

Djupa borrhål

Slutförvaring på 3-5 km djup -- kan det vara ett bättre alternativ för svenskt högaktivt kärnavfall

- varför ta upp detta nu – har man inte redan godkänt KBS-metoden
- vad innebär en borrhålsdeponi
- vilka fördelar skulle finnas
- om slutförvaring eller ej
- vad händer nu

Det svenska kärnavfallsprogrammet

Inleddes på 1970-talet och redan då blev handlingslinjen; -- *att kärnavfallet ska kapslas in och slutförvaras ca 500 meter ner i stabilt urberg*

Fokuseringen på 500-metersnivån baserades på flera faktorer:

-- djupet var möjligt att nå med gängse gruvbrytningsteknik och utan att riskera alltför höga bergsspänningar i deponins tunnlar och schakt,

-- djupet bedömdes vara tillräckligt för att skydda mot den tidens terroristhot i Europa (*den tyska Bader-Meinhoff-ligan med misstänkta kopplingar i både Mellanöstern och Sverige*),

-- geofysiska mätdata påvisade förändringar i berggrunden längre ned (kring 1-1,5 km), vilket ansågs problematiskt eftersom det då skulle krävas mer resurser för att klarlägga förhållandena på sådana djup

Den tidiga fokuseringen på 500-metersnivån var rimlig med den tidens kunskapsläge

Om deponin sen borde placeras 400, 500 eller kanske 700 m ner kunde avgöras längre fram när man väl undersökt förhållandena på dessa djup

Det svenska kärnavfallsprogrammet

→ en summering

Efter den tidiga fokuseringen på 500-metersnivån har man fortsatt i dryga 30 år utan några större metodologiska förändringar

Fokuseringen på 500-metersnivån har varit framgångsrik i så motto att den svenska kraftindustrin idag har ett mer teknologiskt genomarbetat slutförvaringskoncept än andra kärnkraftländer; -- den så kallade KBS-metoden

Å andra sidan har inte mycket gjorts för att komplettera programmet i takt med senare års kunskapsutveckling om berggrundens hydrogeologiska förändringar med stigande djup

Tre huvudalternativ

vid **slutförvaring** av högaktivt kärnavfall i berggrunden, -- s.k. geologisk deponering:

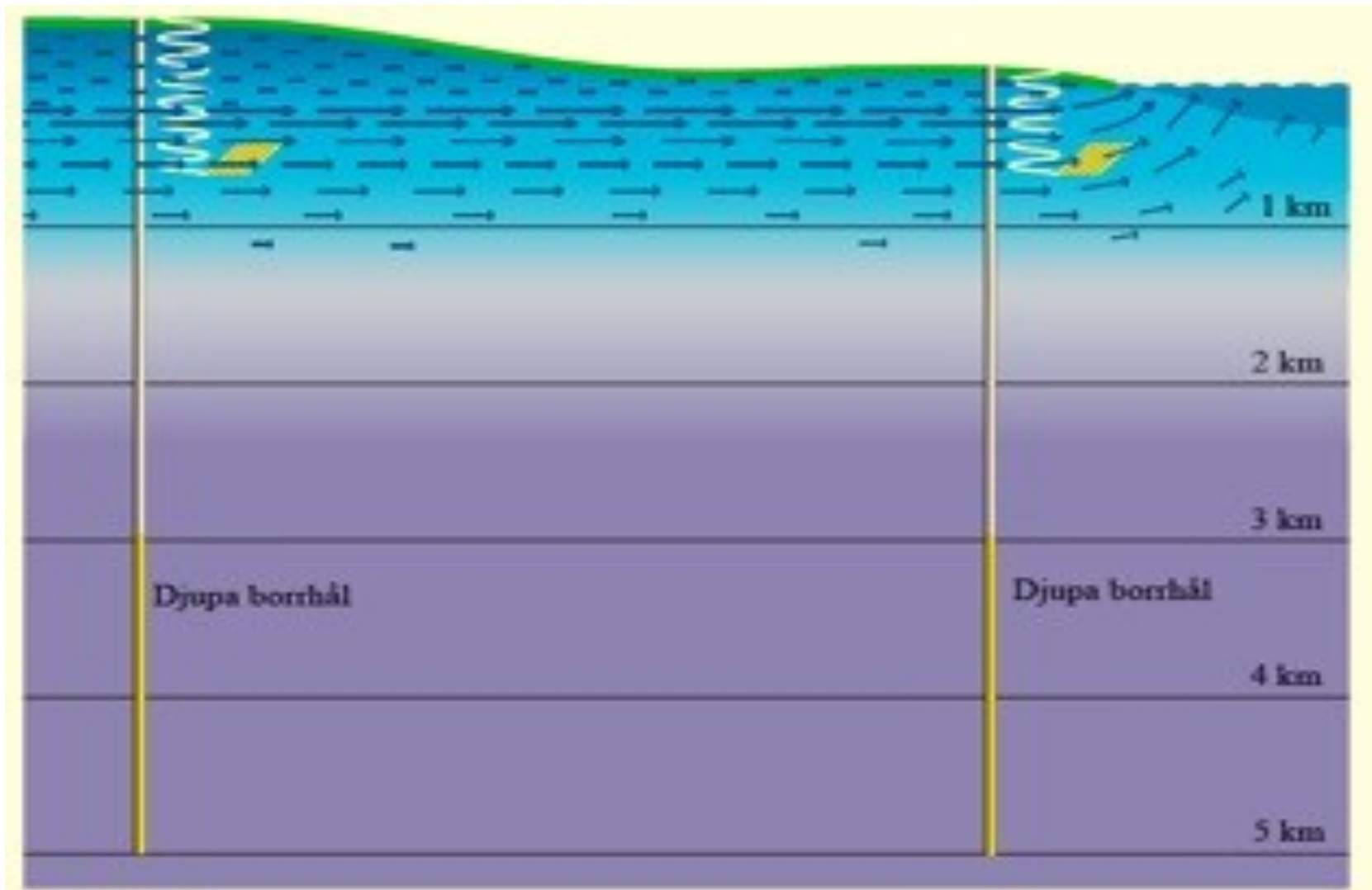
-- grund deponering i kontinental berggrund, ca 500 m ner

-- djup deponering i kontinental berggrund, ca 3-5 km ner

-- deponering i oceanisk jordskorpa i anslutning till en djuphavsgrav, ca 6-8 km ner, varav 1-3 km ned i oceanisk jordskorpa

Grundvattnets zoner

→ en hydrogeologisk modell



Slutförvaring i kontinental berggrund

Grundvattnets zonerings innebär att det i normal svensk berggrund finns en hydrogeologisk övergångszon som begränsar valet av deponeringsdjup så att det i praktiken bara finns två alternativ för högaktivt kärnavfall:

→ **en grund deponering, ca 400-700 meter ned**

→ **en djup deponering, minst 2-3 km ned**

Dessa skilda förvaringsdjup medför att det blir stora konceptuella skillnader mellan grunda och djupa slutförvar då såväl deponeringsteknik, skyddsbarriärer som förvarets funktion över tid måste anpassas till de fysiska, geokemiska och hydrogeologiska förhållanden som råder på respektive deponeringsdjup

1 Grunda slutförvar -- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Metodologiskt styrs en grund deponi av att man med *dagens gruvbrytningsteknik* kan anlägga de tunnlar och schakt som behövs för avfallskapslarnas deponering på ca 500 m, vilket bl.a avspeglas i begreppet "*mined repository*"

Deponeringsdjupet medför dock att både skyddsbarriärer och avfallskapslar kan skadas vid avsiktliga liksom vid oavsiktliga intrång i förvarsområdet

Det valda djupet medför också att deponin kommer att omges av ett ytnära, rörligt och över tid föränderligt grundvatten till följd av markbundna processer

Grunda slutförvar kommer att ligga i en hydrogeologisk miljö som reser kompromisslösa krav på förvarets skyddsbarriärer eftersom läckage visserligen kan spädas ut och fördröjas på dessa nivåer **men aldrig hindras från att spridas vidare** för att efterhand nå marknära nivåer i grundvattnets utströmningsområden

2 Grunda slutförvar -- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Återtagbarhet är en möjlighet vid grunda deponier

Positivt är att framtida generationer härigenom kan få ökad valfrihet i och med att de, vid behov, då har möjlighet att genomföra förstärkningsinsatser av förvaret eller också att helt avbryta slutförvaringen till förmån för något som då bedöms vara bättre

Återtagbarheten är dock svår att värdera kvalitativt då den förutsätter sådant som ej kan garanteras över tid

Ex.vis kan inte vi göra särskilt mycket här och nu för att säkerställa att de människor som lever här om 300 år, eller som en gång återbefolkar Sverige efter en nedisning, verkligen kommer att ha den teknologiska kompetens som krävs för att kunna genomföra strålningsavskärmade insatser i syfte att återta avfallskapslar eller reparera förvaret

3 Grunda slutförvar -- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Återtagbarhet har rättsliga konsekvenser

Använt kärnbränsle innehåller klyvbara material som plutonium, vilket innebär krav på övervakning av deponin, bl.a för att leva upp till internationella åtaganden för att hindra spridning av kärnvapenmaterial

Själva möjligheten att återta svenskt kärnavfall i grunda slutförvar innebär en målkonflikt eftersom en övervakning som de facto **förs över på kommande generationer** strider mot ett grundläggande svenskt slutförvaringsvillkor; -- nämligen att slutförvaringsmetoden inte ska kräva framtida övervakning eller underhåll

1 Djupa slutförvar -- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Metodologiskt innebär en slutförvaring i kristallin berggrund på 3-5 km djup att deponeringen sker i ett antal ***djupa borrhål***, vilket bl.a framgår av begreppet; -- *deep borehole disposal*

Än finns ingen färdigutvecklad metod eller ens beslut att utveckla en sådan

Intresset för konceptet djupa borrhål har dock ökat i takt med senare års kunskapsutveckling om berggrundens hydrogeologiska zoner

Borrindustrins snabba teknikutveckling har också bidragit, särskilt som man nu bedöms klara såväl precisionsborrning som bredhålsborrning till stora djup

Tillsammans har denna kunskaps- och kompetensuppbyggnad bidragit till ökad insikt om borrhålskonceptets fysiska och teknologiska förutsättningar

2 Djupa slutförvar -- allmän karakteristik och säkerhetsaspekter

Konceptet djupa borrhål baseras på flera faktorer som påverkar säkerheten på kort och lång sikt:

-- *det stora deponeringsdjupet (3-5 km)*, vilket skyddar mot såväl avsiktliga som oavsiktliga intrång i förvarsområdet,

-- *grundvattnets densitetsstyrda stratifieringen i berggrunden*, vilket motverkar vertikala grundvattenrörelser och särskilt rörelser genom övergångszonen,

-- *bergets låga permeabilitet* (pga låg andel öppna sprickor på 3-5 km djup), vilket begränsar grundvattnets mobilitet och därmed radionukleiders spridningsvägar i berggrunden,

-- *grundvattnets speciella sammansättning*, vilket på 3-5 km djup ger en geokemisk miljö som motverkar radionukleiders spridning. Dels är grundvattnet kemiskt reducerande, vilket hämmar kritiska radionukleiders löslighet. Dels finns höga jonladdningar, vilket motverkar kolloidal transport av radionukleider.

Deep Borehole Disposal of High-Level Radioactive Waste

Sandiarapportens signifikans för svenska förhållanden

Kunskapsläget för konceptet djupa borrhål redovisas i en 50-sidig rapport till USA:s energimyndighet. Vidare redovisas nya termodynamiska analyser med relevans för ett borrhålsförvars utformning och funktion över tid.

I studien utgår man från att högaktivt kärnavfall deponeras i vertikala, ~ 45 cm breda borrhål på 3-5 km djup, vilket innebär att rapporten avhandlar samma typ av slutförvar som låg till grund för Kärnavfallsrådets utfrågning om djupa borrhål i mars 2007.

Studiens resultat och rekommendationer har därför stor relevans även för svenska förhållanden, särskilt som studien genom sin breda vetenskapliga granskning ger en kvalitativ bedömning av borrhålskonceptets fysiska, hydrogeologiska, teknologiska och ekonomiska förutsättningar, vilket bl.a regeringen efterfrågade i samband med alternativredovisningen i FUD 07.

Sandiarapportens slutsatser

Sammantaget bedöms borrhålsförvar på 3-5 km djup ha förutsättningar att ge hög säkerhet över tid (*excellent long-term safety performance*) och till samma kostnader som för grunda geologiska deponier (*mined repositories*)

Studiens termodynamiska analyser visar:

→ att det saknas förutsättningar för advektion (*vertikala grundvattenrörelser*) utanför det termalt påverkade närområdet,

→ att spridningen av radionukleider genom kemisk diffusion blir extremt långsam i vertikalled på dessa djup (*less than about 200 m in 1.000.000 years*)

→ att avfallets radioaktiva sönderfall ger en värmepåverkan i närområdet som blir störst under inledande århundraden men att denna termala påverkan blir låg (*less than 20°C at 10 m from the borehole*) och så spatialt begränsad att den påverkade zonen kring förvaret inte överstiger ca 100 m när minimiavståndet mellan borrhålen är 200 m. (*This means that total vertical fluid movement in, and adjacent to, deep borehole disposal zones should not exceed roughly 100 meters*)

Borrhålsförvarets utformning

Sandia-rapportens termodynamiska analyser visar att man kan begränsa en borrhålsdeponis termala påverkan i berggrunden genom att välja ett lämpligt minimiavstånd mellan borrhålen, **förutsatt man valt ett område med lämpliga bergarter och stabil densitetsskiktning**

Och med studiens ingångsdata; -- kärnavfall av normaltyp och deponering i vertikala, ca 45 cm breda borrhål på 3-5 km djup -- räcker det med ett minimiavstånd av 200 m för att grundvattnets naturliga densitets-skiktning ska förbli ostörd 200-300 m ovanför deponin

Om dessa förutsättningar infrias, skulle säkerhetsmarginalen aldrig understiga 1-1,2 km till den övre zon i berggrunden som har ett rörligt grundvatten i kontakt med biosfären

Borrhålsförvarets skyddsbarriärer

I Sandia-rapporten redovisas fyra fysiskt skilda, och samverkande, barriärer:

- *berget* (med sin mycket låga permeabilitet och långa avstånd till ovanjordsstörningar),
- *grundvattnets stratifiering (densitetsskiktning)* som motverkar vertikala grundvatten-rörelser och därmed transport upp mot biosfären,
- *förvarsområdets geokemiska miljö (främst grundvattnets sammansättning)* som på flera sätt reducerar radionukleiders möjliga spridningsvägar i berggrunden,
- *deponins buffertmaterial (dels mellan avfallskapslarna i borrhålen och dels i borrhålens försegling ovan deponiområdet)* där man med lämplig inblandning av vismutföreningar (främst *vismuthydroxid*) bl.a kan binda jod¹²⁹ som är den radiologiskt mest kritiska komponenten.

Sandia-rapporten -- viktig milstolpe

Genom sin breda vetenskapliga granskning ges *en kvalitativ bedömning* av borrhålskonceptets fysiska, hydrogeologiska, teknologiska och ekonomiska förutsättningar

Vidare redovisas nya termodynamiska analyser som:

- har stor relevans för förvarets utformning och funktion över tid,
- stärker tidigare bedömningar av säkerhetspotentialen för konceptet djupa borrhål,

Viktigt är också att man nu (*?för första gången*) lyfter fram möjligheten att begränsa kritiska nukleiders migration genom att addera särskilda komponenter (*vismutföreningar*) till bentonit-buffertar för att "kemiskt fånga in" den radiologiskt mest kritiska komponenten, dvs jod¹²⁹

Metodik, bl.a deponeringsteknik Få nyheter utöver en del referenser. *Mest intressant är kanske den tillitsfulla attityd som här torgförs med hänvisning till borrhållstekniska framsteg inom oljebolagens off-shore-verksamhet*

Djupa borrhål – slutsatser (I)

I takt med ny kunskap om berggrundens hydrogeologiska förändringar med stigande djup har deponeringsdjupet blivit en allt viktigare fråga

Vidare står klart att djupa deponier åtminstone har vissa *konceptuella* fördelar visavi grunda deponier i och med att ett slutförvar på 3-5 km djup skulle omges av ett tyngre (*högsalint*), densitetsskiktat grundvatten utan kontakt med marknära nivåer medan grunda slutförvar på 400-700 m djup istället skulle omges av ett lättare (*lågsalint*), rörligt och över tid föränderligt grundvatten i ständig rörelse mot marknära nivåer i regionala utströmnings-områden

Djupa borrhål – slutsatser (2)

Om dessa i huvudsak spridningsrelaterade fördelar också kan ge reala säkerhetsfördelar återstår att visa. *Bl.a behövs en del utvecklingsarbete för att optimera bredhålsborrningen till 3-5 km djup*

Men framför allt krävs en omfattande teknikutveckling för att klara deponering i borrhålen samt borrhålens förslutning utan att dessa arbeten varaktigt stör grundvattnets naturliga skiktning i deponiområdet. *Bl.a behövs teknik som hindrar avfallskapslar att fastna i borrhålen*

Vidare återstår att visa att det inom landet verkligen finns tillräckligt stora och samman-hängande områden som har en över tid stabil densitetsskiktning. *Och det kräver studier med flera sonderande borrhål i lämplig gnejs- och/eller granitberggrund för att klarlägga densitetsskiktningens stabilitet över tid*

Vad händer nu

- Kraftindustrin

? Internationellt

?? MKB-processen

??? SSM, K-rådet och regeringen

Grundvattnets zoner

→ en hydrogeologisk modell

