriet) existerar inom landet.

4.3.7 Potential att säkra en kärnvapenfri värld

Avslutningsvis bör man redovisa att borrhålskonceptet även har uppmärksamats för sin potential att säkra en kärnvapenfri värld. Med en färdigutvecklad metod för deponering på 3-5 km djup skulle internationella organ som FN och IAEA kunna samla in, deponera och därmed avlägsna allt kärnvapen-material från biosfären. Utopiskt idag, men kanske inte för kommande generationer. Vidare skulle regional och mellanstatlig kärnvapenedrustning underlättas då det finns en färdig metod att systematiskt avlägsna klyvbara material från biosfären.

5. Kompletteringar i SKBs tillståndsansökan avseende underbilaga R-10-13: ”Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle”

Redovisningen av djupa borrhål som slutförvaringsmetod grundas främst på bilaga R-10-13, där en konsult (Bertil Grundfelt, Kemakta Konsult AB) gör jämförelser mellan KBS-metoden och djupa borrhål: ”Jämförelse mellan KBS-3-metoden och deponering i djupa borrhål för slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle”.

Rapportens bedömningar och slutsatser har sedan utan vidare analys använts i metodvalets toppdokument, bilagan om metodvalet MV (R-10-25) och i bilagan med konsekvensbeskrivningen, MKB:n, avsnitt 3.6, vilket skapat problem i och med denna konsultrapport har stora brister i både allsidighet och metodik.

Dels har KBS-metodens konceptuella svagheter, kopplade till förvarets placering i den övre grundvattenzonen på ca 500 m djup, förbigåtts eller tonats ned i en omfattning som omöjliggör att ha rapportens bedömningar och slutsatser som beslutsunderlag, se nedan.

Dels har mycket av redovisningen av borrhålskonceptet baserats på en 20 år gammal rapport (SKBs Pass-studie, 1992) även då senare års forskning och teknikutveckling medfört korrigeringar och preciseringar. Exempelvis är två viktiga figurer (2-5, sid 19, och 3-1, sid 26) vilseledande trots att både konsulten och SKB haft tillgång till relevanta fakta, se avsnitt 2 och 3 nedan. Bristen på uppdatering är så omfattande att rapporten kan landa i gravt vilseledande slutsatser även i centrala frågor. Exempelvis hävdas att borrhålsförvar bara skulle skyddas av ”en enda verksam barriär”, se Sammanfattning sid 60, i raden Antalet barriärer samt Tabell 9-1, sid 72.

Sammantaget medför bristen på uppdatering av borrhålskonceptet och nedtoningen av KBS-metodens konceptuella svagheter att det krävs omfattande kompletteringar för att läsaren ska få en allsidig och uppdaterad redovisning av de jämförda metodernas för- och nackdelar samt hur metoderna var för sig svarar mot slutförvaringens mål.

Behoven att komplettera denna jämförande studie visas av att konsultens gravt vilseledande slutsatser idag återfinns ända upp i ansökans toppdokument, där slutsatsen att ett slutförvar i djupa borrhål bara skulle skyddas av ”en enda verksam barriär” återges med orden ”Djupa borrhål uppfyller inte heller kraven på flera barriärer”, se avsnitt 5.2, sid 20, sista meningen i långa stycket strax ovan mitten. Och samma vilseledande slutsats om djupa borrhål återges även i Bilaga MKB ”Berget är därmed den enda barriär som ...”, se avsnitt 3.6.1, sid 41, elva rader nerifrån.

Nedan görs en genomgång av kompletteringar som krävs för att korrigera (K) eller uppdatera (U) denna rapport R-10-13 för dess olika avsnitt

5.1 Avsnitt 2: Beskrivning av de jämförda slutförvarskoncepten

K – Sid 17, första stycket, sista meningen. Att bentonitlera och även koppar kan förekomma naturligt i vissa geologiska miljöer är sant. Däremot är det vilseledande att hävda att meterstora kopparföremål och kompakterad bentonit i buffertformat skulle vara ”naturligt förekommande material” i berggrunden på ca 500 m djup. Vidare återstår att visa att dessa material är ”långsiktigt stabila” i denna miljö.

U – Sid 17, avsnitt 2.2, första stycket. Pass-studiens bedömningar om deponeringsdjup och borrhålsdiameter ansågs rimliga på sin tid (1992) men har sen dess reviderats i flera studier, och av flera skäl, bland annat borrhållstekniska och ekonomiska, och för att ha en tillräckligt bred buffertzona (1-2 km) mellan deponin och övergången till den övre zonens grundvatten även i extrema scenarier då denna gräns kan förskjutas nedåt i berggrunden från ”normalläget” kring eller strax under 1-km-nivån. Det senare är en basal frågeställning som varken beaktas eller redovisas i denna rapport.

K, U – Sid 18, första stycket. I senare års studier redovisas andra sätt att kvarhålla kritiska radionukleider i förvarsmiljön på 3-5 km djup, bland annat genom att binda jod-129 geokemiskt, vilket gör att sista meningen behöver korrigeras. Vidare är det missvisande att fokusera på borrhålsförvarets ”inneslutningstider” och utelämna att förvarets säkerhet istället baseras på en säker kvarhållning i förvarsmiljön på 3-5 km djup.

K, U – Sid 18 och 19. Hela detta avsnitt måste uppdateras i grunden. Bland annat den avståndsdiskussion som baseras på Pass-studiens gamla bedömningar om 500 m som minimiavstånd, då dessa data har reviderats till 200 m i två oberoende studier (Marsic et al. 2006, Brady et al. 2009), vilket även framgår av text med referens till dessa två studier, se sid 18, sista stycket. Och med 200 m som minimiavstånd blir arealbehovet mycket mindre än det som nu anges här.

Att då likafullt använda en färgbild som helt baseras på Pass-studiens gamla bedömningar (se figur 2-5, sid 19), är inte bara vilseledande utan även oseriöst då både konsulten och SKB vet om att denna bild saknar täckning i nu tillgängliga data.

Lika oseriöst är att samma gamla Pass-bedömningar om arealbehovet även redovisas i Sammanfattningen i 2.3, sid 21, och i Slutsummeringen i tabell 9.1, sid 71, och som första punkt.

Vidare är 20 år gamla farhågor om kollisionsrisker mellan borrhål föga relevant med tanke på senare års borrhåll- och mättekniska utveckling.

Vidare är bedömningen om ”endast lite orörd mark mellan borrhållplatserna” föga genomtänkt med tanke på att borrhållen av deponeringsskäl knappast kommer att vara helt vertikala utan snarare med lite lutning (ca 10 grader) för att enklare reglera kapslarnas sjunkhastigheter.

Vidare bör tabell 2-1 ersättas av en uppdaterad redovisning av vad en kapsel behöver klara, samt hur detta bör lösas, eftersom dessa mer än 20 år gamla överväganden inte längre tillför något substantiellt.

För att underlätta läsarens kunskapsinhämtning bör detta första avsnitt om djupa borrhål, dvs avsnitt 2.2, inledas med en översikt för att sen kunna fördjupa bilden. Centrala basdata att redovisa är:

1. att slutförvaring i djupa borrhål på flera km djup förutsätter att förvaret kan placeras i ett urbergsområde med stabil grundvattenzonering och lämpliga bergarter (*som gnejs och granit*),
2. att grundtanken med en slutförvaring på 3-5 km djup är att grundvattnets zonering hämmar uppåtriktade grundvattenflöden, och särskilt rörelser genom den hydrogeologiska övergångszonen, vilket bl.a medför att denna skiktning kan vara **så stabil över tid** att grundvatten på 3-5 km djup inte kommer i kontakt med den övre zonens grundvatten ens under så långa tidsrymder som årmiljoner,
3. att dagens borrhållsteknik medger såväl bredhållsborrning som precisionsborrning till aktuella djup och att det numer bedöms bäst att avfallskapslarna deponeras i halvmeter-breda borrhål, vilket gör att det då skulle krävas XX borrhål, och
4. att det ännu återstår att utveckla en tillförlitlig deponeringsmetod och att visa att deponeringen och borrhålens försegling kan genomföras utan att varaktigt störa grundvattnets skiktning.

K – sid 20 + figur 2-6. Denna ”grenhållsdiskussion” tillför knappast något substantiellt då här diskuterade mått inte längre tycks vara aktuella. Och om figuren ska användas, ska ursprungsstudien anges som referens.

K, U – sid 20, sista stycket samt sid 21, Tabell 2.3 Primär säkerhetsfunktion Denna ”sammanfattning” är varken uppdaterad eller korrekt trots tillgång till andra och mer precisa data, bl.a i SKB TR-98-05 och tidigare citerade Brady et al. 2009.

Att år 2010 fortsätta hävda att borrhålsförvarets säkerhet skulle baseras på ”långa transporttider” och ”stagnant grundvatten” är gravt vilseledande då den helt avgörande säkerhetsfaktorn är att grundvattnets zonerings hämmar uppåtriktade grundvattenflöden, och särskilt rörelser genom den hydrogeologiska övergångszonen, vilket gör att grundvattnets skiktning, åtminstone lokalt, kan vara så stabil över tid att grundvatten under denna övergångszon inte kommer i kontakt med den övre zonens grundvattenflöden ens under så långa tidsrymder som årmiljoner.

Då dessa grundfakta publicerades redan 1998, och därtill i en SKB-rapport (TR-98-05) varifrån bl.a figurerna 3-1 och 3-2 är hämtade, är det mycket anmärkningsvärt att man i denna viktiga SKB-rapport inte ens försöker ge en relevant bild av borrhålsförvarets mest basala säkerhetsfunktioner.

5.2 Avsnitt 3: Förutsättningar för val av förläggningsplats

K – sid 26 + figur 3-1. Denna figur är vilseledande och behöver ersättas av en bild som åtminstone visar grundvattnets zonerings i två olika vattenmassor i normal svensk berggrund. Vidare är det densiteten som är den centrala parametern i denna zonerings

K, U – sid 26-27. Denna redovisning är bitvis felfokuserad och irrelevant. Att KBS-metoden kräver en noggrann platsundersökning med god kännedom om bland annat sprickor och unga diabasgångar, medför inte, att samma gäller för ett borrhålsförvar i och med att säkerheten där inte alls baseras på en homogen och sprickfri bergmassa utan på en stabil grundvattensskiktning. Och för att påvisa ett tillräckligt stort område med stabil grundvattensskiktning krävs relativt enkla mätningar från sonderande borrhål, inte komplicerade mätningar från deponeringshålen, se första stycket sid 27.

Vidare är det gravt vilseledande att påstå att man utifrån bergets egenskaper nära borrhålen ”måste räkna med stora osäkerheter när det gäller den primära säkerhetsfunktionen”, se andra stycket, sid 27.

K sid 27, tredje stycket. Här tangeras en mycket central frågeställning för borrhåls-konceptet – hur djupt ner måste man gå för att vare sig jordskalv eller marknära processer som klimatändringar och nedisningar ska påverka grundvattenszoneringen kring förvaret. Och denna fråga måste klarläggas även om SKB tycks anse att deponeringsdjupet inte behöver överstiga 2 km trots att senare studier anger att det behövs större marginaler och att deponering därför bör ske 3-5 km ner.

Men istället för att belysa denna viktiga frågeställning hävdas avslutningsvis något helt annat. Nämligen att framtida nedisningar och jordbävningar skulle göra det svårt och osäkert att finna en lämplig plats för en borrhålsdeponi eftersom sådana händelser kan påverka grundvattnets skiktning och därmed säkerheten över tid.

Denna slutsats är besynnerlig med tanke på att borrhålskonceptet faktiskt baseras på 10-15 år gamla isotopdata som visar att grundvattnet skiktning åtminstone lokalt kan vara så stabil över tid att den nedre zonens grundvatten (på 2-3 km djup) inte kommer i kontakt med den övre zonens grundvatten ens över så långa perioder som årmiljoner trots att dessa data kommer från områden som under denna tid bevisligen utsatts för stora klimatförändringar, flera nedisningar och även återkommande perioder med stora jordskalv.

Rapportens märkliga argumentering om jordskalvens effekter på olika djup tyder på att man inte förstått att zonerings i en övre och en undre vattenmassa är naturlig och en logisk konsekvens av att effekten av markbundna processer avtar med djupet och att det i urberget under denna nivå finns en helt annan geokemisk och hydrologisk miljö. Denna bristande insikt i basala naturvetenskapliga förhållanden är än märkligare med tanke på att alla naturvetare vet att havens vatten är uppdelad i en övre och undre vattenmassa, där den undre zonens vatten (djupvattnet) överallt har samma densitet, salthalt och temperatur oavsett latitud och markbundna processer medan dessa varierar stort i den övre zonens havsvatten till följd av markbundna processer som solinstrålning, nederbörd och avdunstning.

Kort sagt, alla oceanografer har länge vetat att markbundna processers påverkan avtar med djupet och att havsvattnet under denna påverkanszon är förvånansvärt homogent trots att lokala djupvattenströmmar och geotermala processer orsakar en viss omblandning i gränzonen mellan dessa två vattenmassor.

Mot denna bakgrund borde även av SKB anlidade konsulter förstå att det inte är jordskalvens djup utan grundvattenzoneringens densitetskontrast som styr vilka effekter jordskalven har för zoneringens stabilitet över tid, och därmed för borrhålsförvarets funktion över tid.

Kort sagt, i urberg utan vulkanism, geotermisk energi och stora topografiska kontraster finns ingen fri energi som kan orsaka några grundvattenflöden under den övre zon som påverkas av markbundna processer. Frånvaro av geotermisk energi medför att befintligt grundvatten på 3-5 km djup inte förs uppåt mot markytan eftersom det är mycket tyngre än det som finns ovanför i den övre grundvattenzonen. Så även där jordskalv sker, och lokalt frigör rörelseenergi i berggrunden, förblir zoneringen stabil så länge densitetskontrasten är kvar mellan den övre och undre zonens vatten.

Istället för att fokusera på jordskalvens djup krävs klarlägganden om jordskalvens effekter för slutförvar på olika nivåer i berggrunden.

K, U – sid 27, Tabell 3.3. Denna sammanfattning måste uppdateras och korrigeras för djupa borrhål i fyra första punkterna, se ovan.

5.3 Avsnitt 4: Kärnteknisk säkerhet vid hantering

U – avsnitt 4.1.2, sid 31-34, avsnitt 4.2.2, sid 35-38. Båda dessa avsnitt måste uppdateras, bland annat har det efter Pass-studien (1992) skett en snabb teknikutveckling inom såväl borrhåls-teknik, borrhåls-lining, konsolidering av djupa borrhål samt borrhålsoperationer.

Vidare bör man notera de studier som förordar något lutande borrhål för att enklare kontrollera kapslars sjunkhastigheter.

Vidare bör man klarlägga vilka kemiska komponenter som kan tillsättas buffertmaterialet för att kemiskt binda och därmed kvarhålla kritiska radionukleider i förvarsmiljön på 3-5 km djup, bl.a genom att binda jod-129 geokemiskt.

U – avsnitt 4.3.2, sid 39-40. Förslutningen av djupa borrhål är viktig och tycks inte längre innebära några större problem, bl.a har oljeindustrin sen länge tillgång till olika och väl beprövade metoder att täta borrhål även där det finns ett stort övertryck. Möjligheten att helt konsolidera både borrhål och berggrund ovan förvarsområdet genom in-situ-rekristallisering bör också noteras, se Gibb et al. 2008.

K – sid 27, Tabell 3.3. Även denna sammanfattning måste uppdateras och korrigeras för djupa borrhål i all tre punkterna, se ovan.

5.4 Avsnitt 5: Förutsättningar för uppförande, deponering och förslutning

K, U – avsnitt 5.3 och 5.4 Sammanfattning, sid 43-44. Såväl text som Sammanfattningen innehåller flera vilseledande påståenden då innehållet inte har uppdaterats under senare år. Bl.a finns studier över sjunkhastigheter och hur dessa kan regleras på olika sätt.

Vidare är det oseriöst att påskina att bergets bakgrundsstrålning skulle försvåra möjligheten att detektera eventuella kapselskador, se sid 44, tredje stycket, och att det skulle saknas teknik att verifiera att deponeringen skett till avsedd nivå, se sid 44, sista raden i Sammanfattning.

Vidare hävdas att varje borrhål skulle utgöra en egen kärnteknisk anläggning trots att flera borrhål med fördel kan grupperas kring en gemensam borrhålsplats, se sid 44, första raden i Sammanfattning.

5.5 Avsnitt 6.2 och 6.2 i avsnitt 6: Långsiktig säkerhet

Avsnitten om Långsiktig säkerhet är viktiga och utmynnar i en jämförelse mellan de studerade metoderna. Dessvärre krävs omfattande kompletteringar för att möjliggöra en allsidig jämförelse.

K – avsnitt 6.2, sid 46-53. I detta avsnitt finns en i flera avseenden god redovisning av KBS-förvarets säkerhetsfunktioner. Ett problem är förstås hur man ska värdera en ”förväntad risk” i grader av sannolikhet/osannolikhet över tid. Detta är ett problem som även förs in i rapportens sammanfattning där man skriver att ”Förväntad risk under normala förhållanden” för KBS-förvaret ”Understiger av myndigheterna satta riskgränser”, se 6.4 Sammanfattning, sid 60.

En redovisning som mynnar ut i slutsatser av denna typ bidrar knappast till ökad klarhet. Istället väcks frågor om vilka risker som finns under icke-normala förhållanden? Och vilka effekter som icke-förväntade risker kan ha för KBS-förvarets långsiktiga säkerhet.

För att bidra till läsarens förståelse krävs istället en öppen redovisning av existerande problem och en allsidig analys av hur dessa påverkar säkerheten över tid.

Vidare, för att möjliggöra allsidiga jämförelser med ett borrhålsförvar, krävs kompletteringar för att redovisa KBS-förvarets konceptuella svagheter. De vill säga de svagheter som är en direkt konsekvens av KBS-metodens deponeringsdjup (ca 500 m ned) och därmed en placering i den övre grundvattenzonen med rörligt grundvatten. Att dessa svagheter förbigås i denna rapport framgår av både avsnitt 6.2 och rapportens samlade slutsatser i Tabell 9-1, sid 71-72.

1. KBS-metodens deponeringsdjup medför att förvaret skulle omges av ett rörligt grundvatten med kapacitet att sprida radioaktiva läckage vidare mot mark och vattendrag i grundvattnets utströmningsområden, om än långsamt och i utspädd form. Genom denna hydrogeologiska utsatthet har förvarets säkerhetsfunktioner inte några marginaler eftersom varken avfallskapslar eller bentonitbarriärer får skadas eller fel-fungera då det över tid medför läckage och en okontrollerbar spridning av radionukleider i och med att det på denna nivå i berggrunden inte finns något skydd mot fortsatt spridning via pågående grundvattenflöden.
2. KBS-förvaret har inte kunnat förses med skyddsbarriärer som fungerar oberoende av varandra. Med denna systemteknologiska utsatthet kan förvarets säkerhet över tid inte förväntas vara bättre än för barriärsystemets svagaste punkt, vilket knappast motsvarar den säkerhetsnivå som SKI tidigt angav med den så kallade fler-barriärs-principen, dvs att slutförvaret ska skyddas av flera till sin funktion oberoende skyddsbarriärer.
3. KBS-förvarets placering i den övre zonen med rörligt grundvatten och frånvaron av funktionsmässigt oberoende skyddsbarriärer innebär sammantaget att KBS-förvaret inte utgör ett ”teknologiskt förlåtande” och robust system. Även detta är en påvisbar svaghet då vi av etiska skäl skall prioritera sådana teknologiska system för att även kunna minimera risker som kan ha förbisetts, särskilt som all erfarenhet visar att sådana risker är mer frekventa i teknologiskt komplexa system
Inte heller denna konceptuella svaghet redovisas i denna studie. Läsaren får istället begrunda rapportens sammanfattning om KBS-förvaret under rubriken Förväntad risk, sid 60: ”Förväntad risk under normala förhållanden” ”underskrider av myndigheterna satta riskgränser”. Begrundandet kan lämpligen ske mot bakgrund av att Sveriges två allvarligaste reaktorhaverier (Barsebäck 1992 och Forsmark 2006) båda orsakades av onormalt grova förbiseenden i samtliga säkerhetsanalyser som gjorts av såväl reaktorkonstruktörer, driftsansvariga som kontrollmyndigheterna SKI och SSI samt att Sveriges senaste reaktorincident (Ringhals 2011) orsakades av en serie onormalt grova förbiseenden som bland annat medförde överhettning och brand till följd av kvarlämnat material, bland annat för städning.
4. Med KBS-metodens ringa deponeringsdjup följer också att det är svårt, och kanske omöjligt, att säkra kärnavfalllets oåtkomlighet över tid – och särskilt om man även vill att deponerat avfall senare ska kunna återtas.
5. Inte heller denna problematik redovisas i denna studie trots att långsiktig säkerhet under mer än 30 år varit en högprioriterad ambition i det svenska kärnavfallsprogrammet.
6. Med KBS-metoden följer också ett tillsynsbehov över tid, dels för att leva upp till internationella åtaganden om kärnämneskontroll och dels för att upptäcka och förhindra andra avsiktliga eller oavsiktliga intrång. Hur detta tillsynsbehov ska tillgodoses utan att äventyra en av slutförvaringens mest centrala ambitioner; -- nämligen att inte belasta kommande generationer med vare sig ansvar eller kostnader, förbigås helt. Läsaren får istället begrunda hur problematiken ”osynliggörs” i sammanfattningen under Kärnämneskontroll, sid 72: KBS-förvaret har ”få ingångar att bevaka” men att borrhålsförvaret har ”en ingång till varje borrhål”.

5.6 Avsnitt 6.3 i avsnitt 6: Långsiktig säkerhet

K, U. Detta avsnitt om borrhålsförvarets säkerhetsfunktioner är centralt i denna studie. Men då man inte uppdaterat Pass-studiens 20 år gamla bedömningar av berget som ”enda verksamma barriär”, se sid 60 Antalet barriärer, saknas en allsidig redovisning av de säkerhetsfunktioner som senare års studier har redovisat.

Först och främst krävs kompletteringar för att redovisa grundvattnets zoner, dess koppling till markbundna processer och dess betydelse för ett borrhålsförvar.

Vidare krävs kompletteringar och uppdateringar för att ersätta vilseledande skrivningar om borrhålsförvarets säkerhet; bland annat måste läsaren få en samlad och uppdaterad redovisning av de säkerhetsfaktorer som dagens borrhålsförvar baseras på:

1. det stora deponeringsdjupet (3-5 km), vilket minimerar risken för både avsiktliga och oavsiktliga intrång i förvarsområdet,
2. grundvattnets densitetsstyrda stratifiering, vilket på 3-5 km djup motverkar vertikala grundvattenrörelser och särskilt rörelser genom berggrundens hydrogeologiska övergångszon,
3. det höga trycket (som på dessa djup minimerar andelen öppna sprickor i berget och därmed bergets permeabilitet), vilket begränsar grundvattnets mobilitet och därmed radionukleiders spridningsvägar i berggrunden,
4. grundvattnets sammansättning, vilket på 3-5 km djup ger en geokemisk miljö som motverkar radionukleiders spridning. I denna miljö är grundvattnet kemiskt reducerande, vilket hämmar löslighet och därmed transport av kritiska radionukleider. Vidare finns höga jonladdningar, vilket motverkar kolloidal transport av radionukleider.

Utöver dessa av naturen givna och över tid ”testade” skyddsfunktioner kan säkerheten förstärkas genom konstruerade säkerhetsfunktioner, vilket bland annat kan ske genom att:

1. tillföra särskilda kemiska komponenter i borrhålens buffertmaterial (som bl.a. behövs för att fylla ut mellan kapslarna) för att via kemiska reaktioner med kritiska radionukleider, som jod-129, få dessa stabilt kemiskt bundna i deponiområdet,
2. använda kapselmaterial särskilt anpassade till den geokemiska miljön på 3-5 km djup, vilket åtminstone i närtid bidrar till att hålla kvar kärnavfallet inne i avfallskapslarna.

Med tanke på att grunda deponier av KBS-typ inte skyddas av sinsemellan oberoende ”barriärer” bör också klargöras att djupa borrhålsdeponier har en viktig konceptuell fördel i att säkerheten på både kort och lång sikt upprätthålls genom flera olika och funktionsmässigt oberoende barriärer, samt att detta minskar sårbarheten vid såväl yttnära som djupa störningar i förvarsområdet. Avgörande är dock att man kan identifiera ett tillräckligt stort område som på 3-5 km djup har ett stabilt skiktat grundvatten och att man där kan deponera inkapslat avfall i borrhål utan att varaktigt störa områdets grundvattenskiktning.

Vidare krävs kompletteringar för att klarlägga borrhålsförvarets deponeringsdjup. SKB har i sina rapporter angett 2-4 km som lämpligt men i avsnitt 6.3.3, sid 59, ställs den mycket relevanta frågan hur mycket grundvattnets övergångszon kan förskjutas nedåt i olika scenarier, t ex vid glaciation. I senare studier anges i allmänhet 3-5 km, vilket ger avsevärt större säkerhetsmarginaler. Sammantaget är detta en viktig frågeställning som måste kompletteras.

Vidare, i avsnitt 6.3.2 hävdas med hänvisning till en sammanställning av jordskalvsdata (Näslund 2007) att djupa borrhålsförvar skulle vara mera sårbara vid jordskalv än mer yttnära förvar. Denna argumentering är besynnerlig och måste motiveras, eller helt revideras, eftersom det bevisligen finns isotopdata som anses visa att grundvattenstabiliteten på 3-5 km djup inte tycks ha påverkats under årmiljoner trots att området under denna tid genomgått flera perioder av både glaciation och stora jordskalv.

Mot denna bakgrund krävs kompletteringar för att motivera slutsatsen i 6.4. Sammanställning, sid 60, att det ”i dagsläget inte kan säkerställas” att grundvattnets zoner förblir intakt även under extern påverkan från jordskalv eller nedisning.

Vidare bör man kanske redovisa att borrhålskonceptet även har uppmärksamats för sin potential att säkra en kärnvapenfri värld. Med en färdigutvecklad metod för deponering på 3-5 km djup skulle internationella organ som FN och IAEA kunna samla in, deponera och därmed avlägsna allt kärnvapen-material från biosfären. Utopiskt idag, men kanske inte för kommande generationer.

K, U – avsitt 6.4, sid 60. Som framgår ovan måste denna vilseledande sammanfattning revideras och korrigeras i grunden.

5.7 Avsnitt 7: Fysiskt skydd, kärnämneskontroll och återtag

K -- avsnitt 7.1, sid 61, sista stycket. Att efter förslutning övervaka ett borrhålsförvar som ligger på 3-5 km djup kräver ingen omfattande insats, och särskilt inte jämfört med ett förvar som ligger på 500 m djup i den övre grundvattenzonen med de risker denna placering medför.

K – avsnitt 7.2 och 7.4, sid 62-63. Kompletteringar krävs för att klarlägga hur man ska tillgodose KBS-förvarets tillsynsbehov över tid, såväl för kärnämneskontroll som mot avsiktliga och oavsiktliga störningar från marken, utan att kommande generationer belastas med ansvar eller kostnader för detta.

K, U – avsnitt 7.3 och 7.4, sid 62-63. Kompletteringar krävs för att klarlägga hur en förberedd återtagbarhet över tid kan förenas med två av slutförvaringens primära mål – långsiktig säkerhet och att inte belasta kommande generationer med ansvar eller kostnader.

U – avsnitt 7.4, sid 63, Återtag för djupa borrhål. Med tanke på att deponering i djupa borrhål inte kan tillåtas utan att ha föregåtts av omfattande tester och demonstration av både deponeringsteknik och borrhålsoperationer för att hantera kapslar som initialt fastnat, är det vilseledande att idag påstå att man då kommer att sakna teknik för denna typ av borrhålsoperationer.

5.8 Avsnitt 8: Ledtider, utvecklingsbehov och kostnader

Merparten av redovisade bedömningar är osäkra och i flera fall även för KBS-metoden. Exempelvis torde få idag, med eget kostnadsansvar, utlova att verifieringen av kopparkapseln integritet över tid kan klaras utan nya och tidsödande fullskaleförsök. Likaså är det naivt att hävda att KBS-kalkylerna skulle vara immuna mot den under-kalkylering med 50-100-200% som normalt belastar stora anläggningsprojekt med ny teknik bara för att kalkylerna är ”väl genomarbetade” och ”regelbundet rapporterade”, se sammanfattning, sid 67.

Vidare är bedömningarna för djupa borrhål än svårare att göra. Likafullt landar senare års internationella studier i helt andra slutsatser än de som redovisas här, bland annat på grund av borrhålsoperationernas snabba utveckling och stabila priser. Och att då fortsätta redovisa gamla bedömningar som inte ens baseras på nu aktuella borrhålsdimensioner är oseriöst.

U -- avsnitt 8.2 Kostnader, sid 66. Hela detta avsnitt behöver uppdateras i grunden. Som motivation räcker att påpeka att rapportens kostnadsbedömningar för djupa borrhål baseras på gamla studier med sen länge inaktuella data och med borrhålsdimensioner långt större än de som idag anses kostnadseffektiva.

U – avsnitt 8.1, sid 65 och 8.4, sid 66, Ledtider. Om borrhålskonceptet tar 10, 20 eller kanske 30 år att utveckla och verifiera är svårbedömt och beror nog mindre på tekniska problem än på vilka länder som driver frågan. Att idag hävda (se 8.4 Sammanfattning, Ledtider) att en KBS-deponering kan avslutas om 60-70 år medan en borrhålsdeponering skulle ta nära nog det dubbla (100-120 år) säger nog mer om rapportförfattarnas affärsrelationer med SKB än om faktiska förhållanden.

5.9 Avsnitt 9: Diskussioner och slutsatser

K – sid 69. I andra och fjärde stycket anges två syften som inte är förenliga men utan att detta redovisas eller konsekvensanalyseras. I verkligheten kan man ju inte klara att över tid både förhindra olovlig befattning med kärnämne och att inte belasta kommande generationer med ansvar och kostnader för övervakning.

K, U – sid 69, femte stycket. Skrivningen i slutet om borrhålsförvarets ”sämre förutsättningar” visavi KBS-metoden må vara korrekt för svenska studier men är ändå gravt vilseledande. Exempelvis har såväl amerikanska som engelska forskargrupper (Brady et al. 2009, Driscoll and Jensen 2010, Gibbs et al. 2008) kommit till helt andra resultat, vilket dock förbigås här.

Sant är att utvärderingar gjorda före 2005 i mångt och mycket baserades på den svenska Pass-studien från 1992 och att man då i allmänhet inte såg några säkerhetsmässiga fördelar med djupa borrhål. Men lika sant är att man därefter, och på basis av ny kunskap om grundvattnets stabila zoner, helt reviderat Pass-studiens slutsatser om borrhålsförvarets ”sämre förutsättningar” och om ”berget som enda verksamma barriär”. Exempelvis skrivs klart och tydligt i Brady-studiens sammanfattning (2009) att borrhålsförvaret nu bedöms ha förutsättningar att ge hög säkerhet över tid (”excellent long-term safety performance”) och till samma kostnader som för grunda deponier av KBS-typ.

Men nästan inget av denna kunskapsutveckling och ändrade syn på borrhålsförvarets säkerhet över tid redovisas i denna rapport. Och som belägg för att inget tillkommit som ändrat Pass-studiens slutsatser från 1992 refereras till två studier som båda gjorts före 2005, se sid 69, sista stycket. Och istället för att redovisa några av Brady-studiens resultat, diskuteras vad studien inte innehåller, bl.a hur man ska hantera tekniska missöden vid deponeringen av kapslar, se sid 70. Och av alla artiklar som den engelska Sheffield-gruppen publicerat efter 2005 om olika aspekter av borrhålskonceptet, finns inte någon med i referenslistan, däremot en från 2003, se sid 12.

Redovisningen av borrhålskonceptet måste således uppdateras i snart sagt alla avseenden. Inte ens så enkla saker som arealbehovet redovisas korrekt utan mångdubbelt större trots att även en SKB-studie visar att det räcker med 200m som minimiavstånd och inte 500 m som tidigare SKB-rapporter angett.

Mot denna bakgrund finns få skäl att kommentera de samlade slutsatser som redovisas i Tabell 1, sid 71-72, då kompletteringsbehoven redan berörts ovan i anslutning till löpande text.

Med tanke på vad som hävdas i sjätte stycket, sid 69, om rapportens jämförelser, finns skäl att påpeka metodologiska brister och kompletteringsbehov. Bland annat är rapportens upplägg för jämförelser mellan dessa två metoder är inte objektivt eftersom här valda jämförelseparametrar inte speglar områden där KBS-metoden har konceptuella svagheter till följd av förvarets placering i den övre grundvattenzonen. Och denna ovetenskapliga ”jämförelsemetodik” orsakar flera gravt vilseledande slutsatser. Ex.vis förbigås att KBS-förvaret genom sitt deponeringsdjup inte har funktionsmässigt oberoende skyddsbarriärer. Likaså förbigås hur denna systemteknologiska utsatthet ska förenas med den säkerhetsnivå som SKI tidigt angav med den så kallade fler-barriärs-principen samt hur denna placering i den övre zonen med rörligt grundvatten också medför att KBS-förvaret inte utgör ett ”teknologiskt förlåtande” och robust system, vilket är en annan konceptuell svaghet då vi av etiska skäl skall prioritera just sådana system för att även kunna minimera risker som kan ha förbisetts, särskilt som vi vet att sådana risker är mer frekventa i teknologiskt komplexa system.

Att rapporten genom sin valda jämförelsemetodik också förbigår denna etiska problematik är inte bara ovetenskapligt utan även oseriöst, särskilt som allvarliga haverier ofta orsakas av förbiseenden i riskbedömningarna.

6. Referenser till senare års studier som använts som underlag i denna granskning

- Arnold et al., 2011. Reference Design and Operations for Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste. SANDIA REPORT SAND2011-6749.
- Beswick, J., 2008. Status of Technology for Deep Borehole Disposal. Report for NDA, Contract NP 01185, EPS International.
- Brady et al., 2009. Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste. SAND2009-4401, Aug 2009.
- Brunskill and Wilson, 2011. The geological disposal of spent nuclear fuel beneath sedimentary basins. Waste management, Canada's Nuclear Activities, Sept 11-14, 2011.
- Jensen and Driscoll, 2010. A Framework for Performance Assessment and Licensing for Deep Borehole Repositories. MIT-NFC-TR-115, Jan 2010.
- Gibbs et al., 2008. A model for heat flow in deep borehole disposals of high-level nuclear waste. Journal of Geophysical Research, 113, B05201, doi:10.1029/2007JB005081.
- Gibbs et al., 2008. High-density support matrices: Key to the deep borehole disposal of spent nuclear fuel. Journal of Nuclear Materials 374, 370-377.
- Gibb, F. G. F., K. J. Taylor, et al., 2008. The 'granite encapsulation' route to the safe disposal of Pu and other actinides. J. of Nuclear Materials 374: 364-369.
- Kang J., 2010. An initial exploration of the potential for deep Borehole Disposal of nuclear wastes in South Korea. Dec 2010, Available at www.natilus.org.
- Sapiie and Driscoll, 2009. "A Review of Geology-Related Aspects of Deep Borehole Disposal of Nuclear Wastes," MIT-NFC-TR-109, Aug. 2009
- Sapiie, Driscoll and Jensen, 2010. Regional Examples of Geological Settings for Nuclear Waste Disposal in Deep Boreholes. MIT-NFC-TR-113, Jan 2010

SNL-MIT Workshop on Deep Borehole Disposal, March 15, 2010. Regulatory and Licensing Topics Relevant to Deep Borehole Disposal of Spent Nuclear Fuel and High-Level Radioactive Waste in the United States.

von Hippel and Hayes, 2010. Deep borehole disposal of nuclear spent fuel and high level waste as a focus of regional East Asia nuclear fuel cycle cooperation. 12/8 2010, Available at www.natilus.org.

På svenska finns rapporten ”Deponeringsdjupets betydelse vid slutförvaring av högaktivt kärnavfall i berggrunden --- en karakterisering av grunda och djupa slutförvar” som Karl-Inge Åhäll sammanställt på uppdrag av Kärnavfallsrådet, jan 2011.

Rapporten, som finns på Kärnavfallsrådets hemsida, innehåller bland annat en uppdaterad beskrivning med figur över grundvattnets zoner i normal svensk berggrund.