

KBS TEKNISK RAPPORT

04

DEPONERING AV HÖGAKTIVT AVFALL
I TUNNLAR MED BUFFERTSUBSTANS

A Jacobsson, R Pusch

Högskolan i Luleå 77-06-01

Objekt 12.33

DEPONERING AV HÖGAKTIVT AVFALL
I TUNNLAR MED BUFFERTSUBSTANS

A Jacobsson, R Pusch

Högskolan i Luleå 77-06-01

Objekt 12.33

I slutet av rapporten har bifogats en förteckning över av KBS hittills publicerade tekniska rapporter i denna serie.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

		sid
1	INTRODUKTION	1
2	ALLMÄNT	2
3	BUFFERTMATERIALETS FUNKTION	4
	a) Behållare med buffertsubstans och radioaktiva kapslar	4
	b) Tunnlar med buffertsubstans och behållare	7
4	ANALYS AV LAYOUTFÖRSLAG 77-05-05	9
5	SLUTSATSER OCH KOMMENTARER	14

1 INTRODUKTION

Möjligheten att deponera högaktivt avfall i borrhål med buffertmassa har undersökts och rapport (KBS 1) avlämnats till KBS. Eftersom borrhåls- och tunneldeponering har åtskilliga gemensamma drag, speciellt med avseende på buffertmassans egenskaper, vill vi inledningsvis nämna några väsentliga punkter i KBS-rapporten. Den visar att buffertmassan, med hänsyn till funktionskraven när massan är på plats i deponeringsanläggningen, bör ha följande egenskaper:

1. Plastiska egenskaper
2. Mycket låg permeabilitet
3. Tillräcklig bärighet (hög hållfasthet och mycket hög viskositet)
4. Tillräckligt goda jonbytesegenskaper
5. Goda värmeledningsegenskaper
6. Temperaturer upp till 100°C och stark radioaktiv strålning får inte ge nämnvärda ändringar i egenskaperna ens efter flera tusen år.

Vid deponering i borrhål har det visats att massan lämpligen packas i torrt tillstånd och att hålen försluts (plomberas) i direkt anslutning till deponeringen i respektive borrhål. När det gäller sammansättningen hos buffertmassan har vi utgått från att komponenterna skall ha så väl kända och gynnsamma egenskaper som möjligt med avseende på alla de nämnda egenskaperna. Det har lett till förslaget att i borrhålen använda en massa med 10 viktprocent Na-bentonit och 90% kvartspulver (kornstorlek motsvarande fraktionerna silt och sand). När det gäller jonbytesegenskaperna är en sådan massa visserligen inte speciellt gynnsam. Genom att fylla tunnelsystemen med en buffertmassa med betydligt högre halt av Na-bentonit kan emellertid den jonbytesaktiva massans volym och jondiffusionsvägarnas längd ökas tillräckligt mycket.

Uppdraget har på ett senare stadium utökats till att omfatta också ett studium av möjlig och lämplig teknik för deponering av avfallskapslar i tunnlar. Redovisningen härav ges i denna rapport. Eftersom flera av de delundersökningar som redovisats i KBS 1-rapporten också är relevanta för tunneldeponering kommer ett antal hänvisningar att ges till denna rapport.

2 ALLMÄNT

Deponeringen av kapslar med radioaktivt avfall i tunnlar kan i princip ske på två sätt. Antingen kan kapslarna anbringas direkt i en buffertmassa, eller också kan de inneslutas i behållare (med buffertmassa) som anbringas på stöd i tunnlar och som omges av buffertmassa. Det bör först nämnas att det finns en klar principiell skillnad mellan dessa alternativ. Deponering i behållare med buffertsubstans innebär, liksom i alternativet med plomberade borrhål, att man skapar två spärrar. Direkt deponering av kapslar i tunnlar med buffertmassa ger endast en spärrzon. Vid direktdeponering av kapslar i tunnlar med buffertmassa accentueras alla de svårigheter som uppkommer vid deponering av kapslarna i icke plomberade borrhål (jfr Rapport KBS 1):

- ● Buffertmassan måste vara homogen. Ju större volym som skall anbringas desto svårare är det att uppfylla detta villkor.
- ● För att få en homogen buffertmassa med tillräcklig bärighet bör den anbringas i torrt tillstånd. Packningen kan emellertid inte ske effektivt nära tunneltaket. Till skillnad från borrhålsalternativet, där buffertmassans anbringande kan ske så snabbt att eventuellt inträngande vatten från borrhålsväggarna inte ger problem när det gäller att få den torra

massan homogen, kommer inläckningen av vatten från tunnelns tak, väggar och golv troligen att hinna bli så betydande att buffertmassan bitvis blir halvflytande, bitvis klumpartad och bitvis torr. Det är möjligt att sådana inhomogeniteter försvinner med tiden då vattenupptagningen fortskrider men risken för att permanenta håligheter skall uppstå kvarstår. Anbringandet kan säkerligen komma att ge praktiska svårigheter. Under alla förhållanden krävs utförande av täta "betongskott" för att man skall kunna få massan på plats under någorlunda kontrollerade förhållanden och för att hela massan inte skall komma i flyttillstånd vid obegränsade möjligheter att ta upp vatten.

Det bör tilläggas att det är olämpligt att lägga kapslarna på betongstöd och sedan packa buffertmaterial runt kapslarna. Om dessa stöd skulle vittra sönder kommer buffertmassan att momentant belastas av kapseln som härvid kommer att sjunka. En fri spalt kan uppkomma närmast över kapseln och öppningar kan uppstå i överliggande massa i samband med härav orsakade oregelbundna eftersjunkningar. Denna olägenhet kan dock undvikas om kapslarna läggs upp på bearbetade bergblock.

Alternativet med inneslutning av kapslarna i behållare (lämpligen i industriell skala under kontrollerade förhållanden), förefaller att vara den lämpligaste tekniken. Två stadier måste beaktas:

1. Deponeringen av kapslar och buffertmassa i behållare med särskild hänsyn till de processer som på lång sikt kommer att äga rum.
2. Anbringande av behållare och buffertmassa

i tunnlarna med särskild hänsyn till det praktiska utförandet och till de processer som på lång sikt kommer att äga rum.

Det första stadiet är i allt väsentligt detsamma som vid deponering i plomberade borrhål i berg. Det finns emellertid en väsentlig skillnad och det är att behållaren utgörs av ett material som kan inverka på processerna i buffertmassan. Det andra stadiet är likartat det som gäller vid fyllning av tunnlarna efter plomberingen av hålen. Den stora skillnaden är dock att tekniken för anbringande av buffertmassan är betydligt omständligare och svårigheten att få massan homogen är avsevärt större än i fallet "plomberade borrhål i berg".

För att konkretisera resonemanget har vi valt att ge synpunkter i första hand på Concept 4.

3 BUFFERTMATERIALETS FUNKTION

a) Behållare med buffertsubstans och radioaktiva kapslar

De viktigaste kriterierna som rör buffertmaterialets funktion är:

1. Mekaniskt skydd vid eventuella mindre rörelser i berggrunden och hos behållarna.

Krav: Plastiskt icke-sprött beteende hos buffertmaterialet.

2. Förhindrande av fri cirkulation av grundvatten.

Krav: Låg permeabilitet hos buffertmateri-

alet. Homogen buffertmassa.

3. Jonadsorptionsförmåga hos buffertmaterialet.

Önskemål: Hög jonbyteskapacitet och lämplig jonbeläggning.

4. God värmeledningsförmåga för förhindrande av höga temperaturers uppkomst i buffertzonen.

Resultatet av utredningen som redovisas i rapporten KBS 1 ger enligt vår bedömning tillräckligt underlag för att i första hand pröva samma teknik och buffertmassa i behållarna som i borrhålen, dvs:

- Buffertmassan bör utgöras av 10 viktprocent Na-bentonit och 90% kvartsrikt material i kornstorleksområdet silt/sand.
- Massan packas in i behållaren i lufttorrt tillstånd. Hög lagringstäthet måste åstadkommas.

Själva deponeringen i behållarna bör kunna ske utan några svårigheter. Det förutsätter emellertid att man tar hänsyn till att buffertmassan endast tillåter begränsade laster. Vid en cirkulär basyta hos en kapsel med 1 m diameter är dock den största tillåtna lasten minst 30 ton då kapseln vilar på basytan. Underlaget för en noggrann beräkning av det tillåtna trycket ges i rapporten KBS 1. Vidare måste man beakta vad som kan inträffa sedan behållarna kommit på plats i tunnelsystemen och höga vattentryck kommer att verka. Om behållarna består av konventionell betong kommer vattnet att på kort tid tränga igenom betongen och tas upp i buffertmassan. Inuti behållarna kommer samma processer att äga rum som i de plomberade borrhålen. Ur mekanisk synpunkt kommer, som

visats i rapporten KBS 1, buffertmassan att uppfylla vår här givna kravspecifikation (pkt 1-4) om man antar att det material som behållaren utgörs av inte ger upphov till kemiska reaktioner med buffertmassan. Om behållarna utgörs av betong kan denna emellertid vittra och bilda en zon med kvarts, fältspater och glimmer om normalt bergartsmaterial kommer till användning vid betongtillverkningen. Vidare bildas bl a fria Ca-joner. Sannolikt ökar också pH. Betingelserna för och effekten av sådan vittring bör närmare utredas av betongsakkunniga. Vi vill ge följande synpunkter:

POSITIVA EFFEKTER: Om betongbehållarna vittrar kommer de att omvandlas till en relativt finkornig tät massa med plastiska egenskaper utan nämnvärd volymändring.

NEGATIVA EFFEKTER:

Om pH antar höga värden (>10) skapas möjlighet för omvandling av montmorillonit till zeoliten analcit om fria Na-joner finns i systemet. Den negativa verkan härav är liten eftersom Na-innehållet inte kan bli betydande annat än om havsvatten med oceanernas salinitet kan strömma in i anläggningen. Det kan omöjligen bli fallet om anläggningen förläggs i någorlunda tätt berg och anläggningen fylls med vatten så att hydrauliska gradienter inte existerar. Det bör påpekas att också analcit har jonbytande egenskaper.

Ca-joner kommer att tas upp av montmorilloniten som härvid ändrar sin mikrostrukturella (texturella) uppbyggnad med ökad permeabilitet och risk för cementering som följd. Cementeringen innebär att buffertmassan blir spröd och kan få sprickor som följd av temperaturspänningar, spänningsändringar eller deformationer.

Om behållarna är hårdarmerade kommer stålmängden

att ge upphov till fria järnjoner som kan leda till cementering i buffertmaterialet.

När det gäller de negativa effekternas betydelse måste man hålla i minnet den väsentliga frågan om vattenomsättningar i systemet. Är denna obetydlig fördröjs processerna avsevärt och kan rentav försummas. Erfarenheterna från praktiska försök i naturliga lerlager med att via jondiffusion (Ca-joner) från borrhål fyllda med lättlösliga föreningar åstadkomma jonbyte och därmed hållfasthetsökning är t ex negativa om det inte finns permeabla lager med strömmande grundvatten.

b) Tunnlar med buffertsubstans och behållare

Låt oss först se vad borrhålsdeponeringen respektive Concept 4 innebär i stort. Vid deponeringen i borrhål som utgår från tunnlar fungerar de plomberade hålen som behållare med obegränsad mekanisk och kemisk stabilitet om vi bortser från risken för förskjutningar i berggrunden, en risk som emellertid enligt vår mening helt kan elimineras genom att undvika potentiella rörelsezoner vid deponeringen. Vi bortser också från att plomberingarna av betong kan vittra och att deras förankringar kan korrodera, dels därför att man med speciell betong¹⁾ - och stålqualität kan få mycket stor livslängd, dels därför att man kan tillåta att plomberingen upphör att verka sedan hela tunnelsystemet är fyllt med svällande substans. Problemet med borrhålsdeponering är att skapa tillräckligt långa strömnings- och diffusionsvägar. Det löses genom att, som nämnts, fylla hela tunnelsystemet med svällande substans. För att få en säker funk-

¹⁾ Det rör sig ju här om mycket begränsade betongmängder.

tion kräver det anbringande av en homogen buffertmassa vilket är möjligt eftersom man kan arbeta snabbt i de fria tunnelutrymmena med stor maskininsats. I borrhålsalternativet vill vi se de plomberade hålen med sin relativt inerta buffertsubstans endast som en första spärr och tunnelsystemet med sin tät jonbytesaktiva substans som en andra spärr.

Concept 4-principen innebär att behållarna utgör en ur tidssynpunkt mindre varaktig spärr. Det kräver därför att tunnelsystemet måste utgöra en minst lika effektiv spärr som vid borrhålsdeponeringen. Det är här man kan se svårigheter. I princip bör man visserligen kunna använda samma buffertmassa och samma teknik som i tunnlar vid borrhålsdeponeringen, dvs en lufttorr massa av 20-50% bentonit och resten bergkross med silt/sand-fördelning. Problemet är emellertid att få denna massa på plats i tillräckligt homogen form i de trånga utrymmen som finns mellan behållarna och berget i Concept 4. Arbetet kan inte bedrivas snabbt och från berget tillströmmande vatten kommer därför att ställvis ge upphov till klumpbildning eller flyttillstånd hos massan. En alternativ lösning kan vara att först anbringa grovt grus eller makadam som kan fyllas effektivt för hand och sedan injektera Na-bentonit i suspensionsform i denna massa. Vi anser det dock osannolikt att homogeniteten hos massan kan bli så god som vid arbetet enligt borrhålsalternativet. "Betongskott" mellan varannan eller var tredje behållare kommer säkerligen att krävas vilken substans eller teknik man än använder. Bygger man dem redan vid införandet av behållarna i tunneln försvåras ett senare rationellt anbringande av buffertmassan starkt. Att bygga dem efter en "inspektionsperiod" ger å andra sidan betydande arbetstekniska problem.

Vår uppfattning är att tekniken med anbringande av buffertmassa i tunnlar med behållare måste analyseras

i detalj för att få full klarhet särskilt när det gäller lämpligaste sammansättning hos massan, möjligheten att injektera bentonitsuspension i makadam och tekniken för sektionsvis anbringande av massan.

4 ANALYS AV LAYOUTFÖRSLAG 77-05-05

Vi har bedömt det som angeläget att kommentera layoutförslaget med särskild hänsyn till buffertmaterialets funktion och till det arbetstekniska förfarandet.

MOMENT	KOMMENTARER
Sid 1 <u>Deponerings- förfarande</u>	Buffertisoleringens tjocklek är rimlig. Förfarandet invändningfritt.
Sid 3 <u>Tunnelsystemets utbredning och djup</u>	Invändningsfritt.
Sid 4 <u>Tunnelsystemets utformning och kapacitet</u>	Sektion för 2 behållare är lämpligt med hänsyn till arbetena vid förseglingen av tunnlarna. Se vidare kommentar till sid 8.
Sid 5 <u>Kommunikations- vägar</u>	Invändningsfritt
Sid 6	Praktiskt prov bör göras för att undersöka effekten av injektering i makadam med buffertmaterial i suspensionsform. Sannolikt är fyllnadsgraden dålig och man bör därför räkna med att makadamen måste avlägsnas före förseglingen.

MOMENT

KOMMENTARER

Sid 7 Ventilations-
vägar

Invändningsfritt

Sid 8 Förvarings-
tunnlarnas ut-
formning

Formen hos tunnlarerna bör väljas med hänsyn till rådande primärspänningsförhållande i berget. Sannolikt är dock en elliptisk form hos tvärsnittet (med plan botten) enligt ritn 12-303 användbar. Vi anser dock att bredden behöver ökas något (ca 1 à 1.5 m) för att man skall kunna anbringa buffertmassan utanför behållarna på ett effektivt sätt med packningsredskap ("padda").

Behållarna bör placeras på huggna bergblock av följande skäl. Buffertmassan kan, oavsett vilken lagringstäthet och fasthet den får, inte bära behållarna utan en momentan sjunkning av flera centimeter när stödfunktionen upphör. Om betongsulor används inträffar detta då betongen vitt-
rat. Denna sjunkning kan ge upphov till bildning av håligheter över behållarna. Öppningar - tillfälliga eller permanenta - i överliggande massa kan uppkomma i samband med härav orsakade oregelbundna eftersjunkningar.

Praktiskt prov bör göras för att undersöka effekten av injektering av makadamen med buffertmaterial

MOMENT

KOMMENTARER

-
- i suspensionsform. Sannolikt är fyllnadsgraden dålig och man bör därför räkna med att makadambädden avlägsnas och ersätts av buffertsubstans.
- Sid 9 Kommunikations- Invändningsfritt.
tunnlar och
schakt
- Sid 10 Serviceutrym- Invändningsfritt.
men i berg
- Sid 11 o 12. Förva- Resonemanget invändningsfritt.
ringsbehållare
- Beaktas måste att kapselns vikt ovillkorligen skall anpassas till den torra massans bärighet. Det betyder att kapselns basyta måste väljas med hänsyn till kapselvikt och till buffertmassans geotekniska egenskaper.
- Sid 13 o 14 Tran- Invändningsfritt utom betr pkt 6.
sport av för- Som nämnts inledningsvis i rap-
varingsbehåll- porten representerar behållarna
aren med buffertmassa en första spärrzon. Vi bedömer det som lika angeläget att låta tunnlarna utgöra en effektiv andra spärrzon i form av en tät kropp i berget med mycket låg permeabilitet och bättre jonbytande förmåga än vad behållarna med buffertmassa ger. Det kräver högre halt av aktiva mineral, lämpligen montmorillonit. Det är inte ute-

slutet att man kan få en acceptabel funktion genom att noga packa in makadam som härefter injekteras med en flytande massa av sand och bentonit. Det är emellertid enligt vår mening inte troligt att man får en fullständig utfyllnad av makadamens porsystem. Vidare har vi uppfattningen att det finns risk för att finpartiklarna sedimenterar (alt att finmaterialet konsoliderar under egentyngd) i makadamens porsystem och härigenom ger upphov till en hög permeabilitet hos massan. Att packa in en lufttorr massa av 20-50 viktprocent bentonit och resten kvartsrik silt/sand/grus bör garantera en betydligt bättre tät-
het. Dessutom vinner man att det svällningstryck (ca 100-300 kPa) som uppstår då denna massa tar upp vatten ger en fullständig utfyllnad av tunnelutrymmena. Svällningstrycket leder också till att buffertmassan tenderar att pressas in i öppna sprickor och att ytliga delar av tunnelväggar, tak och golv som förskjutits något i riktning mot tunnelcentrum i samband med utsprängningen pressas in mot berget.

Sid 15 Försegling

Vi vill understryka risken med inpumpning med en flytande buffertmassa. Upphängning av inpumpad massa med endast partiell

utfyllning av utrymmena som följd kan t ex ske. Det är därför angeläget att i första hand söka utveckla en teknik för inblåsning av torr buffertmassa (med användning t ex av en flyttbar skärmvägg) för den översta delen av tunnlarna. Om flytande buffertmassa måste användas bör så liten del som möjligt av tunnelvolymen fyllas med sådan massa.

Sid 16

Vi anser att samtliga kommunikationstunnlar och schakt bör fyllas med så tät massa som möjligt till minst 50 m över översta tunneletaget ("tätkroppresonemanget"). Här bör därför samma massa som i deponerings-tunnlarna komma till användning. Över denna nivå kan man däremot använda en massa på vilken man ställer betydligt lägre krav på jonbytande och värmeledande förmåga.

Sid 17 Grundvatten-
dränering

Invändningsfritt.

5 SLUTSATSER OCH KOMMENTARER

Som påpekats i flera sammanhang i denna rapport bedömer vi tekniken med deponering i borrhål som överlägsen alternativet med deponering i behållare som anbringas i tunnlar. Detta beror dels på att betong, som kan ha en negativ effekt när det gäller buffertmassans plastiska egenskaper och kemiska stabilitet, kommer till användning i avsevärt större omfattning i behållaralternativet (Concept 4), dels på svårigheten att åstadkomma en homogen buffertmassa i tunnarna i detta alternativ. Det enda tillräckligt starka skälet för att likväl välja alternativet med behållare är att man vid stora kapseldimensioner (1 m diameter, längd 5 eller mer) gör följande vinster:

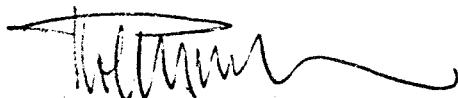
- Tunneldimensionerna kan väljas mindre än vid borrhålsdeponering.
- Vissa spänningskoncentrationer som uppstår vid utsprängning av (eller på annat sätt åstadkomna) stora schakt undviks.
- Hanteringen av tunga kapslar (20-30 ton) sker lättare.

Vi bedömer emellertid alternativet med behållare (med beaktande av i denna rapport framförda synpunkter) som tekniskt möjligt och ur säkerhetssynpunkt acceptabelt. Hela frågan om hur buffertsubstansen skall anbringas i tunnarna måste dock göras till föremål för ytterligare utredning. Vi föreslår bl a en undersökning av möjligheten att med någon tillsats av vatten till den lufttorra buffertmassan frysa denna i blockform. Åtminstone en del av fyllningen i tunnarna (t ex i utrymmet närmast tunneltak) skulle då lätt kunna anbringas. Tillkapning och passning av block bör ske på plats i tunnarna. Frysningstationen, som placeras i anslutning till

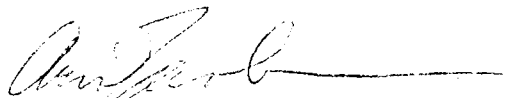
deponeringstunnlarna, görs mobil.

Om det visar sig att kapslar med mindre dimensioner, t ex 0.3-0.5 m diameter och en längd av 3 m, kan komma till användning förordar vi borrhålsdeponering.

Luleå 1977-05-31



Roland Pusch



Arvid Jacobsson

Förteckning över tekniska rapporter

01. Källstyrkor i utbränt bränsle och högaktivt avfall från en PWR beräknade med ORIGEN
Nils Kjellbert
AB Atomenergi 77-04-05
02. PM angående värmeledningstal hos Jordmaterial
Sven Knutsson och Roland Pusch
Högskolan i Luleå 77-04-15
03. Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans
A Jacobsson och R Pusch
Högskolan i Luleå 77-05-27
04. Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsubstans
A Jacobsson, R Pusch
Högskolan i Luleå 77-06-01
05. Orienterande temperaturberäkningar för slutförvaring i berg av radioaktivt avfall
Roland Blomqvist
AB Atomenergi 77-03-17
06. Groundwater movements around a repository,
Phase 1, State of the art and detailed study plan
Ulf Lindblom
Hagconsult AB 77-02-28
07. Resteffekt för KBS del 1
Litteraturgenomgång Del 2 Beräkningar
K Ekberg, N Kjellbert, G Olsson
AB Atomenergi 77-04-19

08. Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt
glas med högaktivt avfall
Göran Blomqvist
AB Atomenergi 77-05-20
09. Diffusion of soluble materials in a fluid filling
a porous medium
Hans Häggblom
AB Atomenergi 77-03-24