

Främmande material i bentonit

Rolf Sjöblom

ÅF-Energikonsult Stockholm AB

Juni 1998

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864
SE-102 40 Stockholm Sweden
Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00
Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



Främmande material i bentonit

Rolf Sjöblom

ÅF-Energikonsult Stockholm AB

Juni 1998

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

SAMMANFATTNING

Främmande ämnen kan komma att introduceras i slutförvaret genom att de ingår som föroreningar i bentonitbufferten. Vissa av dessa kan tänkas påverka förvarets funktion. En litteraturgenomgång har därför utförts avseende dels utvinning och hantering av bentonit, dels sammansättning hos ingående material. De litteraturuppgifter som påträffats har analyserats och bedömts utifrån dels det förorenande ämnets potential för att påverka förvarets funktion, dels med hänsyn till tänkbar halt och totalmängd.

Utvinning och hantering av bentonit avser nuvarande hantering samt tänkbar framtida hantering. Den senare är baserad dels på kännedom om vissa relevanta befintliga anläggningar, dels på SKB:s program och planer för slutförvaringen.

Inventeringen av material innefattar kortfattade beskrivningar av kemisk sammansättning hos naturligt organiskt material, aska och sot, smörjmedel, hydraulolja och havsvatten.

Förekomst av främmande ämnen i bentonit beskrivs i form av räkneexempel. De antaganden som görs i dessa exempel avser tänkbara förhållanden, det vill säga antagandena skall inte stå i strid med nu kända fakta och omständigheter.

Halterna föroreningar och främmande ämnen kan i de flesta fall påverkas kraftigt genom olika åtgärder. Olika möjligheter till att begränsa dessa halter redovisas också.

Antagandena och räkneexemplen avser följande kombinationer:

Utvinning	Förekomst av och kontamination med humus
	Läckage av smörjolja och smörjfetter
Sjötransport	Inläckage av havsvatten
	Nedbrytning av organiskt material samt pyrit
	Läckage av hydraulolja från frontlastare
Behandling	Sotbildning i samband med torkning
	Tillförsel av smörjmedel i samband med pressning
I slutförvaret före förslutning	Nedbrytning av organiskt material

EXECUTIVE SUMMARY

Foreign substances may become introduced into the repository if they are present as impurities in the bentonite. In some cases, such substances might affect the functioning of the repository. Therefore, a literature study has been conducted regarding mining and handling of bentonite and regarding the chemical composition of different substances which might become introduced during the different steps of handling and treatment. The information found has been compiled and analysed with respect to the potential for modification of the functioning of the repository by addition of the foreign substance as well as with regard to possible content.

The compilation regarding mining and handling of bentonite includes present mining and handling as well as foreseeable future handling and treatment. In the latter case, realism has been introduced by utilising knowledge about relevant existing plants together with SKB's programs and plans for the repository.

The compilation of substances include brief descriptions of chemical composition of natural organic material, ash and soot, lubricants, hydraulic fluids and seawater.

Occurrence of foreign substances in bentonite is described in terms of examples. The assumptions made in these examples refer to conceivable circumstances, that is, the assumptions must not be contradictory in relation to presently known facts and circumstances.

The content of impurities and foreign substances is in most cases very sensitive to the practices used in the different handling steps. Different possibilities to limit such contents are also presented.

The assumptions and examples include the following combinations:

Mining	Humic substances, original presence and contamination
	Leakage of lubricants
Sea transport	Introduction of seawater
	Decomposition of organic matter and pyrite
	Leakage of hydraulic fluid from vehicle
Treatment	Formation of soot during the drying operation
	Addition of lubricant during compaction
In the repository before closure	Decomposition of organic matter

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sida
SAMMANFATTNING	ii
EXECUTIVE SUMARY	iii
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	iv
1 BAKGRUND SYFTE OCH OMFATTNING	1
2 BUFFERTEN OCH ÄMNEN SOM KAN PÅVERKA DEN	2
2.1 Bentonitens sammansättning	4
3 UTVINNING OCH HANTERING AV BENTONIT	6
3.1 Nuvarande hantering	7
3.2 Möjlig framtida hantering	9
3.3 Tänkbar introduktion av främmande ämnen till bentoniten	10
3.4 Mikrobiell aktivitet	12
3.5 Främmande ämnen i relation till moment i hanteringen	14
4 INVENTERING AV MATERIAL	16
4.1 Pyrit	16
4.2 Naturligt organiskt material	16
4.3 Aska och sot	16
4.4 Smörjolja och smörjfetter	17
4.5 Hydraulolja	18
4.6 Havsvatten	18
5 ANTAGANDEN OM FRÄMMANDE MATERIAL I BENTONIT	20
5.1 Brytning	20
5.2 Lufttorkning vid fyndigheten	21
5.3 Sjötransport	22
5.4 Övriga transporter och lagring	24
5.5 Torkning i torkugn	24
5.6 Pressning av block	26
5.7 I djupförvaret före förslutning	26
5.8 Främmande ämnen i bufferten då djupförvaret stängs	26
6 REFERENSER	30

Enligt KBS-3 metoden, som är SKB:s referenssystem, skall det använda kärnbränslet deponeras i kapslar av stål och koppar på ca 500 meters djup i svenskt kristallint urberg. Kapslarna placeras i särskilt borrade deponeringshål med kompakterad bentonit i utrymmet mellan kapslen och berget. Hålens diameter är ca 1,75 meter och bentonitlagrets tjocklek ca 0,35 meter. Tunnlarna återfylls med en blandning av ballast och bentonit.

Främmande ämnen kan komma att introduceras i slutförvaret genom att de ingår som föroreningar i bentonitbufferten. Vissa sådana ämnen kan tänkas ha betydelse för förvarets funktion. Syftet med denna rapport är att skatta halterna av sådana ämnen som ett preliminärt underlag för SKB:s säkerhetsanalyser. Skattningarna baserar sig på idag tillgänglig information om brytning och hantering av bentoniten.

Idag tillgängliga uppgifter i litteraturen om utvinning och hantering samt sammansättning hos tänkbara föroreningar är endast tillräckliga för att göra en relativt grov uppskattning av halterna främmande material. Tanken är att denna första, grova, inventering skall tjäna som ett underlag för analyser av föroreningarnas betydelse för djupförvarets funktion och säkerhet. Funktions- och säkerhetsanalysens resultat kan sedan i kombination med genomgångens olika steg användas för att formulera krav bland annat på själva hanteringen, kvalitetssäkringsåtgärder och accepterade föroreningshalter.

I denna första inventering kvantifieras föroreningshalterna genom antaganden och räkneexempel. Dessa är verklighetsanknutna på så sätt att de anger tänkbara förhållanden, det vill säga de får inte strida mot nu kända fakta och omständigheter. För att skapa en uppfattning om potentialen hos vissa källor till föroreningar ges i många fall pessimistiska uppskattningar.

I den framtida hanteringen finns stora möjligheter till åtgärder för att minska föroreningshalterna. Hanteringssättet kan ändras, kontaminerande ämnen kan bytas ut mot andra med liknande verkan men med en mindre ogynnsam sammansättning, och så vidare. Viktiga motåtgärder inkluderar även provning, kontroll och kvalitetssäkring. Några tänkbara motåtgärder diskuteras också i det följande.

Det material som kommer fram analyseras och bedöms med hänsyn till det förorenande ämnets potential för att påverka förvarets funktion, samt tänkbar halt och totalmängd av ämnet i fråga.

I vissa fall kan ämnen som finns i bentoniten förändras till följd av hanteringen. Ett exempel på detta kan vara mikrobiell tillväxt som innebär oxidation av pyrit som finns naturligt i bentonit. Sådana aspekter ingår i analysen nedan.

Vissa typer av förändringar kan tänkas uppkomma efter det att bentoniten placerats i deponeringshålet men före förslutningen. Denna typ av förändringar ingår inte i genomgången nedan.

Detaljeringsgraden i underlaget, liksom möjligheterna att över huvud taget få fram tillförlitliga uppgifter, varierar kraftigt mellan olika områden av intresse. I de flesta fall finns en omfattande och detaljerad litteratur beträffande kemisk sammansättning hos de typer av ämnen som kan ingå i bentoniten. Däremot är uppgifterna om utvinning och hantering av bentonit sparsamma. Det föreligger också skilda förutsättningar när det gäller att beskriva system som är i drift och sådana som planeras.

Rapporten har givits följande uppläggning. Först redovisas *buffertens funktion, tänkbar påverkan samt ämnen av intresse*. Därefter redogörs för *utvinning och hantering av bentonit samt inventering och beskrivning av främmande material*. Slutligen redovisas *skattningar av främmande material i bentonit*.

Buffertens funktion i slutförvaret styrs [3] av följande mätbara egenskaper hos bentoniten:

- vattenhalt
- hydraulisk konduktivitet
- svälltryck
- svällförmåga
- skjuvhållfasthet
- reologiska egenskaper
- porvolym
- diffusions- och sorptionsegenskaper
- termisk ledningsförmåga
- kemisk sammansättning

Omfattande insatser har utförts och pågår för att säkerställa att bufferten kan ges de egenskaper som erfordras [3]. Kunskapsläget finns bland annat sammanställt i *Bentonithandboken* del 1 [4] och del 2 [5]. Kunskapen om bentonitbuffertens egenskaper utnyttjas även för analys av slutförvarets funktion och säkerhet [3].

Mot denna bakgrund bedöms följande företeelser kunna vara av intresse:

- Gasbildning kan tänkas påverka flera av buffertens egenskaper. Gasbildning kan uppkomma till följd av mikrobiell nedbrytning av naturligt eller syntetiskt organiskt material.
- Bentonitens svällningsegenskaper kan påverkas om bentoniten skulle försättas med salt.
- Naturligt eller syntetiskt organiskt material kan - eventuellt efter partiell nedbrytning - tänkas påverka korrosionen av kopparkapseln genom att komplex med koppar bildas.
- Naturligt eller syntetiskt organiskt material kan - eventuellt efter partiell nedbrytning - bilda komplex med vissa radionuklider vilket kan påverka migrationen av radionuklider genom buffert och berg.
- Ändring av pH och även redoxpotential i bentoniten kan - åtminstone i princip - påverka ett flertal egenskaper. Ändring av pH kan uppstå till följd av oxidation av pyrit eller oxidation av naturligt eller syntetiskt organiskt material.

Mot denna bakgrund har följande typer av främmande ämnen bedömts vara av intresse:

- Pyrit (FeS_2) och dess nedbrytningsprodukter
- Naturligt organiskt material
- Aska och sot
- Smörjolja och smörjfetter
- Hydraulolja
- Havsvatten

2.1 Bentonitens sammansättning

Rapporten utgår från MX-80 som är SKB:s referensmaterial för bufferten [37]. MX-80 levereras av Volclay i England via Askania i Sverige. En totalanalys av MX-80 redovisas i Tabell 2-1.

Tabell 2-1. Totalanalys av MX-80-bentonit (utförd av ABB-ATOM) [2].

Ämne	Viktsprocent
Glödgningsförlust 950°C*	12,3
SiO_2	63,0
Al_2O_3	16,1
Fe_2O_3	3,0
CaO	1,1
MgO	1,6
Na_2O	2,2
K_2O	0,48
Li_2O	<0,01
MnO	0,03
TiO_2	0,10
F	0,10
Cl	<0,01
Cu	<0,01
Zn	0,01
Cr	<0,01
Ni	<0,01
AsO_4	0,01
NO_3	ej påvisbart
PO_4	0,060
S^{**}	0,23; 0,27
varav i sulfider	0,10; 0,13

*) Vid analysen hettas materialet upp varvid vissa ämnen t ex vatten och organiskt material förloras.

**) Den kemiska analysen har kompletterats med bestämning av svavel, sulfid och sulfatinnehåll. Flera uppgifter uppges i [2]. 0,23 och 0,27 avser totalsvavel, medan halten svavel i sulfider uppges till 0,10 - 0,13 uppmätt på bentonit i leveranstillstånd.

Enligt [7] som i sin tur förlitar sig på [15] har MX-80 en mineralsammansättning som framgår av Tabell 2-2.

Tabell 2-2. Mineralsammansättning hos MX-80.

Mineral	Viktsprocent
Montmorillonit	75
Kvarts	15
Fältspat	5-8
Karbonat	1,4
Glimmer	<1
Kaolinit	<1
Pyrit	0,3
Organiskt kol	0,4
Övrigt	2

Halten organiskt material i Tabell 2-2 är betydligt högre än de 475 - 750 ppm som anges i [5]. En tänkbar förklaring till skillnaden är att halten organiskt material varierar beroende på naturliga variationer samt varierande grad av kontamination med jord i samband med brytningen. Denna förklaring får ett visst stöd av den omständigheten att den elektronspinresonanslinje som observerats i [14] (se sidan 341) stämmer väl med vad man skulle förvänta sig för humusämnen [16] (se sidan 13).

MX-80 består av en naturlig bentonitlera från Wyoming som torkats och krossats. Sammansättningen i Tabell 2-1 och 2 gäller den levererade produkten. I följande avsnitt redovisas idag tillgänglig information om brytning och hantering av MX-80. Vidare skisseras en tänkt framtida hantering av bentoniten. För de olika hanteringsstegen diskuteras vilka främmande ämnen som kan tillföras, och halter skattas. Dessutom diskuteras hur halterna kan förändras under hanteringen.

Utvinning och hantering av bentonit behandlas nedan i två olika avsnitt: *nuvarande hantering* och *möjlig framtida hantering*. En översikt över de nuvarande och möjliga framtida hanteringssteg redovisas i Tabell 3-1.

Tabell 3-1. Översikt över nuvarande och möjliga framtida hanteringssteg. Hanteringsstegen inom dubbla linjer avser anläggningar som inte finns i dag eller som inte används på detta sätt i dag.

Nuvarande hantering	Möjlig framtida hantering
Brytning i dagbrott	Brytning i dagbrott
Lufttorkning i dagbrottet	Lufttorkning i dagbrottet
Transport till behandlingsanläggning i närheten	Transport till behandlingsanläggning i närheten
Grovkrossning till < ca 50 mm	Grovkrossning till < ca 50 mm
Torkning i t ex roterugn	
Finkrossning	
Mellanlagring, fri uppläggning under tak	Mellanlagring
Transport till hamn, samt ev. lagring vid hamn (uppgifter om detta hanteringssteg saknas)	Transport till hamn, samt ev. lagring vid hamn (uppgifter om detta hanteringssteg saknas)
Transport i bulkfartyg till depå i England	Transport i bulkfartyg till depå i Sverige
Mellanlagring, fri uppläggning under tak	Mellanlagring, fri uppläggning under tak
Förpackning till säckar eller storsäck ¹	
Transport och leverans till kund i Sverige	Järnvägstransport i bulk till behandlingsanläggning i närheten av slutförvaret
	Torkning i t ex roterugn
	Finkrossning
	Mellanlagring i silo
	Befuktning i blandare
	Buffertlagring samt ”mognande” i storsäck ¹
	Pressning
	Buffertlagring av pressade block
	Inplacering i slutförvaret

¹ Med *storsäck* avses stora armerade plastsäckar som rymmer storleksordningen ett ton och som i stor utsträckning används inom industrin för hantering av pulverformigt eller granulerat material.

Processstegen kompaktering och hantering av block utförs förnärvarande inte i rutinmässig produktion. Den framtida hanteringen kan komma att påverkas av den årligen hanterade mängden samt möjligheter att kontrollera och kvalitetssäkra produktionen.

3.1 Nuvarande hantering

Förekomst av bentonit i världen finns beskrivet bland annat i [4, 9-14]. I denna rapport diskuteras enbart SKB:s referenskvalitet [37] vilken benämns MX-80 och som levereras av Volclay i England via Askania i Sverige. MX-80 utvinns av det amerikanska bolaget Colloid Environmental Technologies Company (CETCO) som är ett dotterbolag till American Colloid Company (ACC). [13]

CETCO är den största enskilda producenten av bentonit och bentonitprodukter i Nordamerika. ACC driver sex anläggningar i vilka man bryter och processar bentonit. Dessa är belägna i Belle Fourche i South Dakota samt i Colony (2 anläggningar), Upton (2 anläggningar) och Lowell i Wyoming. Bentonitprodukter innehållande obehandlad bentonit produceras i anläggningarna Colony West och Colony East. [13]

De största fyndigheterna i världen av natriumbentonit, och de som har den högsta kvaliteten, finns i South Dakota, Wyoming och Montana i nordvästra USA [9]. Endast vissa av fyndigheterna i detta område har ren natriumbentonit [12,14]. Natriumbentoniten förekommer i horisontella lager med en mäktighet på vanligen 0,5 - 2 meter och upp till 4 meter. [9,14]

De huvudsakliga stegen i nuvarande utvinning, behandling och hantering sammanfattas i Tabell 3-1.

Brytningen sker ungefär på följande sätt. [9,12] Täcksikt över bentonitlagret forslas bort med hjälp av schaktmaskiner och läggs upp på ett intilliggande område där bentoniten brutits vid ett tidigare tillfälle. Tjockleken hos täcksikt kan variera avsevärt, i de flesta fall är det upp till 10 meter tjockt [9]. Bentoniten bryts med frontlastare eller speciella skopor som dras med wire.

I [9] anges nybruten bentonit hålla en fukthalt på cirka 30 procent, det stämmer relativt väl med vad som uppges i [10]. Enligt den senare referensen försöker gruvbolagen, där så är möjligt, att reducera fukthalten genom att låta den uppluckrade bentoniten ligga ute i det fria för att torka, vilket kallas "farming". Området är mycket torrt och har en årlig nederbörd på endast 180 millimeter. I begreppet "farming" ingår även att bentoniten då och då bearbetas och vänds. I många fall lyckas man på detta sätt reducera fukthalten med cirka 10 - 15 procent till 10 - 15 procent.

Den råvara som skall bli MX-80 transporteras till de näraliggande anläggningarna Colony West alternativt Colony East [13]. I Colony West sker brytning och där finns bland annat utrustning för malning, två roterugnar för torkning samt en lagringskapacitet som uppgår till 1800 ton [13] (vilket är förvånansvärt lite). I Colony East finns också utrustning för malning samt en annan typ av torkutrustning som kan utnyttja naturgas eller kol. Torkutrustningen baserar sig på att gas passerar genom en så kallad fluidiserad bädd². Här finns en upplagskapacitet på 2 280 ton för finmalet material (mindre än 200 mesh, det vill säga mindre än cirka 0,1 millimeter) och på 720 ton för material som innehåller grövre korn.

Vid eldning med olja blir askhalten låg. Sot kan dock bildas såväl vid eldning med olja som med kol. Sotbildningen är dock vanligen högre i samband med förbränning med kol.

Både olja och kol kan innehålla svavel vilket kan ge upphov till bildning av gips, kalciumsulfat. Vid förbränning av kol finns normalt kalcium i askan. Om förbränningsprocessen sker på ett sådant sätt att detta innehåll av kalcium är tillgängligt när rökgasen kyls kan det reagera med bildad svaveltrioxid och bilda gips. Detta villkor är uppfyllt vid torkning av bentonit i roterugn. Vid eldning med olja som innehåller svavel kan den bildade svaveltrioxiden tänkas reagera med kalcium i bentoniten, varvid gips kan bildas även i detta fall.

Referens [9] anger att kol används i de allra flesta fall för torkningsprocessen och att sofistikerad utrustning³ installerats för att minska stoftutsläppen.

I anläggningarna blandas lämpliga poster av råbentonit och tillförs en torkugn i vilken fukthalten reduceras till högst ca 12 procent [1]. Därefter sker malning till önskad kornstorleksfördelning och eventuellt förpackning i säck.

Bentonit av kvalitet MX-80 förpackas i säck men kan också levereras i bulk. Den MX-80 som levereras i Europa har i de flesta fall transporterats över Atlanten i bulkfartyg. Dessa går några gånger om året från de stora sjöarna i USA till England och för med sig en last på storleksordningen 10 000 - 15 000 ton vardera. Lastning sker med bandtransport och avlastning med kran och skopa. Mot slutet används schaktmaskin i lastrummet.

Förpackning i papperssäck sker i England och distributionen sker sedan på lastpall med lastbil.

² Med *fluidiserande bädd* avses följande. Gas leds in underifrån genom ett stort antal munstycken till en torkkammare. De partiklar som skall torkas sönderdelas till lämplig storlek och förs in i torkkammaren. Gasflöde och partikelstorlek är avpassade så att sjunkhastigheten hos partiklarna i det uppåtgående gasflödet med måttlig marginal överstiger medelflödeshastigheten hos gasen. Arrangemanget innebär att partiklarna hela tiden effektivt kringspolas med gas samt blandas om.

³ Bagfilter och elektrostatiska filter.

3.2 Möjlig framtida hantering

För beskrivningen av den planerade hanteringen kan det vara av värde att utgå från befintlig liknande hantering. I det följande utnyttjas därför kännedom om utformningen av följande anläggningar:

- LKAB:s anläggning i Luleå för hantering och malning av cirka 100 000 ton bentonit per år
- Ifö Ceramics' anläggning i Bromölla för hantering av pulver och pressade kroppar samt isostatisk kompaktering av pulver till stora kroppar
- Hydrowelds anläggning i Ystad för pressning av stora föremål

Vidare utnyttjas som referensmaterial Finn Jonssons konstruktion av ett enaxligt pressdon för pressning av bentonitringar och bentonitskivor till full diameter samt SKB:s planer för hantering av bentonit i slutförvaret [3].

Även om en viss verklighetsbakgrund föreligger bör ändå nedanstående beskrivning betraktas som hypotetisk.

Vid fyndigheten i Wyoming bryts bentoniten samt krossas till bitar med en största dimension av cirka 50 millimeter. Efter förtorkning, s k "farming", fraktas bentoniten med järnväg till de stora sjöarna. Därifrån transporteras den till Sverige med båt. I anslutning till den svenska hamnen finns ett upplag under tak med utrymme för en båtslast.

Vid full drift i slutförvaret kan man anta att ca 400 kapslar deponeras per år [3]. Åtgången av bentonit kan uppskattas till cirka 10 kubikmeter per deponeringshål och ungefär lika mycket för motsvarande volym återfyllnad⁴ i tunneln ovanför [17]. Bentoniten i återfyllnaden (pulver) har en densitet på drygt 1 ton/m³ medan de kompakterade blocken som omger kapseln har en densitet på cirka 2 ton/m³. Totalt kan därför ca 12 000 - 13 000 ton, eller en båtslast, förväntas gå åt per år.

Upplaget antas bestå av en betongplatta med en långsträckt byggnad över. Vid påfyllning antas bentoniten fyllas på högen från taknocken. Vid borttagning antas den föras bort med frontlastare som lastar direkt på järnvägsvagnar utformade för bulklast av icke dammande material. Lasten är dock skyddad mot regn. Sättet att hantera materialet har betydelse för hur inhomogeniteter kan jämnas ut under hanteringen.

Järnvägsvagnarna töms till ett mindre upplag under tak vid slutförvaret. Därifrån förs materialet via bandtransportörer till en roterugn i vilken torkning sker. Roterugnen antas eldas med kol.

Det torkade materialet finkrossas. Den grövre fraktionen av det finkrossade materialet skiljs ifrån med hjälp av en cyklon. Finfraktionen återfuktas och

⁴ D v s totala volymen återfyllnad dividerad med totala antalet deponeringshål.

återförs till torkugnen tillsammans med obehandlat material. Den grövre fraktionen (största dimension ca 0,2 mm) förs till silo för mellanlagring. Någon dag före pressningen tas en lämplig mängd ut från silon och doseras till en blandare⁵ i vilken slutjustering av fukthalten sker. Pulvret får sedan mogna⁶ i storsäck⁷ som därefter töms i den lilla silo som finns i anslutning till pressen.

Pressverktyget smörjs före påfyllningen av pulver. Pressverktyget fylls från den lilla silon med hjälp av en särskild påfyllningsanordning som bland annat säkerställer att pulvret fylls på ett likartat sätt över hela volymen samt att ytan blir jämn. Före pressning sker evakuering av bentonitpulvrets luftinnehåll. Pressning sker till ett högsta tryck av cirka 100 MPa under cirka 10 minuter.

Efter pressningen trycks det färdiga blocket ut ur pressverktygets cylinder. Det färdiga blocket hanteras med hjälp av ett lyftdon med sugkoppar. Det ställs på en särskild lastpall och plastas in för att skyddas mot uttorkning och nedsmutsning. I detta skick antas ringar och skivor av bentonit kunna lagras (frostfritt) under flera månaders tid innan de placeras i deponeringshålet.

Den fortsatta hanteringen beror av val av deponeringsmetod. I det följande antas deponering enligt KBS-3 metoden så som den beskrivs i Referens [17]. Botten samt några av ringarna av bentonit sätts på plats i deponeringshålet varefter kapseln firas ner med hjälp av en särskild deponeringsmaskin. Slutligen läggs översta ringen samt de övre skivorna på plats. Hanteringen i slutförvaret sker med hjälp av hydrauliska system.

3.3 Tänkbar introduktion av främmande ämnen till bentoniten

Den framtida hantering som skisserats i avsnitt 3.2, och sammanfattats i Tabell 3-1, ger tillsammans med tillgängliga uppgifter om nuvarande hantering, förutsättningarna för skattningen av halterna främmande ämnen i bentoniten. De analyser av bentonitens sammansättning som redovisas i tabell 2-1 och 2 är utförda på den levererade produkten MX-80. De omfattar således föroreningar som tillförts under den nuvarande hanteringen (se Tabell 3-1).

⁵ Blandaren kan vara av typ Forbergblandare som är konstruerad för att blanda olika pulverformiga material. I föreliggande fall utnyttjas dock i första hand möjligheten att försätta bentoniten med vatten på ett kontrollerat sätt och så att fukten blir jämnt fördelad.

⁶ Det kan antas att pulvrets egenskaper förändras med tiden, vilket dock inte undersökts. Det är tänkbart att det tar en viss tid för fukten att tränga in i de större kornen. Att utforma processen så att befuktat material alltid behöver gå direkt in i pressen kan vara opraktiskt. Å andra sidan kan man vilja undvika att ha alltför stora variationer i det material som går in i pressen. Ett sätt att både kunna ha en viss buffert mellan blandare och press och tillräckligt konstanta egenskaper hos pressmassan kan vara att föreskriva att lagringstiden bör ligga i ett visst intervall. Detta väljs lämpligen på ett sådant sätt att inga större förändringar inträffar i pulvret mellan kortaste och längsta acceptabla tid.

⁷ Se fotnot 1.

En sammanställning över tänkbara möjligheter till kontamination ges i Tabell 3-2. I tabellen redovisas även vid vilka processteg som omblandning av materialet sker. Omblandning är av intresse eftersom den leder till utspridning av eventuell avgränsad kontamination. En detaljerad genomgång återfinns i avsnitt 5.

Tabell 3-2. Tänkbara möjligheter till kontamination av bentoniten i samband med de olika processteg som ingår i en möjlig framtida hantering. I sammanställningen redovisas även vid vilka processteg som omblandning av materialet sker (kursivt).

Möjlig framtida hantering	Tänkbar kontamination
Brytning i dagbrott	Humus från täckskiktet
Lufttorkning i dagbrottet	Smörjmedel från fordon
Transport till behandlingsanläggning i närheten	<i>Omblandning av material</i>
Grovkrossning till < ca 50 mm	<i>Omblandning av material</i>
Mellanlagring, fri uppläggning utomhus	<i>Omblandning av material</i>
Transport i bulkfartyg till depå i Sverige	Inläckage av saltvatten Hydraulolja från fordon
Mellanlagring, fri uppläggning under tak	<i>Omblandning av material</i>
Järnvägstransport i bulk till behandlingsanläggning i närheten av slutförvaret	<i>Omblandning av material</i>
Torkning i t ex roterugn	Sot från brännaren Oxidation av pyrit till sulfat Förlust av organiskt material <i>Omblandning av material</i>
Finkrossning	<i>Omblandning av material</i>
Mellanlagring i silo	<i>Omblandning av material</i>
Befuktning i blandare	<i>Omblandning av material</i>
Buffertlagring samt ”mognande” i storsäck ¹	
Pressning	Smörjmedel för pressverktyget
Buffertlagring av pressade block	
Inplacering i slutförvaret	

Såväl pyrit som humus förekommer naturligt i bentonit. Humus ingår även i det täckskikt som finns över bentoniten och kan i vissa fall (till exempel i ytnära lerlager) förväntas föreligga i högre halt. I samband med brytningen skall täckskikt och bentonit separeras men separationen blir kanske inte fullständig.

I samband med brytningen torkas materialet i själva dagbrottet. För att underlätta uttorkningen vänds det några gånger under sommarsäsongen. Denna operation utförs med fordon som kan läcka smörjmedel och bränsle.

Under båttransporten kan inläckage av havsvatten förekomma. Tillförsel av havsvatten med sitt innehåll av lösta salter kan innebära att svällningsegenskaperna ändras.

I samband med lastning men framför allt vid lossning av transportfartyget kan läckage av smörjmedel, drivmedel och hydraulolja förekomma. Läckage av smörjoljor, smörjfetter och hydrauloljor kan även förekomma i samband med brytning, malning, hantering, transport, pressning och deponering. Missöden med stora läckage kan ge förhöjda halter. Sannolikheten för detta bedöms vara mycket liten. Vid hanteringen av bentonitblocken efter pressning bedöms sannolikheten för stora läckage vara ännu mindre varför fallet inte tas upp i denna rapport. (Föroreningar som tillförs under driften av slutförvaret tas upp i en separat rapport).

Vid torkningen i roterugnen kan kontamination förekomma genom sot från brännaren. Förändringar i bentonitens sammansättning kan också uppkomma genom oxidation av pyrit varvid svaveloxider bildas. Svaveloxider kan också tillföras genom det svavel som ingår i bränslet. Svaveldioxid antas inte absorberas medan svaveltrioxid antas bilda kalciumsulfat (gips). Vid torkningen sker även en viss förlust av organiskt material.

Om kompakteringen sker genom enaxlig pressning fordras sannolikt smörjning av pressverktyget. Detta smörjmedel absorberas sannolikt till bentoniten.

Omblandning sker i samband med lastning och transport till behandlingsanläggningen i Wyoming samt vid grovkrossningen där. På sin väg till djupförvaret blandas bentoniten om i samband med lossningen av fartyget, uppläggnings i lager vid hamnen, lastningen och lossningen av järnvägsvagnar samt vid uppläggnings i anslutning till djupförvaret. Omblandning av material sker även i samband med torkning i ugn, finkrossning, mellanlagring i silo och befuktning i blandare.

Den effektivaste omblandningen sker kanske i samband med att materialet läggs på hög eftersom detta sannolikt sker genom tillförsel från toppen varvid material rasar nedför sidorna.

3.4 Mikrobiell aktivitet

Mikrobiell aktivitet har betydelse såväl för bentonitens "ursprungliga" innehåll av ämnen som pyrit, sulfat, järn-II i förhållande till järn-III samt för humusinnehållet och dennas kemiska uppbyggnad. Vissa reaktioner, t ex

oxidation av tvåvärt järn till trevärt, kan även tänkas ske utan medverkan av mikroorganismer.

Om bentoniten kommer i kontakt med luft sker vittring. Denna består i att järn delvis oxideras till trevärt. Pyrit oxideras till sulfat vilket innebär tillförsel av sura ämnen.

Den kemiska uppbyggnaden hos humusen i bentonit är okänd. Den humus som finns i själva lertäkten kan mot bakgrund av bentonitens höga ålder antas vara kraftigt omvandlad. Det innebär att man kan förvänta sig att den i stor utsträckning består av kondenserade bensenringar. Sådan humus angrips endast långsamt av mikroorganismer även under omständigheter som är gynnsamma ur nedbrytningssynpunkt. Absorption av humusämnen i lerpartiklar minskar benägenheten till nedbrytning ytterligare. Under senare år har emellertid konstaterats att även höggradigt nedbruten humus innehåller andra typer av strukturer än kondenserade bensenringar. Ingående humus kan också vara av yngre ursprung, t ex kan den komma från täckskiktet.

Yngre humus kan vara i ett tidigt stadium av nedbrytning, det innebär att huvuddelen av innehållet liknar cellulosa till sin kemiska uppbyggnad. Särskilt under alkaliska betingelser kan nedbrytning av cellulosa leda till att komplexbildande ämnen bildas. Komplexbildande ämnen förekommer även i humus i ett sent stadium av nedbrytning.

Organiska ämnen som av olika anledningar kan komma att ingå i bentoniten kan brytas ner av mikroorganismer. Även i dessa fall kan komplexbildare bildas.

Omvandlingsmönstret beror på ingående material, tillgången till syre, fukthalt och pH. Nedbrytbarheten varierar kraftigt med den kemiska uppbyggnaden och underlättas generellt sett av högt inslag av heteroatomer⁸ samt låg molekylvikt.

Mikrobiell nedbrytning kan ske även utan tillgång till syre, men omvandlingarna sker i så fall enligt andra mönster. Närvaro av nitrat, sulfat, och järn-III kan i många fall utnyttjas av mikrober för oxidation.

Vanligen avstannar mikrobiell aktivitet om fukthalten är låg. Låg fukthalt i bentonit innebär även att salthalten blir hög, vilket i sig innebär att mikrobernas aktivitet upphör eller i vart fall reduceras kraftigt.

En mycket hög fukthalt innebär också att den mikrobiella aktiviteten blir lägre. I lermaterial med en öppen och luftfylld porositet kan syre diffundera in i leran genom gasfas, vilket är en jämförelsevis snabb process. Om

⁸ Med heteroatomer avses i första hand syre, kväve, svavel och fosfor.

porerna i lermaterialet mättas med vatten blir tillförseln av syre från luften lägre eftersom diffusion av syre genom vatten sker betydligt långsammare.

En analys av förutsättningarna för mikrobiell aktivitet under hanteringen av bentoniten bör således fokuseras mot situationer i vilka bentoniten:

- innehåller lätt nedbrytbara ämnen,
- har en god tillgång till luftsyre,
- är "lagom" fuktig, samt
- sådana förhållanden som kan tänkas gynna bildningen av komplexbildare⁹ (t ex högt pH eller måttlig tillgång till oxiderande ämnen)

Utifrån dessa allmänna överväganden kan en identifiering av situationer då mikrobiell aktivitet kan förekomma göras:

- vid tillsats av soda¹⁰ i samband med utvinningen av bentonit kan ge upphov till förhöjt pH och bildning av komplexbildare
- kontamination med t ex smörjmedel innebär att mikroorganismer får tillgång till lätt nedbrytbart material (tillsatserna i smörjmedel innehåller heteroatomer)
- vid inläckage av saltvatten under sjötransport kan goda betingelser för mikrobiell aktivitet uppkomma (god tillgång till både fukt och syre)
- motsvarande situation kan uppkomma efter befuktning i blandare men före pressningen
- efter pressningen kan mikrobiell tillväxt uppstå på den pressade kroppens yta¹¹

3.5 Främmande ämnen i relation till moment i hanteringen

I Tabell 3-3 redovisas under vilka steg i den framtida hanteringen olika typer av föroreningar kan komma att kontaminera bentoniten. I tabellen anges också under vilka behandlingssteg omvandling av föroreningarna kan tänkas förekomma. De angivna källorna avser de som bedömts mest betydelsefulla vid normal hantering utan missöden.

⁹ Vid god tillgång till syre bildas i huvudsak koldioxid och vatten.

¹⁰ Tillsats av soda kan tänkas ske för att öka natrium/kalcium-förhållandet vilket leder till förbättrade svällningsegenskaper.

¹¹ Detta har observerats i fall där vattenkvoten överstigit 20 %.

Tabell 3-3. Typer av ämnen som kan kontaminera bentoniten, alternativt omvandlas under de olika stegen i hanteringen. Pyrit och humus förekommer naturligt i bentoniten, vilket också redovisas i tabellen.

Möjlig framtida hantering	Pyrit	Humus	Sot & aska	Smörj-medel	Hydraul-oljor	Havs-vatten
Bentoniten naturligt	förekommer	förekommer				
Brytning i dagbrott		kontamination				
Lufttorkning i dagbrottet		kontamination		kontamination	kontamination	
Transport, mellanlagring utomhus						
Transport i bulkfartyg samt lossning vid depå i Sverige	omvandling	omvandling		kontamination	kontamination	eventuellt kontamination
Mellanlagring, transport till slutförvaret						
Torkning i t ex roterugn	omvandling	viss förlust	kontamination			
Finkrossning samt mellanlagring						
Befuktning i blandare						
Buffertlagring samt ”mognande” i storsäck ¹	omvandling	omvandling	omvandling	omvandling	omvandling	
Pressning				kontamination		
Buffertlagring av pressade block	omvandling	omvandling	omvandling	omvandling	omvandling	
Inplacering i slutförvaret	omvandling	omvandling	omvandling	omvandling	omvandling	

4 INVENTERING AV FRÄMMANDE ÄMNEN

4.1 Pyrit

Pyrit förekommer naturligt i bentonit. Pyrit, även kallad svavelkis, FeS_2 , är det vanligaste sulfidmineralet i jordskorpan och förekommer i nästan alla bergarter [18-19]. Det bildas ofta i syrefattig miljö i samband med nedbrytning av organiskt material.

I närvaro av luft och fukt bryts pyrit ner, ofta bakteriellt [20], varvid det omgivande vattnet ofta blir kraftigt surt [20-22]. Vid förhöjd temperatur kan pyrit oxideras av luftens syre[2].

4.2 Naturligt organiskt material

Naturligt organiskt material förekommer i bentoniten samt i täckskiktet. Halten humus i en del av täckskiktet kan förväntas vara väsentligt högre än i bentoniten.

Det naturliga organiska materialet i jord består dels av oomvandlat material, dels av omvandlat. Andelen organiskt material i jord varierar mellan 1 procent (vissa sandjordar) till över 80 procent (vissa mossjordar). [22] Mellan 50 och 80 procent av en jordarts innehåll av organiskt material kan föreligga absorberat på ytor av lerpartiklar medan återstoden kan bestå av huvudsakligen ofullständigt nedbrutet material.

Naturligt organiskt material samt dess nedbrytningsprodukter kan bilda starka komplex med koppar samt med många radionuklider. Mängden och typen komplexbildare som bildas beror av betingelserna[7, 19, 22-27].

4.3 Aska och sot

Aska och sot bildas i torkugnens brännare och kan tillföras bentoniten i samband med torkningen.

Det vi i dagligt tal kallar sot består av tre komponenter: aska (flygaska), oförbränt bränsle samt egentligt sot. [19] Det egentliga sotet består av kraftigt omvandlat material som är uppbyggt av polycykliska aromatiska kolväten. [19] Aska kan innehålla oxider av kisel, aluminium, kalcium samt natrium, magnesium och järn. Bränslets innehåll av svavel kan leda till bildning av gips.

4.4 Smörjoljor och smörjfetter

Smörjoljor och smörjfetter finns i praktiskt taget all maskinutrustning som används för behandling och hantering av bentonit. Smörjmedel används även vid enaxlig pressning för att minska friktionen mellan pulver och pressverktyg.

Smörjoljor, smörjfetter och hydrauloljor kan ha starkt varierande kemisk sammansättning beroende i första hand på den tilltänkta tillämpningen. Det kan vara svårt att få fram specifika uppgifter i aktuella fall på grund av kommersiella intressen från leverantörernas sida. Viss allmän information om typiska sammansättningar har påträffats [28] och utnyttjas i det följande.

Huvudkomponenten i ett smörjmedel är ofta en mineralolja, men i många fall används syntetiska oljor med väsentligt annorlunda sammansättning. Följande typer används: mineraloljor, polyolefiner, dikarboxylsyrastrar, fosforsyrastrar, polyglykoletrar, kiselsyrastrar, silikonoljor, polyfenyletrar och freoner.

Tre typer av emulgeringsmedel förekommer: anjonaktiva (till exempel alkalialter av organiska syror), katjonaktiva (till exempel alkylammoniumsalter) och neutrala.

”Receptet” för ett smörjmedel kan vara mycket varierande och beror i stor utsträckning på vilken applikation det utformats för.

Motoroljor för fordon innehåller ofta en bas av vä raffinerad mineralolja samt mellan 5 och 25 procent tillsatser innehållande heteroatomer¹². Syftet med tillsatserna är att minska slitaget, dispergera partiklar, vata ytor samt neutralisera sura reaktionsprodukter. I vissa fall ersätts mineraloljan helt eller delvis med syntetisk olja.

Växeloljor för fordon är också i allmänhet baserade på mineraloljor med tillsatser upp till 10 procent. För vissa tillämpningar används även här syntetiska oljor med varierande sammansättning beroende på tillämpningen.

Ett smörjfett kan definieras som en smörjolja som är dispergerad med ett förtjockningsmedel till en produkt med en fast eller halvfast konsistens. Ett stort antal tillsatsämnen används [28]. Halten av dessa kan uppgå till 3 - 20 procent.

Smörjfetterna kan indelas i två typer beroende på val av typ av förtjockningsmedel: de som innehåller tvål och de som inte gör det. I de flesta fall används tvål, det vill säga salt av en fettsyra. Katjonen kan vara kalcium,

¹² Med heteroatomer avses i detta sammanhang i första hand syre, kväve och fosfor. Grupper, som innehåller dessa atomer, har ofta egenskaper som avviker från dem hos rena kolväten.

litium, aluminium, barium eller natrium. Olika egenskaper erhålls beroende på val av katjon.

De smörjfetter som inte innehåller tvål innehåller andra förtjockningsmedel, till exempel salter av andra karboxylsyror än fettsyror, eller sulfonsyror. Även oorganiska förtjockningsmedel kan användas till exempel organofil bentonit. I sådan bentonit har de oorganiska katjonerna ersatts med alkylammoniumjoner. [9]

I smörjfett ingår ofta även så kallade fasta smörjämnen, vilka också kan användas utan att de ingår i ett smörjfett. Vanliga fasta smörjämnen är grafit och molybdendisulfid.

4.5 Hydrauloljor

Hydrauloljor används i hydraulcylindrar och hydraulmotorer, vanligen i mobila system. Hydraulcylindrar ingår i lastare som används i ett antal hantlingssteg. Ingen användning av hydraulmotorer har identifierats.

De flesta hydrauloljor är baserade på mineralolja med tillsatser i intervallet 1 - 10 procent [29]. Även emulsionsbaserade hydrauloljor (olja i vatten eller vatten i olja), lösning av polymer i vatten samt syntetiska hydrauloljor förekommer. [29]

Ett speciellt område är användning som bromsolja; där används glykoler, glykoletrar och glykolestrar.

4.6 Havsvatten

Havsvatten kan tänkas kontaminera bentoniten under sjötransporten. De elva element som förekommer i havsvatten i högst halt redovisas i Tabell 4-1 [21].

De ovan angivna elva elementen svarar mot mer än 99,9 procent av de lösta komponenterna i havsvattnet (exklusive lösta gaser). Halten kisel kan variera. Den är jämförbar med halten fluor, räknat i moler per liter. Sammansättningen hos havsvatten är annars förvånansvärt konstant.

Ett alternativ till Tabell 4-1 redovisas i Tabell 4-2 [19].

Saliniteten, vilken nära motsvarar totalhalten salt, uppgår till cirka 35 ‰ och kan variera i intervallet 34 - 36 ‰ [21].

Tabell 4-1. De elva element som förekommer i högst halt i havsvatten.

Element	Koncentration	
	Moler per liter	Milligram per liter
Klor	$5,46 \cdot 10^{-1}$	$1,94 \cdot 10^4$
Natrium	$4,68 \cdot 10^{-1}$	$1,077 \cdot 10^4$
Magnesium	$5,32 \cdot 10^{-2}$	$1,29 \cdot 10^3$
Svavel	$2,82 \cdot 10^{-2}$	$9,05 \cdot 10^2$
Kalcium	$1,03 \cdot 10^{-2}$	$4,12 \cdot 10^2$
Kalium	$1,02 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^2$
Brom	$8,4 \cdot 10^{-4}$	67
Kol	$2,3 \cdot 10^{-3}$	28
Strontium	$9,1 \cdot 10^{-5}$	8
Bor	$4,1 \cdot 10^{-4}$	4,44
Fluor	$6,8 \cdot 10^{-5}$	1,3

Tabell 4-2. Halt av olika ämnen i havsvatten i gram per liter.

Ämne	Halt gram per liter
natriumklorid	28,014
magnesiumklorid	3,812
magnesiumsulfat	1,752
kalciumsulfat	1,283
kaliumsulfat	0,8163
kalciumkarbonat	0,12206
kaliumbromid	0,10126
strontiumsulfat	0,02885
borsyra	0,02768

5.1 Brytning

Förekomst av och kontamination med humus

En bentonittäkt kan innehålla mycket gammalt organiskt material. Detta gamla organiska material kan vara ojämnt fördelat mellan olika lager i fyndigheten. Det är också möjligt att organiskt material tillförs från ovanliggande jordlager i samband med brytningen. I detta behandlingssteg påverkas således humushalten både av förekomsten av skikt med gammalt organiskt material och av hur mycket som tillförs från täckskiktet.

Kolhalten i MX-80 är enligt analysen som redovisas i Tabell 2-2 ca 0,3 viktsprocent [6,15]. En storleksordningsmässig uppfattning av humushalten kan erhållas genom omräkning utgående från bruttoformeln för cellulosa $d v s \text{ CHO}_2$ vilket ger en humushalt på ca 3/4 viktsprocent, $d v s \leq 1$ viktsprocent. MX-80 är den produkt som levereras till kund. Halten 1% gäller således den omblandade färdiga produkten. Ett antagande är att den största delen av det organiska materialet härstammar från brytningen. Inblandning och omvandling under övrig hantering bedöms endast påverka begränsade volymer. Halterna i dessa bedöms inte vara så höga att halten i slutprodukten påverkas nämnvärt.

Det är inte känt vilket ursprung det organiska materialet har. Förekomsten av skikt med gammalt organiskt material, samt förhållandena vid brytning är inte kända i detalj. Det är därför svårt att bedömma hur stora variationer som kan tänkas uppstå vid själva brytningen. Något extremvärde har inte skattats, det konstateras endast att den uppmätta halten på ca 1% omfattar den troligtvis mest betydelsefulla källan till inblandning av organiskt material.

Studier kan eventuellt visa vilket ursprung och vilka kemiska egenskaper humusen i bentoniten har. Det går också eventuellt att mäta hur starka komplex som bildas och hur mobila de kan vara.

Om det finns behov av att halten organiskt material skall vara låg bedöms detta kunna åstadkommas genom en omsorgsfullare utvinning.

Läckage av smörjoljor och smörjfetter i samband med brytning

Läckaget av oljor och smörjmedel skulle kunna skattas via mätning av åtgången i fordon och övrig utrustning. Några sådana data finns inte tillgängliga. Nedan görs en skattning av tillförd mängd vid lufttorkning av bentoniten. Utrustningen som används vid brytning förväntas ge ett försumbart tillskott i relation till läckaget vid lufttorkningen.

Vid ett missöde med ett större läckage som följd skulle begränsade volymer kunna tillföras relativt höga halter. I normala fall kasseras sådant förorenat material, även om så inte sker kommer omblandning i följande hantering leda till att halterna blir försumbara.

5.2 Lufttorkning vid fyndigheten

Kontamination med humus

I samband med att bentoniten lufttorkas, s k ”farming” kan organiskt material tillföras via vinden. Inblandningen antas endast påverka begränsade volymer. Halterna i de kontaminerade partierna bedöms inte vara så höga att halten i det omblandade materialet aviker nämnvärt från den uppmätta humushalten på 1%.

Läckage av smörjoljor och smörjfetter

Det enklaste och tillförlitligaste sättet att få reda på hur mycket smörjmedel som kan tänkas ingå i bentoniten är troligen via mätning av åtgången av smörjmedel i de fordon och den utrustning som används. I bedömningen skall även ingå i vilken utsträckning tillfört smörjmedel kan tänkas tillföras bentoniten.

Följande exempel illustrerar hur kontaminationen kan uppstå. I exemplet antas att bentoniten fortfarande förtorkas i själva fyndigheten och att den i samband med detta vänds med hjälp av konventionell utrustning för jordbruk (se även avsnitt 3.1 *Nuvarande hantering*).

I ett extremfall antas att den traktor som används är gammal och drar 0,1 liter olja i timmen. All olja antas läcka ut på bentoniten. Traktorn vänder en kvadratmeter per sekund och åker fem gånger per säsong vilket ger totalt $0,1 \cdot 5/3600 = 0,0001$ liter per kvadratmeter, vilket är ungefär lika med 0,1 gram per kvadratmeter. Antag vidare att det skikt, som bearbetas, är 0,25 meter tjockt och att det har en skrymdensitet på 1,0 ton per kubikmeter. Med dessa antaganden blir det 0,1 gram per 0,25 ton bentonit vilket ger 0,4 gram per ton. Med ett nyare fordon och om en del av läckaget inte tillförs bentoniten blir halten lägre, uppskattningsvis mindre än 0,1 gram per ton.

Onormala händelser som leder till kontamination med smörjmedel kan innefatta dåligt åtskruvad bottenplugg på växellådan, läckande hydraulcylinder och tappad reservdunk som börjar läcka. Dessa scenarier är inte särskilt sannolika och konsekvensen är måttlig genom att kontaminationen fördelas över en större volym under den fortsatta hanteringen. Scenarierna förutsätter sannolikt att driftinstruktioner inte följs eftersom det normala borde vara att bentonit som kontaminerats med spill inte används. Med ett gott underhåll och en god produktionskontroll bör bidragen till föroreningarna i bentoniten från läckage av smörjmedel bli försumbara.

5.3 Sjötransport

Inläckage av havsvatten

Vid sjötransport med fartyg med olämplig utformning av exempelvis luckorna till lastrummet eller i samband med onormala händelser kan saltvatten tänkas tränga in i lastrummet och absorberas av bentoniten. Eftersom bentoniten består av större bitar samt är kraftigt vattenupptagande är det tänkbart att en viss större volym av lasten påverkas. Visuellt kontroll i samband med lossning behöver inte nödvändigtvis innebära att läckaget upptäcks.

Som framgår av Referens [30] påverkas bentonitens svällningsförmåga av saltvatten. Ojämn fördelning av saltet inom ett block kan också tänkas innebära differentiell svällning i samband med att blocket återfuktas i slutförvaret vilket kan tänkas leda till en buffert med diskontinuiteter samt variationer i densiteten.

Salthalt i vatten kan mätas med god noggrannhet såväl gravimetriskt som genom mätning av elektrisk konduktivitet. Sådana mätningar bedöms utan svårighet kunna avslöja inläckage av salt av betydelse för bentonitens svällningsegenskaper. Att kontrollera salthalten är ändå inte trivialt eftersom provtagning behöver ske över hela lasten. Sådana metoder finns emellertid tillgängliga och används rutinmässigt i samband med leverans av bulk gods med sjötransport.

För uppskattning av kontaminationen i extremfall antas dock att något sådant program inte föreligger. Den enda kontrollen antas vara ”ekonomisk”. Värdet på lasten beror förutom på kvaliteten i övrigt på den totala vikten och fukthinnehållet. Vattenhalten mäts på många prov fördelade över hela bulklastens volym. Om fukthalten avviker med mer än 0,1 % räknat på lastens vikt kan beaktansvärda ekonomiska värden förloras (> 50 kSEK/last i dagsläget). Man kan därför utgå från att både leverantör och beställare kommer att mäta fukthalten i bentoniten i ett stort antal prover. Vid avvikelser kommer sannolikt ansträngningar att göras för att utröna orsaken varvid ett eventuellt inläckage av saltvatten sannolikt kommer att uppdagas.

Därför antas att inläckage av saltvatten i extremfall kan uppgå till 0,1 % av lastens vikt. Saltvattnet antas vidare upptas av 10 % av bentoniten i lasten, vilket alltså höjer vattenhalten med 1 %. Eftersom salthalten i havsvatten uppgår till ca 3,5 % innebär detta ett tillskott av (torrt) salt till bentoniten på 0,04 %. I efterföljande steg antas denna pessimistiskt reduceras till högst 0,02 % genom omblandning och utspädning. Med ovanstående antaganden kan denna halt avse många deponeringshål.

Under normala betingelser förväntas halten salt i bentoniten till följd av inläckage av havsvatten vara försumbar.

Mikrobiell aktivitet

Mikrobiell aktivitet skulle kunna förekomma i detta hanteringssteg, speciellt i samband med inläckage av saltvatten. I dagsläget är det svårt att avgöra om mikrobiell aktivitet i detta hanteringssteg kan ha någon betydelse. Se även avsnitt 3.4 samt 5.1 och 2.

Läckage av hydraulolja från frontlastare

Den största potentialen för kontamination av bentoniten med hydrauloljor bedöms föreligga i samband med mänskligt felhandlande i strid mot gällande instruktioner. Sannolikheten för sådant handlande bedöms vidare vara störst i samband med lossning av en bulklast från sjöfartyg eftersom det i samband med en sådan operation kan vara aktuellt att utnyttja en fristående entreprenör med egen utrustning.

Antag att det är bråttom med lossningen och att en fristående entreprenör lovat att bistå med lossningen av det sista i lastrummet där frammatning till hamnkranens skopa sker med hjälp av en frontlastare. En packning i frontlastarens hydraulsystem går sönder delvis så att hydraulolja läcker ut med ett konstant flöde. Entreprenören får inte tag på någon ny lämplig packning utan fyller i stället på hydraulolja med jämna mellanrum så att hans maskinutrustning hela tiden fungerar.

Fem procent av lasten på totalt tio tusen ton, det vill säga 500 ton, antas vara kvar när frontlastaren firas ner. Hälften antas lastas ur utan kontamination. Resterande 250 ton antas kontamineras relativt jämnt med 10 liter hydraulolja. Räkneexemplet innebär en kontaminationsgrad på cirka 40 gram hydraulolja per ton bentonit.

Efterföljande hantering och därmed sammanhängande omblandning och utspädning antas reducera detta värde till hälften, det vill säga 20 gram per ton. Med ovanstående antaganden kommer denna halt att avse många deponeringshål.

Även vid normal drift förväntas ett visst läckage av hydraulolja. Halterna antas vara mindre än en tiondel av ovanstående värde för extremfallet.

Om behov föreligger att reducera sannolikheten för kontamination med hydraulolja bedöms driftsinstruktioner samt kontroll av att de följs kunna vara effektiva åtgärder. Det är också praktiskt genomförbart att ta prover och analysera dessa med avseende på huvudkomponenterna i den olja som används.

5.4 Övriga transporter samt lagring

Mikrobiell aktivitet

Mikrobiell aktivitet kan förekomma vid transport och lagring, omfattningen och betydelsen är svår att uppskatta. Se även avsnitt 3.4 och 5.1 och 2.

Läckage av hydraulolja från frontlastare

Läckage kan förekomma. Det huvudsakliga bidraget till kontamination med hydraulolja antas dock ske i samband med lossningen av lastfartyg, se avsnitt 5.3. Tillförda halter i övriga behandlingsteg bedöms försumbara i relation till den ovan nämnda källan.

5.5 Torkning i torkugn

Sotbildning i samband med torkning

Bildning av sot i samband med förbränning av kol är starkt beroende av betingelserna. Bildning och utsläpp av sot i nya anläggningar ligger ofta långt under dem för gamla anläggningar. I det följande antas att bildningen av sot motsvarar gränsen för utsläpp av stoft i Sverige, vilken är 35 milligram per kubikmeter (räknat som normalkubikmeter torr gas vid koldioxidhalt på 13 procent) [33].

En mol gas upptar under normalbetingelser en volym på 22,4 liter och atomvikten för kol är 12. Antalet milligram kol i rökgasen per gram förbränt kol kan beräknas enligt följande ekvation.

$$a = \frac{b \times c}{d \times e \times f} \quad (1)$$

där

- a = andel av kolet som återfinns i bentoniten i form av sot {i antal milligram sot per gram förbränt kol}
- b = halt sot i rökgasen {i milligram per kubikmeter}
- c = volymen gas per mol molekyler i gasfas (ideal gas under normalbetingelser) {liter}
- d = atomvikten för kol
- e = antal liter i en kubikmeter
- f = halten koldioxid i rökgasen

Med ovan nämnda antaganden ger ekvation (1) 0,5 milligram sot per gram förbränt kol (= $35 / (12 * 1000 * 0,13 / 22,4)$).

Antagandet att mängden sot motsvarar vad som får släppas ut från en förbränningsanläggning i Sverige är pessimistiskt i den bemärkelsen att man normalt ligger under de värden som är maximalt tillåtna. Antagandet är

samtidigt optimistiskt genom att effekten av rökgasrening försummas. Rökgasrening ger nämligen förutsättningar för att uppnå gränsvärdet för utsläpp även om halterna i rökgasen före reningen ligger högre. Gränsvärdet för utsläpp avser halten stoft efter rökgasrening medan bentoniten i en torkugn kan antas kontaktas med rökgaserna före en eventuell rökgasrening.

Det ovan angivna värdet på 0,5 gram sot per kilo kol antas därför gälla för normal drift. Vid ofullständig förbränning antas i extremfall värdet kunna bli 100 gånger högre.

Antal gram sot per kilo förbränt kol kan räknas om till antal gram per ton bentonit enligt följande ekvation.

$$g = \frac{a \times h \times i \times 1000}{j \times k} \quad (2)$$

där

- g = bentonitens halt av sot {i antal gram sot per ton bentonit}
- a = andel av kolet som återfinns i bentoniten i form av sot {i antal milligram sot per gram förbränt kol}
- h = bentonitens fuktkvot {vikt vatten / vikt torr bentonit}
- i = ångbildningsvärmets för vatten {i GJ per ton}
- j = verkningsgraden för torkningsprocessen (det vill säga andelen av förbränningsvärmets som utnyttjas för förångning av vatten)
- k = värmeverdet för kol {i GJ per ton}

För omräkningen från antal gram sot per kilo förbränt kol till antal gram sot per ton bentonit antas följande. Ca 15 viksprocent fukt behöver torkas bort från bentoniten och ca 50 procent av all bildad värme kan utnyttjas för att förånga detta vatten. Ångbildningsvärmets för vatten är cirka 0,13 GJ per ton och värmeverdet för kol är cirka 25 GJ/ton. Dessa siffror innebär att det går åt ca 1,6 kilo kol för att torka ett ton bentonit.

Insättning av ovanstående värden i ekvation (2) ger som resultat att bentoniten i normalfallet kan tillföras 0,8 gram sot per ton. I extremfall kan 80 gram per ton tillföras. Ingen utspädning till följd av omblandning i efterföljande steg bedöms äga rum. Om extremfallet inträffar så kan det avse många deponeringshål.

Halterna i extremfall uppkommer genom att brännaren fungerar dåligt. Extremt höga halter kan undvikas genom underhåll och kontroll.

Sänkning av halterna i normalfallet kan uppnås genom övergång till eldning med gasol varvid sotbildning blir osannolik.

En eventuell övergång till gasol kan även innebära att halten kalciumsulfat i bentoniten reduceras. Halten kalciumsulfat beaktas vid studier av kopparkapselns korrosion.

5.6 Pressning av block

Tillförsel av smörjmedel

Pressningen av bentoniten antas utföras i en enaxlig press där det krävs att pressverktyget smörjs på cylinderytan. Smörjningen antas ske med det smörjmedel [34] som i dag används i samband med försök vid Clay Technology [35]. En liter smörjmedel antas räcka till en yta som uppgår till mellan fem och tio kvadratmeter. Allt tillfört smörjmedel antas överföras till bentoniten i samband med pressningen. Bentonitblockens yta uppgår till 65 kvadratmeter per deponeringshål. Det innebär att 7 - 13 liter smörjmedel skulle gå åt per deponeringshål, vilket motsvarar knappt ett halvt kilo per ton bentonit.

Detta värde är det förväntade värdet under normala förhållanden. Inget extremfall har identifierats som skulle ge upphov till högre värden.

Enligt informationsmaterial från agenten i Sverige [34] innehåller smörjmedlet Molykote BR 2 plus mineraloljor (ca 84 procent), litiumtvål, fasta smörjande ämnen i form av grafit (ca 1 procent) och molybdendisulfid, högtryckstillsats och korrosionsinhibitor. Molykote BR 2 anges vidare innehålla ca 6 procent zinkdialkylditiofosfat vars effekt inte är närmare angiven.

Om behov föreligger att reducera mängden smörjmedel står ett antal möjligheter till buds:

- Byte av kvalitet så att en lämpligare sammansättning erhålls
- Byte till ett oorganiskt smörjmedel, till exempel talk (veterligt har dock inte undersökts om detta fungerar)
- Avverkning av det ytskikt som innehåller smörjmedlet
- Byte till isostatisk kompaktering där behov av smörjmedel inte föreligger

5.7 I djupförvaret före förslutning

Mikrobiell aktivitet kan tänkas förekomma, se avsnitt 3.4. Liksom i andra behandlingsteg är omfattning och betydelse svår att avgöra.

5.8 Främmande ämnen i bufferten då djupförvaret stängs.

Sammanfattningar beträffande främmande ämnen i bufferten redovisas i Tabell 5-1, som avser normala förhållanden, och Tabell 5-2, som avser extrema händelser. I tabellerna redovisas även i vilket skede ämnet i fråga tillförs, hur det fördelar sig i efterföljande steg samt förslag till motåtgärder.

Antagandena baseras på den möjliga framtida hantering som skisseras i avsnitt 3, de egenskaper hos materialen som redovisats i avsnitt 4 och de antaganden och räkneexempel som redovisas i avsnitt 5.1 - 5.7. Det fortsatta arbetet med tekniskt genomförande av SKB:s program kan förväntas ge anledning till att angivna siffervärden avsevärt revideras.

Uppskattningarna av föroreningshalter grundar sig på antaganden om en möjlig framtida hantering och anges endast som tänkbara normal- och extremvärden. För uppskattningar av osäkerhetsintervall behövs detaljerad information om hanteringen.

De främmande ämnenas eventuella betydelse för djupförvarets säkerhet beror av flera faktorer. Forskning kring olika processer och deras koppling till buffertens egenskaper pågår. Det kan leda till att betydelsen av här angivna föroreningstyper omvärderas.

Tabell 5-1. Halt främmande ämnen i bentonit under normala förhållanden. Föroreningskälla, fördelning och åtgärder för att reducera halten. Även pyrit redovisas som jämförelse. Det fortsatta arbetet med tekniskt genomförande av SKB:s program kan förväntas ge anledning till att angivna siffervärden revideras.

Ämne	Halt vikt/vikt	Källa	Fördelning	Åtgärd för att eventuellt reducera halten
Pyrit	ca $4 \cdot 10^{-3}$	I lertäkten	Sannolikt väl fördelat	Rostning, ev magnetseparation
Humus	$< 1 \cdot 10^{-2}$	I lertäkten	Sannolikt väl fördelat	Söka verifiera att åldrad och ej reaktiv
Humus	$< 1 \cdot 10^{-2}$	Brytning	Sannolikt väl fördelat, omblandning under hantering	Bättre separation vid källan
Sot	ca $1 \cdot 10^{-6}$	Torkning	Oftast jämnt, viss blandning*	Justera brännare eller gå över till gasol
Smörjmedel	$< 1 \cdot 10^{-7}$	Lufttorkning vid fyndighet Transport och lagring (lastning/lossning)	Oftast jämnt, god blandning*	Begränsa läckage och / eller välja bra smörjmedel
Smörjmedel	ca $5 \cdot 10^{-4}$	Pressning av block	I anslutning till mantelyta som i högre grad exponeras för fukt och luftsyre	Ev kan annat smörjmedel användas. Alternativt byta till isostatisk kompaktering
Hydraulolja	$< 2 \cdot 10^{-6}$	Transport och lagring (lastning/lossning)		
Havsvatten	försumbart			

* Förhöjd halt kan förekomma hos en liten del av volymen

Tabell 5-2. Halt främmande ämnen i bentonit i samband med extrema händelser. Källa, fördelning och åtgärder för att minska halten. Det fortsatta arbetet med tekniskt genomförande av SKB:s program kan förväntas ge anledning till att angivna siffrvärden revideras.

Ämne	Halt vikt/vikt	Källa	Fördelning	Åtgärd för att eventuellt reducera halten
Humus	ca $1 \cdot 10^{-2}$ *	Brytning - täckskikt	Sannolikt väl fördelat, omblandning under hantering	Bättre separation vid källan samt uppföljning med kontrollprogram
Sot	ca $1 \cdot 10^{-4}$	Torkning - fel vid förbränning		Följa anvisningar för drift och kontroll, alternativt byte till gasol
Smörjmedel	ca $1 \cdot 10^{-6}$	Lufttorkning - oljeläckage Gammalt fordon som läcker olja.	Jämnt fördelat	Väl underhållen utrustning och kontroll.
Hydraulolja	ca $2 \cdot 10^{-5}$	Läckande hydraulcylinder i samband med lossning av fartyg	Jämn fördelning i en mängd av ca 250 ton	Väl underhållen utrustning, administrativ kontroll
Havsvatten	ca $2 \cdot 10^{-4}$ räknat som torrt salt	Inläckage till följd av otäthet i fartyg	Jämn fördelning i en mängd av ca 250 ton	Högre kvalitet på transporttjänsten. Bättre kontroll än vägning och fukthalt, t ex elektrisk ledningsförmåga.

*) Halten 1% är mätt på produkten MX-80, den omfattar föroreningar från det behandlingssteg som bedöms vara mest betydelsefullt för humushalten, nämligen brytning (se avsnitt 5.1).

- 1 Datablad för natriumbentonit av kvaliteten MX-80. Volclay, Merseyside, England.
- 2 **Pusch R och Jacobsson A, 1978**
Properties of bentonite-based buffer material. Luleå Institute of Technology. SKB TR 32.
- 3 FUD-Program 95. Kärnkraftavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration. SKB September 1995.
- 4 **Pusch R, Börgesson L, Fredriksson A, Johannesson L-E, Hökmark H, Karnland O and Dandén T, 1995**
The buffer and backfill handbook, Part 1. Definitions, basic relationships, and laboratory methods. SKB AR 95-45.
- 5 **Pusch R, Börgesson L, Fredriksson A, Johannesson L-E, Hökmark H, Karnland O and Dandén T, 1995**
The buffer and backfill handbook, Part 2. SKB, under tryckning.
- 6 Slutförvar för reaktoravfall - SFR. Slutlig säkerhetsrapport SFR 1. SKB 1987.
- 7 **Wiborgh M (editor), 1995**
Prestudy of final disposal of long-lived low and intermediate waste. SKB Technical Report 95-03.
- 8 **Skagius K och Wiborgh M, 1994**
Testing of influence diagrams as a tool for scenario development by application of the SFL 3-5 repository concept. SKB AR 94-47 Vol. 1 och 2.
- 9 **Gerhartz W, Yamamoto Y S, Campbell F T, Pfefferkorn R och Rounsaville J F, editors, 1986**
Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, 5th edition, Volume A 7, Clays. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany. ISBN 3-527-20107-6.
- 10 **Auer D L och Thayer R L, 1979**
Bentonite update: Production, reserves, quality control, and testing. Mining Engineering, October 1979, p1467 - 1473.
- 11 **Kirk R E och Othmer D F, 1993**
Encyclopedia of chemical technology, Clays. Fourth edition, Volume 6, John Wiley & Sons Inc., New York. ISBN 0-471-52674-6.

- 12 **Dixon D A, 1994**
Engineering materials for waste isolation. CSCE Special publication of the Engineering Materials Division. Edited by A M Crawford, H S Radhakrishna, M Goutama and K C Lau. Toronto, Ontario, Kanada, Augusti 1994. Publicerad av Canadian Society for Civil Engineering, 2050 Mansfield Street, Suite 700, Montreal, Quebec H3A 1Z2, Kanada.
- 13 **Dixon D A, Hnatiw D S J och Walker B T, 1992**
The bentonite industry of North America: Suppliers, reserves, processing capacity and products. Atomic Energy of Canada Limited Report AECL-10587, COG-92-80.
- 14 **Van Olphen H och Fripiat J J, editors, 1979**
Data handbook for clay materials and other non-metallic minerals. Data prepared under the auspices of the OECD and the Clay Minerals Society. Pergamon press, Oxford. ISBN 0-08-022850-X.
- 15 **Müller-Vonmoos M och Kahr G, 1983**
Mineralogische Untersuchungen von Wyoming bentonit MX-80 und Montigel, NTB 83-12, Nationale Genossenschaft für die Lagerung Radioaktiver abfälle, Baden.
- 16 **Kubát J, 1991**
Development in agricultural and managed-forest ecology 25. Humus, its structure and role in agriculture and environment. Elsevier, London, 1992. ISBN 0-444-88980-9.
- 17 Projekt AlternativStudier för Slutförvar (PASS), Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB, Oktober 1992.
- 18 **Hägg G, 1969**
General and inorganic chemistry. Almqvist & Wiksell, Stockholm. (Boken finns även på svenska).
- 19 Nationalencyklopedin. Bokförlaget bra böcker AB, Höganäs, 1995. ISBN 91-7024-619-X.
- 20 **Hallberg R, 1997**
Geologiska Institutionen, Stockholms Universitet. Personlig kommunikation.
- 21 **Henderson P, 1986**
Inorganic geochemistry. Pergamon press, Oxford. ISBN 0-08-020448-1.

- 22 **Richards B N, 1987**
The microbiology of terrestrial ecosystems. Longman Group UK Limited. ISBN 0-582-45022-5.
- 23 **Clark J, 1978**
Pulp technology and treatment of paper. Miller Freeman Publications, Inc., San Francisco. ISBN 0-87930-066-3.
- 24 **Ingruber O V, Kocurek M J och Wong A (editors), 1983**
Pulp and paper manufacture, Volume 4, Sulfite science and technology. ISBN 0-919893-04-X
- 26 **Kumada K, 1987**
Chemistry of soil organic matter. (Sidan 23). Elsevier, Amsterdam. ISBN 0-444-98936-6 (Vol. 17).
- 27 **Stevenson F J, 1994**
Humus chemistry, genesis, composition, reactions. Second edition, John Wiley & Sons, Inc., New York. ISBN 0-471-59474-1.
- 28 **Elvers B, Hawkins S och Schulz G, editors, 1990**
Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, 5th edition, Volume 15, Lubricants and related products. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany. ISBN 3-527-20115-7.
- 29 **Elvers B, Hawkins S, Ravenscroft M och Schulz G, editors, 1989**
Ullman's encyclopedia of industrial chemistry, 5th edition, Volume 13, Hydraulic fluids. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany. ISBN 3-527-20113-0.
- 30 **Pusch R, Karnland O och Sandén T, 1992**
Effects of saltwater on the wetting rate and pore water chemistry of MX-80 clay exposed to a thermal gradient. SKB AR F&U 92-58.
- 31 **Pedersen K och Karlsson F, 1995**
Investigation of subterranean microorganisms. Their importance for performance assessment of radioactive waste disposal. SKB Technical Report 95-10.
- 32 **Johannesson L-E, Börgesson L och Sandén T, 1995**
Compaction of bentonite blocks. Development of technique for industrial production of blocks which are manageable by man. SKB Technical Report 95-19.
- 33 Miljöfakta. Svensk Energiförsörjning, Box 8324, 104 20 Stockholm, 1996.

- 34** Informationsblad om Molykote BR 2 plus som tillverkas av Dow Corning. Informationen har erhållits från agenten i Sverige som är G. A. Lindberg, Box 6044, 164 06 Kista.
- 35** **Lars-Erik Johannesson, 1997**
Clay Technology AB. Personlig kommunikation.
- 36** **Pedersen K Motamedi M och Karnland O, 1995**
Survival of bacteria in nuclear waste buffer materials. The influence of nutrients, temperature and water activity. SKB Technical Report 95-27.
- 37** **Bäckblom G, 1996**
Preliminär utformning av djupförvarets närområde. SKB AR D-96-011.