



DokumentID  
1409455

Ärende

Handläggare  
Lars Birgersson  
Er referens  
SSM2011-  
2426/SSM2011-3656  
Kvalitetssäkrad av  
Olle Olsson  
Godkänd av  
Helene Åhsberg  
Kommentar

Sida  
1(6)  
Datum  
2013-09-30  
Ert datum  
2012-10-29  
Kvalitetssäkrad datum  
2013-09-30  
Godkänd datum  
2013-09-30

Strålsäkerhetsmyndigheten  
Att: Ansi Gerhardsson  
171 16 Stockholm

## Svar på SSM:s begäran om komplettering av Miljökonsekvensbeskrivning – Tillkommande underlag rörande konceptet djupa borrhål

I SKB:s ”Svar på SSM:s begäran om komplettering – miljökonsekvensbeskrivning” daterad 2013-04-02 (SKBdoc id 1371855) har SKB, bland annat, lämnat svar angående vad SSM anfört (SSM 2011 - 2426/SSM 2011 - 3656) rörande konceptet djupa borrhål. Vad gäller tillkommande studier som publicerats efter det att ansökan sammanställdes anger SKB följande:

*”Sedan tillståndsansökningarna lämnades in i mars 2011 har rapporter från studier av förutsättningarna för slutförvaring i djupa borrhål i olika avseenden, framförallt från USA, publicerats. De innehåller dock inget som i ett helhetsperspektiv på något avgörande sätt förändrar synen på förutsättningarna eller SKB:s bedömning. SKB har för avsikt att inom ramen för Fud-programmen även fortsättningsvis publicera kompletterande underlag kring djupa borrhål samt referenser till utredningar och rapporter av relevans som genomförts och publicerats av andra aktörer.”*

SKB:s egna tillkommande utredningar, som aviserats i komplettering 2013-06-27 (SKBdoc id 1399413) till SSM, liksom ett antal publikationer av andra aktörer är nu tillgängliga, se bifogad referenslista. Innebörden av de nya utredningarna och publikationerna för utformningen av och bedömningen av djupa borrhål som koncept för slutförvaring redovisas nedan.

Vad som nu ytterligare tillkommit ger ingen anledning till att ändra de grundläggande slutsatserna om konceptet djupa borrhål i de ansökningshandlingar SKB lämnade i mars 2011. Sammanfattningsvis vill SKB särskilt framhålla följande.

- Ett KBS-3-förvar kan, till skillnad mot djupa borrhål, uppföras, drivas och förslutas på ett i alla led kontrollerat och verifierbart sätt.
- Det finns inte något land som förordar deponering i djupa borrhål som förstahandsalternativ för att ta hand om använt kärnbränsle.

- Utformningen av djupa borrhålskoncept är i ett tidigt skede och konceptet bedöms ha flera grundläggande brister och vara förknippat med betydande osäkerheter.
- För en slutförvaring enligt konceptet djupa borrhål är det oklart om deponering och förslutning kan genomföras med uppfyllande av de krav som ställs avseende kärnsäkerhet och strålskydd.
- Det råder stora osäkerheter om ett borrhålsförvars utveckling efter förslutning.

### ***Konceptets utformning***

Sandia National Laboratories (SNL) i USA har de senaste åren engagerat sig i en utveckling av koncept för deponering i djupa borrhål (se till exempel Brady et al. 2009, Arnold et al. 2011).

SNL:s koncept bygger på deponering i borrhål med mindre diameter och smalare kapslar än SKB:s tidigare beskrivna koncept (SKB 2000). Det föreslagna deponeringsdjupet är större (3 000–5 000 meter) än vad SKB tidigare antagit (2 000–4 000 meter). I SNL:s koncept antas vidare att 40 kapslar kopplas ihop till cirka 200 meter långa kapseltåg som sänks ner i borrhålet. Mellan dessa kapseltåg gjuts betongpluggar som är avsedda att bära lasten av ovanliggande kapslar. De smalare kapslarna rymmer färre bränsleelement (två BWR alternativt ett PWR-element) än de kapslar som togs fram i PASS-projektet (fyra BWR alternativt ett PWR-element). Genom ihopkopplingen av kapseltågen kan 400 kapslar deponeras i en 2 000 meter lång deponeringszon att jämföras med de 300 kapslar som rymms i hål av SKB:s tidigare skisserade utformning. Sammantaget innebär detta att det krävs cirka 80 deponeringshål för att rymma det använda bränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet med SNL:s anläggningsutformning mot cirka 60 hål med utformningen från PASS-projektet.

Då det förefaller finnas en samsyn om att borrhning i kristallint berg ner till 4 000–5 000 meter bör kunna genomföras med standarddimensionen (Beswick 2008) 44,5 centimeter (17,5”), medan den i PASS-studien (SKB 1992) föreslagna borrhålsdimensionen (80 centimeter) förefaller mindre realistisk, har SKB beslutat att fortsättningsvis basera sina analyser på det av SNL föreslagna konceptet. Denna utformning av konceptet djupa borrhål ligger således till grund för de studier som nu redovisas eller är på gång. SKB vill dock framhålla att det av SNL beskrivna konceptet är just ett koncept och att mycket utvecklings- och analysarbete kvarstår innan man kan avgöra hur applicerbart konceptet skulle vara i praktiken. Se vidare nedan under rubriken ”Synpunkter på och bedömningar av djupa borrhålskonceptet i andra länder”.

### ***Tekniska förutsättningar för borrhning och deponering***

En rapport (Odén 2013) som beskriver tekniska förutsättningar för borrhning av och deponering i djupa borrhål har tagits fram av SKB. Den baseras på en bred genomgång av dagens borrhningsteknik från projektbeskrivningar, artiklar och kontakter inom branschen.

Genomförda borrhningar visar att det är möjligt att borra 5 000 meter djupa hål i kristallint berg. Inget av hålen har dock den diameter Sandia förespråkar (445 millimeter) på tänkt förvarsdjup (3 000–5 000 meter) (Brady et al. 2009). Det hål som ligger närmast är ett hål borrarat i södra Tyskland, som har en diameter av 375 millimeter ned till 6 000 meters djup. Hålet borrades till 9 100 meters djup och med en slutlig diameter på 165 millimeter.

Det har visat sig vara svårt att borra raka hål. I de flesta hålen var man tvungen att utföra så kallade sidohål, sidetracks, på grund av borrhproblem. Undantaget är borrhålet i södra Tyskland som borrades rakt ( $\pm 0,5$  grad), vertikalt och utan sidetrack ned till cirka 7 000 meters djup tack vare aktiv vertikalstyrutrustning. Vidare har det visat sig att problem med spjälkning och utfall är störst under själva borrhningen. Då borrhålet blivit infodrat blir det normalt stabilt.

Med tanke på borrhning av och deponering i djupa borrhål kan följande huvudsakliga slutsatser dras från dessa studier.

- Hålen ska vara vertikala och raka för att det ska gå lätt att få ned foderrör och senare att få ned kapselsträngarna.
- Grenade hål eller sidetracks bör undvikas, då dessa skulle försvåra deponeringen.
- Hålen borras med styrd borrhning som ger maximal avvikelse på 0,5 grader.

Kombinationen att borra både djupt och med stor diameter i kristallint berg är mindre vanlig och har främst förekommit i olika forskningsprojekt. Genom det relativt nyligen ökade intresset för geotermisk energi har ytterligare erfarenhet vunnits.

Erfarenheterna från att borra 5 000 meter djupa hål i kristallint berg är trots allt mycket begränsade. SKB gör trots det bedömningen att det idag finns utrustning för att borra ned till 5 000 meters djup med en håldiameter på 445 millimeter med en vertikal avvikelse på 0,5 grader. De tekniska problemen har varit och kan fortsättningsvis förväntas vara betydande. Man får räkna med att en väsentlig andel av borrhålen i ett eventuellt framtida slutförvar inte skulle kunna utnyttjas för deponering, åtminstone inte inledningsvis, vilket kan ha stor betydelse såväl ekonomiskt som säkerhetsmässigt.

### ***Processer av betydelse för långsiktig säkerhet – Termiska effekter och korrosion***

En rapport (Marsic och Grundfelt 2013a) redovisar beräkningar av värmeutvecklingens inverkan på grundvattenflödena inklusive känsligheten med avseende på hydrauliska egenskaper i själva borrhålet. En ökad hydraulisk konduktivitet hos borrhålets fyllnadsmaterial visade sig ha en avsevärd betydelse för vattenströmningen i och nära borrhålen vilket leder till viss omblandning vid gränsskiktet mellan salt och sött grundvatten. De beräknade transporttiderna för grundvatten från deponeringszonen till ovanliggande lager är dock längre än uppvärmningens varaktighet.

Det arealbehov som skulle erfordras för ett förvar enligt konceptet djupa borrhål styrs av avståndet mellan borrhålen, mängden bränsle som ska deponeras och storleken på kapslarna. I tidigare studier har ett avstånd av 500 meter antagits vara nödvändigt med hänsyn till risken för ”kollision” mellan borrhål som avviker från vertikal riktning och till värmeutvecklingen i det deponerade bränslet (SKB 2000).

Med aktiv vertikalstyrning skulle borrhålen, ur borrhåleteknisk synpunkt, kunna ligga några tiotal meter från varandra utan risk för ”kollision”. Beräkningar av värmeutveckling indikerar att avståndet mellan borrhålen åtminstone skulle kunna minskas till cirka 100 meter (Marsic och Grundfelt 2013a). Om hålen placeras närmare varandra skulle borrhålen termiskt påverka varandra i högre grad.

Det kommer att finnas stora mängder stål i ett djupt borrhål. Förutom att kapslarna antagits bestå av stål kommer även foderrören att vara av stål. Det kommer således att förekomma korrosion med tillhörande vätgasbildning. Vätgasen kommer att stiga uppåt och skapa en drivkraft för uppåtriktad strömning i bentonitlurryn i borrhålet och i grundvattnet runt hålet. Konsekvenserna av detta har inte kvantifierats men kan vara väsentliga eftersom stora mängder vätgas kan bildas. I komplettering 2013-06-27 (SKBdoc id 1399413) aviserades att rapporten ”The deep borehole concept. A conceptual model for gas generation and gas transport. SKB P-13-11” som behandlar gasbildningen och dess potentiella konsekvenser skulle vara tillgänglig i september 2013. Arbetet har dock utvidgats och fördjupats vilket innebär att det beräknas bli klar under 2014.

### ***Radiologiska konsekvenser av missöden under deponeringsförfarandet***

Med tanke på själva genomförandet, borrhållning och deponering, och de långtgående kraven på kärnteknisk säkerhet och strålskydd bedöms en akilleshäla för djupa borrhål vara risken att skada redan deponerade kapslar eller att fastna med kapselsträngen eller delar av den ovanför deponeringszonen utan att få loss den. Risken att detta ska ske bedöms dock vara väsentligt lägre med förfarandet beskrivet i Arnold et al. (2011) än med tidigare studerade deponeringsförfaranden, till exempel SKB (2000). Detta eftersom diametern reducerats och kapslarna sätts ned i strängar med 40 ihopkopplade kapslar som inte riskerar att skada redan deponerade kapslar.

Scenariot kan resultera i att man får plugga och tillsluta hålet ovanför den fastnade kapseln. Fastnar kapseln i en sektion med rörligt grundvatten kommer det att resultera i radioaktivt läckage om kapseln är trasig eller senast då den har korroderat. Konsekvenserna av ett sådant scenario har analyserats i Grundfelt (2013). Analysen visar att sannolikheten för ett sådant scenario där en kapsel går sönder måste vara lägre än i storleksordningen  $10^{-5}$ – $10^{-4}$  per hål för att inte SSM:s riskkriterium ska överskridas.

### ***Geovetenskaplig information från djupa borrhål***

En rapport om geovetenskaplig information från djupa borrhål har tagits fram (Marsic och Grundfelt 2013b). Arbetet är en uppdatering av den sammanställning SKB tog fram 2004 om geovetenskaplig information för att bedöma möjligheten av att deponera radioaktivt avfall i 4 000–5 000 meter djupa borrhål (Smellie 2004). I förhållande till tidigare genomgångar har endast ett borrhål med relevans för deponering i djupa borrhål i den Fennoskandiska urbergsskölden tillkommit. Data från detta 2 500 meter djupa hål, som är beläget vid Outokumpu i östra Finland, visar att det finns grundvattenfyllda sprickzoner även på stora djup (ner till 2 500 meter). Vattnet i dess sprickor håller en relativt hög salthalt och grundvattenkemin i övrigt visar att detta djupa grundvatten inte har haft kontakt med ytligare vatten på mycket länge.

### ***Synpunkter på och bedömningar av djupa borrhålskonceptet***

Efter det att SKB:s ansökningar för slutförvaring av använt kärnbränsle lämnades in i mars 2011 har aspekter på konceptet djupa borrhål i några fall tagits upp av andra aktörer, främst från USA.

I rapporten ”Regulatory Perspectives on Deep Borehole Disposal Concepts” (Winterle et al. 2011) som utarbetats av Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses i San Antonio, Texas för den amerikanska kärnkraftsinspektionen (NRC) görs en genomgång av kunskapsläget och identifieras kritiska frågeställningar. En slutsats är att det är tekniskt möjligt att borra hål i kristallint berg till planerade djup och att det troligen kan ske till rimlig kostnad. Vidare understryker rapporten att det återstår betydande tekniska osäkerheter och säkerhetsutmaningar vad gäller hantering och nedsänkning av avfallsbehållarna i borrhålen. Man påpekar också att konceptet begränsas av grundläggande osäkerheter i möjligheterna att på ett tillförlitligt sätt utvärdera den långsiktiga säkerheten. Detta på grund av fenomen kopplade till värmeutvecklingens effekter på berget och grundvattenströmning samt långtidsstabiliteten för återfyllnadsmaterial i borrhålen. Rapporten uttrycker också tveksamhet till att flerbarriärprincipen är tillämplig för djupa borrhål och man menar också att metoden kanske i första hand är tänkbar för förglasat avfall.

Den amerikanska ”Nuclear Waste Technical Review Board”, som har en roll som liknar den för svenska Kärnavfallsrådet, i brev daterat 30 juli 2013 (NWTRB 2013a), framfört synpunkter på energidepartementets planer för forskning och utveckling av djupa borrhålskonceptet. I brevet säger kommittén att djupa borrhålskonceptet är i ett mycket tidigt utvecklingsstadium och att betydande tekniska utmaningar återstår att lösa. Man understryker sitt stöd för konceptet byggt geologiskt förvar och man anser att forskning kring djupa borrhålskonceptet inte får fördröja den, enligt kommittén, mera prioriterade forskningen kring byggda geologiska förvar. I ett faktablad på sin hemsida presenterar NWTRB lite mera i detalj sin syn på potentiella fördelar samt utmaningar och svagheter med konceptet djupa borrhål (NWTRB 2013b).

Med vänlig hälsning

**Svensk Kärnbränslehantering AB**  
Avdelning Kärnbränsle

Helene Åhsberg  
Projektledare Tillståndsprövning

## Referenslista

### *Nya rapporter framtagna av SKB*

**Grundfelt B, 2013.** Radiological consequences of accidents during disposal of spent nuclear fuel in a deep borehole. SKB P-13-13, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Marsic N, Grundfelt B, 2013a.** Modelling of thermally driven groundwater flow in a facility for disposal of spent nuclear fuel in deep boreholes. SKB P-13-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Marsic N, Grundfelt B, 2013b.** Review of geoscientific data of relevance to disposal of spent nuclear fuel in deep boreholes in crystalline rock. SKB P-13-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Odén A, 2013.** Förutsättningar för borrhning av och deponering i djupa borrhål. SKB P-13-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

### *Andra referenser som nämns i detta dokument*

**Arnold B W, Brady P V, Bauer S J, Herrick C, Pye S, Finger J, 2011.** Reference design and operations for deep borehole disposal of high level radioactive waste. SAND2011-6749, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.

**Beswick J, 2008.** Status of technology for deep borehole disposal. Report for the UK Nuclear Decommissioning Authority.

**Brady P V, Arnold B W, Freeze G A, Swift P N, Bauer S J, Kanney J L, Rechar R P, Stein J S, 2009.** Deep borehole disposal of high-level radioactive waste. SAND2009-4401, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico.

**NWTRB, 2013a.** Tillgänglig: <http://www.nwtrb.gov/corr/rce010.pdf> [September 2013].

**NWTRB, 2013b.** Deep borehole disposal of spent nuclear fuel and high-level waste. U.S. Nuclear Waste Technical Review Board. Tillgänglig: <http://www.nwtrb.gov/facts/deepborehole.pdf> [September 2013].

**SKB, 1992.** Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS). Slutrapport. (Även utgiven på engelska: Project on Alternative Systems Study (PASS). Final report. SKB TR 93-04). Svensk Kärnbränslehantering AB.

**SKB, 2000.** Förvarsalternativet djupa borrhål. Innehåll och omfattning av Fud-program som krävs för jämförelse med KBS-3-metoden. SKB R-00-28, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Smellie J, 2004.** Recent geoscientific information relating to deep crustal studies. SKB R-04-09, Svensk Kärnbränslehantering AB.

**Winterle J, Pauline R, Ofoegbu G, 2011.** Regulatory Perspectives on Deep Borehole Disposal Concepts. Tillgänglig: <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML11114/ML111470719.pdf> [September 2013].