

**Brister i redovisningen av djupa borrhål
som alternativmetod
inför MKB-prövningen av ett svenskt slutförvar**

-- Karl-Inge Åhäll --

27 mars 2009

*Sammanställning
efter föredragning vid Kärnavfallsrådets möte 4 feb -09*

Bakgrund

MKB-processens alternativredovisning syftar till att möjliggöra allsidiga jämförelser med sökandens huvudförslag.

I denna rapport fokuseras på krav som samhället bör ställa på redovisningen av alternativa metoder där en slutförvaring i djupa borrhål (DB) tycks utgöra det mest intressanta metodalternativet vid sidan av KBS-metoden /se sid 5/.

Först redovisas **basdata för konceptet DB** /sid 6-8/. Sedan granskas konceptets **oklarheter och brister** /sid 9-16/ för att belysa vilka FoU-insatser som bör prioriteras efter regeringens FUD-beslut (2008-11-20) att ålägga SKB att uppdatera redovisningen av ”kunskapsläget vad gäller alternativa slutförvaringsmetoder såsom bl.a djupa borrhål”.

Genom regeringsbeslutet att kräva en ny, **uppdaterad redovisning** av kunskapsläget för alternativa metoder, och med särskild referens till en slutförvaring i djupa borrhål, stöds strålskyddsmyndighetens (SSM 2008-09-18) begäran om ”ytterligare studier och utvärderingar med utgångspunkt från tidigare resultat”.

Av SSMs skrivning framgår /se nedan/ att man inte accepterar SKBs förslag att endast sammanställa **befintligt material** om konceptet djupa borrhål:

SSM om Andra metoder (2008-09-18, sid 1)

Vad gäller alternativa metoder skriver SKB att man avser att ta fram ett fördjupat jämförelseunderlag mellan djupa borrhål och KBS-3.

SSM:s kommentar: *Ordet fördjupat kan ifrågasättas eftersom SKB:s avsikt är att sammanställa allt äldre material till en samlad rapport om djupa borrhål. Det som efterfrågats i myndigheternas yttranden är ytterligare studier och utvärderingar med utgångspunkt från tidigare resultat.*

Sammanfattning

För att höja kunskapsnivån i alternativredovisningen av konceptet DB behövs kompletterande FoU-insatser inom tre områden:

- påvisa att metodens fysiska förutsättningar föreligger inom landet,
- uppgradera kunskapen om grundvattnets densitetsskiktning så att det åtminstone finns en relevant hydrogeologisk modell av normal svensk berggrund ned till 5 km djup,
- uppgradera kunskapen om borrh- och deponeringsteknik samt för förvarets funktion över tid så att man kan göra de allsidiga och säkerhetsrelaterade jämförelser som är alternativredovisningens mål och mening.

Den första kompletteringsuppgiften utgår från slutförvaringsvillkoret att **lokaliseringen ska ske inom landet** och att man därför, -- för att överhuvudtaget kunna redovisa DB som ett fysiskt realiserbart metodalternativ, -- först måste påvisa att metodens fysiska förutsättningar finns inom landet /se sid 10/.

Den andra kompletteringsuppgiften utgår från senare års upptäckter av **berggrundens hydrogeologiska zoner** med en övre, km-djup zon karakteriserad av ett rörligt och över tid föränderligt grundvatten i kontakt med biosfären och med en underliggande zon karakteriserad av ett tyngre, densitetsskiktat grundvatten. Detta tyngre grundvatten kan, åtminstone lokalt, vara så stabilt skiktat att det saknar kontakt med marknära nivåer. Men för att kunna uppdatera tidigare hydrogeologiska modeller över normal svensk berggrund krävs flera klarlägganden, bl.a av gränzonen rumsliga och hydrologiska karaktär samt vilka variationer som kan förekomma regionalt. Vidare krävs bättre hydrogeologiska data för att klarlägga gränzonen förändringar över tid och särskilt under perioder av glaciation. Data som för övrigt även behövs vid val av förvaringsdjup för grunda geologiska deponier av KBS-typ /se sid 10-11/.

Den tredje kompletteringsuppgiften utgår från **teknik- och säkerhetsrelaterade oklarheter och brister** för konceptet DB.

Först utvärderas relevansen av SKIs så kallade **fler-barriärprincip** i ljuset av att både KBS-metoden och konceptet DB baseras på ett antal mer eller mindre samverkande ”barriärer” /se 3A, sid 12-13/.

Sedan utvärderas oklarheter kring MKB-begreppet **tillgänglig teknik** i ljuset av att konceptet DB förutsätter en långtgående teknikutveckling /se sid 8/. En slutsats är att sökanden, vid en snäv tolkning av detta begrepp, skulle kunna avvisa alla icke-önskade alternativ med hänvisning till att de kräver teknik som varken är tillgänglig nu eller som kan förväntas bli tillgänglig längre fram /se 3B, sid 13-14/. Aktualiteten i dessa frågor framgår av att SKB bl.a motiverar sitt ointresse för teknikrelaterade FoU-insatser inom konceptet DB med att det skulle ta för lång tid att utveckla erforderlig borrh- och deponeringsteknik (FUD 07, sid 391-394).

Å ena sidan kan inte sökanden åläggas oskäligen utredningsinsatser för att uppgradera kunskapsnivån för ett metodalternativ. Å andra sidan var det knappast lagstiftarnas avsikt att låta sökanden avgöra vilka metodalternativ som ska redovisas i en MKB-ansökan, respektive avvisas med hänvisning till begreppet **tillgänglig teknik**. Vidare står klart att MKB-processens samhällsrelevans skulle äventyras om man accepterade ett sämre beslutsunderlag för metodvalet bara för att **sökanden själv försatt sig i en besvärlig situation** genom att aktivt avstå från att utforska mer än en metod för kärnavfallens slutförvaring.

Bakom dessa teknikrelaterade frågor för konceptet DB finns insikten att dagens kunskap om erforderlig borrh- och deponeringsteknik inte räcker för att göra de säkerhetsrelaterade jämförelser som är alternativredovisningens mål och

mening. En första kunskapsuppgradering i teknikrelaterade frågor vore att genomföra SSIs förslag (2008-05-15) om en ”*expertutfrågning av företrädare för angränsande teknikområden*” /SSI:s skrivning återges på sid 14/.

Vidare granskas frågeställningar kring återtagbarhet och valfrihet för kommande generationer /sid 15/, påståenden om ökad risk för DB vid jordskalv och istider samt frågan om det föreligger större lokaliseringssosäkerheter för DB /sid 16/.

Rapporten avslutas med en **funktionsrelaterad jämförelse** mellan ett KBS-förvar på ca 500 m djup och en borrhålsdeponi på 3-5 km djup baserad på metodernas konceptuella kontraster /sid 17-20/. Bl.a innebär berggrundens hydrogeologiska zoner:

- att utläckande radioaktivitet från ett borrhålsförvar på 3-5 km djup kan förväntas bli kvar på stora djup, förutsatt man klarar att deponera avfallet utan att störa grundvattnets naturliga densitetsskiktning,
- att utläckande radioaktivitet från ett KBS-förvar på ca 500 m djup kan spädas ut och fördröjas i berggrunden men aldrig hindras att nå marknära nivåer i grundvattnets utströmningsområden.

Vidare står klart att KBS-metodens förhållandevis grunda förvaringsdjup (ca 500 m) avgjordes långt innan man hade upptäckt berggrundens hydrogeologiska zoner på stora djup.

Metodernas funktionsrelaterade skillnader medför att KBS-deponins säkerhet blir helt beroende av förvarets konstruerade barriärer (inkapsling, bentonit-inpackning och förslutningar av tunnlar och schakt) samt fortsatta övervakning. I realiteten begränsas säkerheten av barriärsystemets svagaste punkt i och med att KBS-metodens konstruerade barriärer inte är funktionsmässigt oberoende utan beroende av varandra för att fungera över tid.

KBS-metodens styrka är att den är långt utvecklad tekniskt och att den medger en noggrann genomförandekontroll under hela deponeringsfasen.

En borrhålsdeponi baseras främst på två naturgivna fysiska barriärer; -- ett stort deponeringsdjup (3-5 km) och ett densitetsskiktat grundvatten, som åtminstone lokalt kan vara så stabilt skiktat att deponerat material kan förväntas bli kvar på stora djup under årmiljoner. Metoden har således potential att ge hög säkerhet på både kort och lång sikt. Detta förutsätter dock att all deponering kan genomföras utan att störa grundvattnets naturliga skiktning i förvarsområdet.

Konceptets svaghet är att dessa bedömningar ännu baseras på begränsade hydrogeologiska mätdata. Därtill krävs en långtgående teknikutveckling för att möta den stora teknologiska utmaning som en deponering i km-djupa borrhål skulle innebära.

Flera granskade förslag -- men (bara?) en alternativmetod

Efter Kärnavfallsrådets genomlysning av förutsättningarna för ett svenskt borrhålsförvar (mars -07) tycks det finnas en bred enighet om att djupa borrhål är den för dagen mest intressanta alternativa metoden -- och i praktiken kanske den enda.

Slutförvaringsmetoder som har övervägts vid sidan av KBS-metoden:

- **Noll-alternativ**, liksom "torra deponier" av typen **WP-Cave** och **DRD**, uppfyller ej kraven för ett svenskt slutförvar då dessa metoder förutsätter tillsyn och underhållsinsatser av kommande generationer
- **KBS-3H** (med horisontell, eller lutande, inplacering av kapslar på ca 500 m) är möjliga deponeringsalternativ inom KBS-konceptet men inga alternativa metoder visavi KBS-metoden
- "**KBS +cap-rock**" är ett möjligt lokaliseringsalternativ inom KBS-konceptet men ingen alternativ metod visavi KBS-metoden
- **Separation och transmutation**, så som det redovisas i FUD 07, är en möjlig behandlingsmetod av kärnavfall men ingen slutförvaringsmetod
Industrins slutsats (FUD 07) att i dagsläget inte gå vidare med detta koncept motiveras med en mix av icke-spridningsskäl, kostnadsskäl och etiska överväganden
- **Djupa borrhål (DB)**; -- såväl industri som myndigheter har länge redovisat en deponi i djupa borrhål som en möjlig alternativmetod

Slutsats
Djupa borrhål (DB) är idag den enda slutförvaringsmetod som tycks stå till buds vid sidan av KBS-metoden

Bakom dagens DB-koncept ligger nya framsteg inom borrhindustri och hydrogeologi

Borrhustrin har under senare år haft en snabb teknikutveckling, vilket utvecklat såväl precisionsborrning som borrning till stora djup.

Därmed finns teknik för *precisionsborrning* av sonderande mätthål. Vidare finns borrhålsanpassad mätteknik för att klarlägga ett områdes hydrogeologiska förhållanden på stora djup.

Bredhålsborrning, dimensionerad för deponering av 0.5-0.8 meter breda avfallskapslar, bedöms av branschfolk vara möjlig inom 3-5 år efter att borrhustrin fått ett sådant uppdrag. Viss basteknik finns redan men behöver förmodligen uppgraderas i flera steg, vilket förutsätter långsiktiga åtaganden och stora resurser för optimering av material och borrhingsmetodik.

För teknik och kostnadsbedömningar hänvisas till rapporter av Tim Harrison (SKB R-00-35) och Leif Bjelm (Kasam-rapport, aug -07).

Under 1990-talet påvisades att grundvattnets densitetsskiktning, åtminstone lokalt/regionalt, kan vara så stabil över tid att nivåer under 1-2 km inte påverkas under flera miljoner år.

Berggrundens hydrogeologiska zoner med två olika typer av grundvatten är avgörande för konceptet DB. Det beror på att en deponi på 3-5 km djup skulle omges av ett högsalint, stabilt densitetsskiktat grundvatten utan kontakt med marknära nivåer medan grunda deponier av KBS-typ istället skulle omges av ett lågsalint, rörligt och över tid föränderligt grundvatten i kontakt med biosfären.

Slutsatser av berggrundens hydrogeologiska zoner:
-- läckage av radioaktiva ämnen från ett borrhålsförvar på 3-5 km djup kan förväntas bli kvar på stora djup, <u>förutsatt</u> man klarar att deponera avfallet utan att störa grundvattnets densitetsskiktning
-- läckage av radioaktiva ämnen från ett KBS-förvar på ca 500 m djup kan spädas ut och fördröjas <u>men aldrig hindras</u> att nå marknära nivåer i grundvattnets utströmningsområden
Notera också att KBS-metodens förvaringsdjup (ca 500 m) hade avgjorts långt innan man upptäckte berggrundens hydrogeologiska zoner på stora djup

Förutsättningar för DB som slutförvaringsmetod

Konceptet DB grundas på två förutsättningar

-- *på vetskapen* att grundvattnets densitetsskiktning kan vara stabil över mycket långa tidsperioder (flera miljoner år),

-- *på bedömningen* att det inom landet sannolikt finns tillräckligt stora (och med befintlig teknik lokaliseringbara) områden där man kan utnyttja kombinationen av ett rejält djup (minst 2-3 km) och en densitetsskiktning som är stabil över tid.

Konceptet DB förutsätter också

-- *en långtgående teknikutveckling* där största utmaningen bedöms vara att utveckla teknik för att deponera kärnavfallet i djupa borrhål på ett säkert sätt och så att man inte långsiktigt stör densitetsskiktningen kring deponiområdet. Bl.a krävs teknik som hindrar avfallskapslar att fastna i borrhålet.

Teknik för deponering av 0.5-0.8 meter breda avfallskapslar i 3-5 km djupa borrhål finns ej men har bedömts möjlig att utveckla inom 10-15 år. Alla sådana bedömningar är dock osäkra och för att få fram mer tillförlitliga uppgifter i teknikrelaterade frågor kan en expertutfrågning med borrhåndsindustrins entreprenörer och producenter vara ett första steg, något som bl.a har förordats av SSI (2008-05-15) /se skrivning sid 14/.

DB:s potential som slutförvaringsmetod beror främst på två faktorer:
-- kan man klara den teknikutveckling som krävs för en tillförlitlig deponering i km-djupa borrhål,
-- hur stora säkerhetsfördelar kan nås med en deponi på 3-5 km djup jämfört med ett förvar på ca 500 m djup.

Tidigare ställningstaganden om redovisningen av DB som alternativmetod i MKB-processen

Efter KASAM:s genomlysning av konceptet DB i mars -07 (Rapport 2007:6), har SSI gjort en relativt utförlig värdering av kunskapsläget för alternativet djupa borrhål i yttrandet över FUD 07, sid 37-38 (2008-05-15).

Bl.a framhåller SSI *"de kontrasterande säkerhetsfunktionerna hos djupa borrhål"* och att de ger *"en bra utgångspunkt för att värdera huvudmetoden"*.

"Ett viktigt argument ... är att skyddsförmågan hos djupa borrhål i högre grad beror på bergets förmåga att kvarhålla och fördröja de radioaktiva ämnena jämfört med KBS-3-metoden där de tekniska barriärernas isolerande förmåga är betydligt viktigare. De kontrasterande säkerhetsfunktionerna hos djupa borrhål ger således en bra utgångspunkt för att värdera huvudmetoden."

Vidare motiverar SSI varför SKB även bör göra *"en utvärdering av för- och nackdelar hos DB i förhållande till den förordade huvudmetoden"* för att den vägen kunna styrka sitt egna metodval.

"Eftersom djupa borrhål de facto är ett alternativ som beaktats under utvecklingen av slutförvaret, behöver SKB även göra en utvärdering av för- och nackdelar hos djupa borrhål i förhållande till den förordade huvudmetoden för att leva upp till SSI:s föreskriftskrav på bästa möjliga teknik (BAT) och optimering. Syftet är att styrka att den förordade metoden, med hänsyn till samhälleliga och ekonomiska faktorer, är det bästa valet från strålskyddssynpunkt. SSI anser att en sådan jämförelse bör illustreras med beräkningar av förvarets skyddsförmåga utifrån befintliga geovetenskapliga data och kvalificerade bedömningar av genomförbarhet."

Sammantaget bedömer SSI (sid 37-38) att det krävs *"ytterligare utredningar av konceptet djupa borrhål inför tillståndsansökan"*

och att SKB därför *"bör ta fram ett mer fullständigt underlag för den planerade jämförelsen med KBS-metoden, både vad gäller genomförbarhet och långsiktigt strålskydd"* där kunskapsnivån ska vara så hög att man även kan göra *"en utvärdering av för- och nackdelar hos DB i förhållande till den förordade huvudmetoden"*.

Avslutningsvis klargörs (sid 38) att detta nya beslutsunderlag behövs för att:

-- *"kunna bedöma om DB är ett utvecklingsbart förvarskoncept"*,

-- *"göra en jämförelse med KBS-metoden avseende den långsiktiga skyddsförmågan med beaktande av osäkerheten hos båda metoderna"*.

SSIs bedömningar har sedan vidimerats av både SSM (2008-09-18, sid 1) och regeringen (2008-11-20, sid 2) i det att man avvisar SKBs FUD-yrkande om att bara sammanställa befintligt material till en samlad rapport om djupa borrhål.

Vilka kompletterande kunskaper behövs för DB som alternativmetod i en MKB-redovisning

I myndigheternas yttranden om alternativa metoder har länge funnits en större tydlighet om bakomliggande MKB-syften än om vilka konkreta insatser som krävs för att infria dessa syften. Denna vaghet kan spegla industrins roll som ”utredningsledare” och därmed som huvudansvarig för vilka mått och steg som bör tas.

Men i ett läge när industrin visat sig ha en annan syn på vilken kunskapsnivå som bör gälla för redovisningen av alternativa metoder, bör samhällsföreträdare som SSM och Kärnavfallsrådet bemöda sig om att precisera vilka FoU-kompletteringar som krävs för att nå en konkretionsnivå som medger de allsidiga och säkerhetsrelaterade jämförelser som är MKB-processens mål och mening.

På följande sidor motiveras vilka kompletterande FoU-insatser som utifrån dagens kunskap bör prioriteras för konceptet DB.

Dessa FoU-insatser berör 3 olika områden:

- 1 -- Påvisa att metodens fysiska förutsättningar föreligger inom landet,
- 2 -- Uppgradera kunskapen om grundvattnets densitetsskiktning så att det åtminstone finns en konsistent hydrogeologisk modell av normal svensk berggrund ned till 5 km djup,
- 3 -- Uppgradera kunskapsnivån för borrh- och deponeringsteknik samt för förvarets funktion över tid så att man kan göra de allsidiga och säkerhetsrelaterade jämförelser som är alternativredovisningens mål och mening.

1 – Påvisa att det, inom landet, finns de hydrogeologiska förhållanden som konceptet DB grundas på

Kravet att påvisa en *fysisk realiserbarhet inom landet* utgår från beslutet att allt svenskt kärnavfall ska slutförvaras inom landet och att DB som slutförvaringsmetod förutsätter att det finns ett tillräckligt stort område som har en över tid stabil densitetsskiktning av grundvattnet på ca 3-5 km djup.

Vid Kasams genomlysning av förutsättningarna för ett svenskt borrhålsförvar (mars -07) fanns en bred enighet om, att man utifrån befintliga data kunde förmoda, att sådana hydrogeologiska förhållanden existerar i relativt stora urbergsområden i Sverige. Men befintliga data visar enbart lokala förhållanden och för att avgöra om det inom landet finns *tillräckligt stora områden*, krävs kompletterande mätdata från åtminstone ett sammanhängande område.

Slutsatser av kravet på en fysisk realiserbarhet inom landet:
-- varje redovisning av DB som möjlig alternativmetod förutsätter att metoden ska kunna genomföras inom landet
-- DBs fysiska realiserbarhet som svensk slutförvaringsmetod är och förblir okänd tills man <u>har påvisat</u> att det inom landet finns tillräckligt stora områden som har en över tid stabil densitetsskiktning av grundvattnet på ca 3-5 km djup

2 -- Uppgradera kunskapen om grundvattnets densitetsskiktning så att det åtminstone finns en relevant hydrogeologisk modell av normal svensk berggrund ned till 5 km djup

Efter 30 års utredande av slutförvaring i svensk berggrund saknas fortfarande en uppdaterad modell av berggrundens hydrogeologiska zoner.

Det är en anmärkningsvärd brist eftersom det också hämmar varje bedömning av lämpligt förvaringsdjup för deponier av KBS-typ. För även med förvaringsdjup i "KBS-intervallet" 400-700 m behövs en kvalitativt bättre kunskap om berggrundens hydrogeologiska zoner och dess dynamik över tid. Bl.a måste man veta *hur mycket* gränssonen till det högsalina grundvattnet kan röra sig vertikalt över tid, och särskilt under perioder av glaciation, beroende på att KBS-förvarets barriärsystem har designats för den övre zonens lågsalina grundvatten.

Nedan redovisas klarlägganden som bör ingå i upprättandet av en relevant hydrogeologisk modell utgående från grundvattnets densitetsskiktning.

Oklarheter i övre zonen med rörligt, lågsalint grundvatten (ned till ca 1 km)

Här krävs klarlägganden av denna vattenmassas ev. penetration neråt i öppna spricksystem. Vidare krävs bättre data för hydrologiska variationer över tid, och särskilt under glaciationsperioder. Vidare krävs mer kvalitativ geodynamisk information rörande tektoniska linsers koppling till jordskalv och platt-tektoniska rörelser; -- bl.a för att bedöma i vad mån dagens mätdata även kan förväntas spegla framtida spänningsförhållanden i berggrunden.

Oklarheter i undre zonen med högsalint grundvatten (under 1-1,5 km)

Här krävs klarlägganden av hydrologiska förändringar med djupet, bl.a av densitet, grundvattenkemi och flödes hastigheter. Vidare behöver graden av störningar klarläggas vid sprickzoner och vissa typer av bergartskontakter (bl.a till metamorft okonsoliderade diabasgångar) för att lokalisera områden med homogen densitetsskiktning.

Oklarheter för gränssonen mellan dessa två vattenmassor (ca 1-1,5 km)

Här krävs klarlägganden av gränssonens hydrologiska och rumsliga karaktär, bl.a djup, mäktighet, densitetsgradienter och vilka variationer som kan förekomma lateralt och vid sprickzoner. Vidare behövs mer precisa data för bedömningar av gränssonens förändringar över tid, särskilt i vertikalled och under perioder av glaciation. Denna kunskap är helt nödvändig eftersom den inte bara påverkar djupet för en borrhålsdeponi utan också valet av KBS-djup.

Slutsatser rörande behovet av en relevant hydrogeologisk modell
Att jämföra, eller säkerhetsmässigt värdera, kärnavfallsdeponier på olika djup utan att ha tillgång till en uppdaterad hydrogeologisk modell av normal svensk berggrund, är som att välja väg utan karta.
För att slippa riskera hamna i ett motsvarande predikament vid MKB-prövningen, krävs flera FoU-insatser för att uppgradera kunskapen om berggrundens hydrogeologiska zoner, se redovisade oklarheter ovan.
Flera av dessa FoU-insatser krävs även för att kunna säkerhetsoptimera valet av djup för ett KBS-förvar. Exempelvis måste man även då ha god kontroll över <u>gränssonens djupledsvariationer över tid</u> för att veta hur omfattande förändringar som kan förväntas i grundvattenmiljön på ca 500 m djup, bl.a vid glaciation.

3 – Uppgradera kunskapsnivån för borrh- och deponerings- teknik samt för förvarets funktion över tid så att man kan göra de allsidiga och säkerhetsrelaterade jämförelser som är alternativredovisningens mål och mening

Nedan finns ett försök att lista och utvärdera teknik- och säkerhetsrelaterade oklarheter och brister i konceptet DB för att belysa vilka FoU-insatser som bör prioriteras med anledning av regeringens FUD-beslut (2008-11-20, sid 2) att ålägga SKB att uppdatera redovisningen av *”kunskapsläget vad gäller alternativa slutförvaringsmetoder såsom bl.a djupa borrhål”*.

3A – Kan konceptet DB klara SKI:s föreskrifter om flera barriärer

SKIs ”fler-barriärsprincip” är viktig i säkerhetssystem som har oberoende barriärer. Fler-barriärsprincipen är dock mindre relevant i system där funktionen hos en barriär beror på hur väl de andra barriärerna fungerar och samverkar. Med funktionsmässigt beroende barriärer blir förvarets reala skydd inte bättre än systemets svagaste länk och det oavsett antalet ingående barriärer.

Viktigare än antalet barriärer är således hur väl barriärerna förmår samverka i de olika riskscenarierna.

Om DBs hydrogeologiska förutsättningar kan infrias, fungerar berggrunden (*genom det stora deponeringsdjupet*) som en **”intrångs- och förändringsbarriär”** mot såväl oönskade intrång som förväntade händelser, t.ex av glaciation ändrade grundvattenrörelser i berggrunden. Samtidigt fungerar berggrundens hydrogeologi (*genom grundvattnets densitetsskiktning*) som en **”kvarhållningsbarriär”** till följd av egenskapen att kunna upprätthålla en stabil zonerings på stora djup såväl fysiskt som över tid. Vidare, genom att utveckla kapselmaterial anpassade till förhållanden på stora djup, blir även inkapslingen en **”kvarhållningsbarriär”**.

Vid en samlad utvärdering framstår tidigare ”fler-barriärs”-argument mot konceptet DB som förenklade och okritiska i ljuset av att såväl KBS-metoden som konceptet DB baseras på ett antal mer eller mindre samverkande ”barriärer”. En liknande bedömning kan även anas i SSI:s FUD-yttrande (2008-05-15), sid 38:

”Den principiella frågan om djupa borrhål uppfyller SKI:s föreskriftskrav på flera barriärer om kapslarna inte kan garanteras vara täta i förvarsmiljön är intressant. Ett sådant resonemang bör dock sättas i perspektiv mot att kapslarna inte heller i KBS-3-metoden kan garanteras vara täta över tid, vilket illustreras av resultaten i SR-Can. Denna fråga kopplar även till utformning och val av material hos kapslarna (designlivslängden).”

Slutsatser av SKI:s "fler-barriärsprincip"
Både KBS-metoden och konceptet DB baseras på ett antal mer eller mindre samverkande "barriärer", vilket gör att denna i andra sammanhang rimliga princip inte tillför särskilt mycket i jämförelser mellan dessa metoder .
Det viktiga för säkerheten i system med samverkande "barriärer" är inte antalet "barriärer" utan hur väl de förmår samverka i olika riskscenarier.
Metodernas konceptuella skillnader är därför mer relevanta, och särskilt vid analyser av den långsiktiga säkerheten, i och med att säkerheten för en deponi i djupa borrhål främst beror på <u>naturgivna fysiska förhållanden</u> medan säkerheten för grunda deponier av KBS-typ (<i>som omges av ett rörligt och över tid föränderligt grundvatten</i>) främst beror på <u>av människan konstruerade "barriärer"</u> .

3B -- Finns teknik för säker deponering i km-djupa borrhål

Frågan om konceptet DB baseras på *tillgänglig teknik* kan besvaras på olika sätt.

Det ena är: -- *Nej, och någon sådan kommer nog heller aldrig att utvecklas.*

Det andra möjliga svaret är: -- *Nej, inte idag, men förmodligen inom 10-15 år förutsatt att borrhåndsindustrin ges ett sådant utvecklingsuppdrag.*

Frågan om tillgänglig teknik har således flera dimensioner. Exempelvis bedömer Kärnavfallsrådet (FUD-svar, juni -08): -- *"att det i dagsläget inte verkar finnas någon i miljöbalkens mening tillgänglig teknik för deponering i djupa borrhål"*.

Men inte heller KBS-förvarets strålningsavskärmade auto-deponeringsteknik är ännu en *tillgänglig* deponeringsteknik och lär så förbli fram till den dag då denna "första-i-sitt-slag-teknik" har färdigutvecklats och fullskaletestats och därmed blivit tillgänglig i begreppets mest strikta mening. För ett svenskt slutförvar, som varken byggts eller tidigare ens efterfrågats, finns inte någon teknik tillgänglig förrän all erforderlig basteknik har färdigställts.

-- Så i vilken utvecklingsfas blir en teknik tillgänglig i miljöbalkens mening?

Frågan kan tyckas akademisk men har viktiga konsekvenser för MKB-processen. Orsaken är att sökanden, vid en snäv tillämpning av begreppet *tillgänglig teknik*, skulle få en sorts vetorätt vid redovisningen av alternativa metoder eftersom sökanden då skulle kunna negligera alla oönskade alternativ med hänvisning till att de förutsätter teknik som varken är tillgänglig idag eller kan förväntas bli tillgänglig längre fram; -- och i synnerhet när sökanden själv vägrar medverka i en sådan teknikutveckling.

Att lagstiftarna avsåg att ge sökanden denna position i MKB-processen är föga troligt och därför behövs ett klarläggande. Exempelvis är det knappast förenligt med miljöbalkens krav **på BAT och på en säkerhetsoptimering av samtliga steg i slutförvaringskedjan** att låta sökanden avgöra vilka alternativmetoder som ska redovisas i en MKB-ansökan, respektive avvisas med hänvisning till begreppet **tillgänglig teknik**. Vidare skulle MKB-processens samhällsrelevans äventyras om man skulle acceptera ett sämre beslutsunderlag i metodvalsfrågan bara för att sökanden själv försatt sig i en besvärlig situation genom att aktivt avstå från att utforska mer än en metod för kärnavfallets slutförvaring.

SSI har noterat denna problematik och den av dem förordade expertutfrågningen bör kunna bidra till mer kvalificerade bedömningar av borrhålkonceptets tekniska genomförbarhet (se utdrag ur FUD-svar, 2008-05-15, sid 38).

”SSI är medveten om att det finns stora osäkerheter kopplade till både borrhålskonceptet och framförallt deponeringsförfarandet. SSI bedömer dock, bl.a utifrån Kasam:s seminarium om djupa borrhål 14-15 mars 2007, att dagens kunskapsläge kring borrhålskonceptet är tillräckligt för att kunna göra en utförligare utredning än vad SKB hittills redovisat. SKB bör vidare belysa konsekvenserna av missöden i samband med deponering (t.ex att kapslar fastnar i deponeringshålet), liksom möjliga åtgärder för att hantera sådana missöden. En formell expertutfrågning med experter från angränsande teknikområden skulle kunna vara ett sätt att belysa frågor kring genomförande och deponering för djupa borrhål.”

Slutsatser rörande tillämpningen av begreppet ”tillgänglig teknik”
Med en snäv tillämpning av begreppet kan industrin få en sorts vetorätt vid redovisningen av alternativmetoder med resultat att teknikrelaterade oklarheter för konceptet DB lämnas obesvarade så länge industrin vägrar medverka i en kunskapsuppbyggnad av erforderlig teknik.
Om istället SSIs synsätt tillämpas, skulle sökanden rimligen avkrävas mer kvalificerade beslutsunderlag även för erforderlig teknikutveckling.
Tillämpningen av begreppet tillgänglig teknik tycks således avgörande för vilka alternativa metoder som de facto kommer att redovisas på en rimlig kunskapsnivå inför MKB-prövningen.

3C -- Frågor om återtagbarhet och valfrihet för kommande generationer

Möjligheten att återta kärnavfallskapslar har motiverats på flera sätt, bl.a av resursskäl, för att vid behov kunna underhålla eller reparera förvaret och för att ge kommande generationer större valfrihet.

Vidare står klart att en borrhålsdeponi knappast kan utformas för att medge en tillförlitlig återtagbarhet efter att deponin avslutats och borrhålen förseglats. Oklart är däremot om denna ”icke-återtagbarhet” är en metodologisk brist eller rent av en säkerhetsfördel.

Först bör klargöras under vilka förhållanden en återtagbarhet kan vara en real plusfaktor ur säkerhetssynpunkt med tanke på att förvaret då måste lokaliseras och utformas på ett sätt som de facto sänker graden av svåråtkomlighet, både vid avsiktliga och oavsiktliga intrång. Och ännu återstår att formellt pröva om en återtagbarhet infriar det grundläggande slutförvaringsvillkoret att inte utsätta kommande generationer för onödiga risker, ansvar eller kostnader till följd av vår tids kärnavfall. Vidare återstår att pröva om ett KBS-förvar utan framtida bevakning kan infria gällande safeguard-åtaganden med tanke på förvarets ***förhållandevis enkla återtagbarhet av avfallskapslar med klyvbara ämnen.***

Att slutförvaret förblir radioaktivt i årtusenden framöver, innebär också andra ställningstaganden om slutförvarets balans mellan svåråtkomlighet och återtagbarhet. Bl.a om denna balans senare ska kunna ändras av efterkommande och hur detta funktionsvillkor bör prioriteras vid valet av slutförvaringsmetod.

Vidare, om avsikten med återtagbarhet verkligen vore att ge kommande generationer större valfrihet, måste man också beakta deras behov att ***snabbt kunna bli kvitt möjligheten till återtagande av kärnavfall*** när man så finner befogat. Ex.vis finns flera risk-scenarier där efterkommande kan tänkas vilja slippa alla former av återtagbarhet, bl.a i tider av hotande terrorism, eller när man inte längre har kvar resurser eller teknik för att upprätthålla en tillräcklig tillsyn.

En äkta valfrihet för efterkommande är därför svår att förena med slutförvar som utformats för en över tid bestående återtagbarhet av deponerat kärnavfall.

Slutsatser rörande krav på återtagbarhet och valfrihet
Avfallets återtagbarhet och svåråtkomlighet är motstridiga faktorer, vilket gör att avvägningar alltid måste göras för att optimera säkerheten.
Återtagbarhet ger ökad flexibilitet men också ökad risk i flera framtids-scenarier. En äkta valfrihet för efterkommande är därför svår att förena med slutförvaringsmetoder som utformas för en <u>över tid bestående återtagbarhet</u> av deponerat kärnavfall.

3D -- Argument om ökad risk för DB vid jordskalv och istider

Vid Kasam-seminariet (mars -07), och senare upprepat i FUD 07 under rubriken *Nyvvunnen kunskap* (sid 392-394), presenterade SKB data över svenska jordskalv som sades visa en ökad risk för DB vid jordskalv och istider.

Som också framgår av SKIs yttrande över FUD 07 är denna argumentering ”förvånande” eftersom det knappast är djupet till skalvens centrum som avgör säkerheten för slutförvar på olika djup i berggrunden.

Om jordskalv, med eller utan koppling till istider, hade medfört störningar av grundvattnets stabila densitetsskiktning på större djup (under 2-3 km), hade det knappast funnits några platser på denna jord där grundvattnets densitetsskiktning bevisligen bevarats över årmiljoner. Lika klart är att detta också gäller svensk berggrund eftersom det även här under senare årmiljoner har förekommit flera perioder med omfattande jordskalv och nedisningar.

Slutsatser rörande risker vid jordskalv och istider
Problematiken med jordskalv och nedisningar är viktig och särskilt för grunda geologiska deponier av KBS-typ beroende på, att om dessa skadas vid jordskalv, finns inga hinder för utläckande radioaktivitet att spridas till marknära nivåer i grundvattnets utströmningsområden.
För djupa borrhålsdeponier bedöms jordskalv vara ett mindre problem eftersom grundvattnets densitetsskiktning på 3-5 km djup hämmar all uppåtriktad grundvattentransport genom berggrunden, vilket stöds av mätdata från flera platser där grundvattnets densitetsskiktning bevisligen har bevarats över årmiljoner.

3E -- Argument om lokaliseringsproblem för DB

”Att lokalisera ett område för deponering i DB är förenat med större osäkerheter än motsvarande lokalisering av ett KBS-förvar” (FUD 07, sid 388).

Att det är mer kostsamt och mättekniskt komplicerat att klarlägga hydrogeologiska förhållanden på stora djup är uppenbart. Men även om en områdeslokalisering för DB kräver en mer tekniskt avancerad borrh- och mätutrustning, behöver inte lokaliseringsprocessen i sig vara mer besvärlig och tidsödande.

Ett undersökningsprogram på 10-15 år kan kanske räcka för att lokalisera lämpliga områden. Och även med en väl tilltagen reservtid skulle det hela då kunna rymmas inom samma tidsomfång som KBS-metodens platsvalsprocess.

En funktionsrelaterad jämförelse mellan KBS-metoden och ett slutförvar i djupa borrhål med fokus på metodernas konceptuella kontraster (mars -09)

Jämförelsegrund	KBS-metoden	Djupa borrhål
Allmän beskrivning	Ett teknologiskt komplext slutförvar på ca 500 m djup i berg-grunden där avfallet omges av flera samverkande "barriärer". Valet av deponeringsdjup speglar ambitionen att avfalls-kapslarna ska vara väl skyddade, svåråtkomliga men samtidigt möjliga att återta	Metoden baseras på senare års upptäckt att grundvattnets densitetsskiktning kan vara så stabil över tid att deponerat material på 3-5 km djup kan förväntas bli kvar under årmiljoner, förutsatt att deponeringen kan genomföras utan att störa grundvattnets naturliga skiktning
Konceptuell styrka	Metoden är långt utvecklad. Vidare medger metoden en noggrann genomförandekontroll under såväl etablerings-, deponerings- som förslutningsarbeten	Metoden har potential att ge hög säkerhet på både kort och lång sikt så att kriteriet om en helt tillsynsfri slutförvaring kan infrias. Detta förutsätter dock att deponeringen kan genomföras utan att varaktigt störa grundvattnets naturliga skiktning i förvarsområdet
Konceptuell svaghet	Förvarets placering inom zonen med ett ytnära, rörligt och över tid föränderligt grundvatten medför att läckage inte kan hindras från att spridas vidare till marknära nivåer i grund-vattnets utströmningsområden. Vidare räcker inte det förhållandevis grunda förvarsdjupet (ca 500 m) för att helt skydda avfallskapslarna mot vare sig avsiktliga eller oavsiktliga intrång. Metodens konceptuella förutsättningar sänker därför säkerhetsmarginalen vid både förväntade och oförutsedda händelser, -- och på ett sätt som särskilt påverkar säkerheten på lång och medellång sikt. Vidare medför återtagbarheten ett visst behov av tillsyn och därmed ett ansvarsåtagande för kommande generationer+B15	Metoden förutsätter en långtgående teknikutveckling, se nedan, och av en art som kräver en resursstark aktör. Vidare finns oklarheter om metodens fysiska realiserbarhet inom landet, se nedan, samt osäkerhet om metodik för att hantera problem under deponeringen, se nedan. Dessutom är det ej prövat om metoden, med en verbalt strikt tolkning av begreppet "tillgänglig teknik", överhuvudtaget kan beskrivas som en möjlig metod, se sid 13-14

Fysisk realiserbarhet - <i>existerar metodens fysiska förutsättningar inom landet</i>	Ja	Sannolikt ja. -- Dock återstår att verifiera att det finns tillräckligt stora områden med ett stabilt densitetsskiktat grundvatten inom landet
Beräknade kostnader	Ca 100 miljarder	Endast översiktliga bedömningar; -tekniskt underlag saknas
Ekonomisk realiserbarhet	Sannolikt god. -- Dock återstår att klarlägga om föreskrivna safeguard-åtaganden ryms inom angivna kostnadsramar	Kan vara minst lika god som för KBS-projektet men bedömningen baseras på ett kvalitativt sämre underlag, bl.a för att deponeringstekniken återstår att utveckla. En möjlig plus-faktor är att kostnaden kan bli lägre, särskilt om FoU-arbetet sker i samverkan med andra länder
Teknologisk realiserbarhet	God, -- med reservation för osäkerhet om kapselkorrosion. Övriga oklarheter gäller främst hur konceptets konstruerade barriärer och förslutningar ska optimeras för att möta angivna säkerhetskrav	God vad gäller borrning och styrning av borrhålens placering inom deponiområdet. För deponeringsteknik i km-djupa borrhål fordras dock en resurskrävande teknikutveckling
Tid för hantering av tekniska problem och oklarheter	Bör kunna ske inom 3-5 år; -- med reservation för kapsel-korrosion och behovet av fler långtidstester för att verifiera interaktionen mellan kapsel- och buffertmaterial och över tid varierande hydrogeologiska förhållanden i förvarsområdet	Bör kunna ske inom 10-15 år, och rimligen snabbare om FoU-arbetet kan samordnas inom ramen för EU eller FN. Största utmaningen är att utveckla en tillförlitlig deponerings-teknik i km-djupa borrhål och att optimera material och metodik för bredhålsborrning till stora djup
Möjlighet att deponera test-kapsel som demonstration	God redan med befintlig teknik	Bör kunna ske inom 5-10 år, förutsatt man utvecklar teknik för bredhålsborrning och deponering
Återtagbarhet av kapslar under deponeringsskedet	Goda möjligheter	Sannolikt goda möjligheter för oskadade kapslar. För att hantera kapslar som fastnat eller skadats på väg ner behövs teknik och metodik för att antingen återta avfallet eller föra det vidare till avsett deponeringsdjup. Problemen har bedömts hanterbara men medför ökade kostnader om borrhålet därefter måste förslutas och ersättas
Återtagbarhet efter förslutning	Goda möjligheter, om än tids- och kostnadskrävande; -- bl.a behövs avancerad teknik för att undgå strålskador	Teoretisk möjlig men i praktiken utesluten, särskilt om man vidtar åtgärder för att dölja borrhålens exakta positioner

Möjlighet att vid behov åtgärda brister i förvaret efter förslutning	Relativt goda möjligheter att åtgärda brister i buffert och förslutning, dock mycket kostnads- och teknikkrävande; - bl.a för att undgå strålskador. Förvarets konceptuella svagheter kan dock ej åtgärdas, dvs placeringen inne i zonen med ett ytnära, rörligt och över tid föränderligt grundvatten i kontakt med biosfären	I praktiken uteslutet, särskilt om man genomför åtgärder för att dölja borrhålens exakta positioner
Bestående miljöstörning vid etablering	Lokala effekter på grundvatten och för deponering av sprängsten	Marginella effekter
Resurskrav av betydelse	Förbrukning av koppar vid inkapsling	Förbrukning av vissa legeringsmetaller vid borrhning
Utsatthet för organisk (bakteriell) påverkan	Viss utsatthet då förvarets konstruerade "barriärer" omges av lågsalint grundvatten med bakterier av olika typ	Initialt förutses en viss utsatthet trots hög temperatur (ca 80-100 C) och högsalint grundvatten på dessa djup. Efter deponeringen förutses minskad påverkan i takt med att temperaturen i närområdet närmar sig och ev överstiger 116 C, vilket är max-temp för organiskt liv
Safeguard-aspekter pga icke-spridningsvillkor för klyvbara material	Fysisk bevakning tills permanent förslutning har skett och därefter bevakning/tillsyn under överskådlig tid	Fysisk bevakning tills permanent förslutning har skett
Metodens potential utöver slutförvaring av svenskt kärnavfall	Återtagbarhet av kapslar möjliggör framtida återbruk av deponerat material	Kan möjliggöra en permanent kvittblivning av kärnvapen-material, t.ex efter FN- beslut om nedrustning
Andra positiva effekter för kommande generationer	Inga kända	Metoden tycks möjliggöra att förvaret kan lämnas helt utan tillsyn då man efter 20-50 år verifierat att deponeringen inte förändrat områdets densitetsskiktning

Negativa effekter för kommande generationer	Metoden förutsätter ett fortsatt ansvarsåtagande då förvaret annars kan skadas av såväl oavsiktliga som avsiktliga intrång eller av ändrade hydrogeologiska förhållanden i förvars-området. I och med att förvaret med höggradigt radioaktiva och giftiga ämnen inte kan döljas, skulle framtida generationer också belastas av en ökad risk för terroraktioner och/eller utpressning vid såväl regionala som internationella konflikter	Inga kända. Detta förutsätter dock att deponeringen kan ske utan att varaktigt störa grundvattnets stabila densitetsskiktning i förvarsområdet
Långsiktig säkerhet	Oklart beroende på hur man bedömer metodens konceptuella svagheter	Kan ha bättre potential än KBS-metoden; -- förutsatt att deponeringen kan genomföras utan att varaktigt störa grundvattnets stabila densitetsskiktning i förvarsområdet