

R-99-72

Främmande material i ett djupförvar för använt kärnbränsle

Celia Jones, Åsa Christiansson,
Marie Wiborgh

Kemakta Konsult AB

December 1999

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 ett djupförvar för använt kärnbränsle

Celia Jones, Åsa Christiansson,
Marie Wiborgh

Kemakta Konsult AB

December 1999

Nyckelord: främmande material, djupförvar, använt kärnbränsle

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

Sammanfattning

I ett slutförvar för använt kärnbränsle byggt enligt KBS-3-principen omges kärnbränslet av flera barriärer, som tillsammans skall garantera säkerhet mot utläckage av radionuklider under mycket lång tid. I förvaret nedförs förutom bränsleelementkapslar skilda slag av barriärmaterial, "förvarets material". Emellertid behövs också olika typer av konstruktionsmaterial som tas bort då förvaret förslutes. Man kan inte förhindra att en del sådant material, t ex betong- och stålkonstruktioner, blir kvar i förvaret. Dessutom tillförs ytterligare olika material, "främmande material", bl a i samband med att människor vistas i förvaret under driftperioden, genom ventilationsluft och genom utsläpp från olika transportmedel. I denna rapport har en genomgång gjorts för att visa i vilken utsträckning främmande material förekommer och på vilket sätt de kan inverka på förvarsbarriärernas långsiktiga funktion.

Mängderna av olika ämnen i främmande material som förs in i förvaret under byggnad och drift baseras på tidigare utredningar inom SKB. I rapporten jämförs dessa mängder med mängderna av motsvarande ämnen i förvarets material. En undersökning görs av vilka processer och barriärfunktioner som olika ämnen kan påverka och vilka eventuella följder detta får för slutförvarets funktion. För att identifiera processer som kan påverkas av främmande material har interaktionsmatriser och THMC-dokumentation använts. De processer som kan påverkas av ämnen i främmande material har visat sig vara:

- kapselkorrosion genom närvaro av svavel och ämnen som gynnar mikrobiell tillväxt
- påverkan på bentonitens egenskaper genom närvaro av katjoner som kalcium, kalium och järn
- radionuklidtransport vid närvaro av komplexbildare och ytaktiva ämnen.

Av utredningen framgår att mängderna av olika ämnen i främmande material i förvaret i allmänhet är försumbara i jämförelse med deras förekomst i förvarets material. Ett viktigt undantag är kalciumförekomsten i deponeringshålen, där kalcium från främmande material kan utgöra mer än hälften av den totala mängden. Detta kan påverka cementeringsprocesser i bentonitbarriären.

Lokalt kan ansamlingar av främmande material orsaka en lokal degradering av bentonit och återfyllnadsmaterial. Sådant lokal koncentration av främmande material förekommer framför allt i deponeringstunnlar och driftgator, där rester från cement- och betongarbeten samt järn- och stålkonstruktioner förekommer.

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Förutsättningar	1
1.2	Rapportstruktur	4
2	Främmande material i förvaret	5
2.1	Grundantaganden	5
2.2	Uppskattning av mängden främmande material	5
2.3	Kemisk sammansättning och mängd av ämnen i främmande material	7
3	Barriärmaterial och grundvatten, sammansättning och föroreningar	11
3.1	Kopparkapsel	11
3.2	Bentonit	11
3.3	Ballastmaterial i återfyllnad	12
3.4	Grundvatten	13
3.5	Kemisk sammansättning och mängder ämnen som införs med förvarets barriärmaterial	15
4	Främmande materials betydelse för processer som kan påverka förvarets långsiktiga funktion	17
4.1	Tillförda ämnen – mängder och källor	17
4.1.1	Oorganiska ämnen	17
4.1.2	Organiska ämnen	20
4.2	Påverkade processer	22
4.3	Betydelsen för förvarets långsiktiga funktion	23
4.3.1	Kapsel	23
4.3.2	Bentonitbuffert	24
4.3.3	Tunnelåterfyllnad	26
5	Diskussion och slutsatser	29
6	Referenser	31

Bilagor

- Bilaga A. Förvarets dimensioner och antagen sammansättning hos barriärmaterial och grundvatten
- Bilaga B. Mängd ämnen i de olika delarna av förvaret
- Bilaga C. Identifierade processer som kan påverkas av främmande material

1 Inledning

Lagring av svenskt använt kärnbränsle planeras ske i ett djupförvar ca 500 meter under markytan i den svenska berggrunden. Kopparkapslar med det använda kärnbränslet sättes ner i uppborrade deponeringshål och omges av en bentonitbuffert. Återfyllning av deponerings- och tillfartstunnlar sker med en bentonit/ballastblandning. Tillsammans utgör bränslamatrix, kapsel, buffert och berg ett flerbarriärsystem för att förhindra läckage och spridning av radioaktiva ämnen till omgivningen.

Processer som kan påverka barriärernas egenskaper och som är av betydelse för förvarets långsiktiga funktion och säkerhet har utretts i ett antal studier (Skagius m fl, 1995; SKB, 1999).

Under byggnads- och deponeringstiden kommer konstruktionsmaterial av skilda slag att föras ner och användas i förvaret. Till en del kommer dessa material att förslas ut igen medan en del bli kvar efter deponeringen. Förutom konstruktionsmaterial kommer troligen vissa förslitna maskindelar samt andra föroreningar att lämnas kvar i förvaret. De kvarlämnade material och ämnen som inte hänger direkt samman med deponering eller återfyllning, "*förvarets material*", har i denna rapport betecknats som "*främmande material*".

Syftet med utredningen är att undersöka om närvaro av främmande material i förvaret skulle kunna påverka barriärerna och äventyra förvarets långsiktiga funktion.

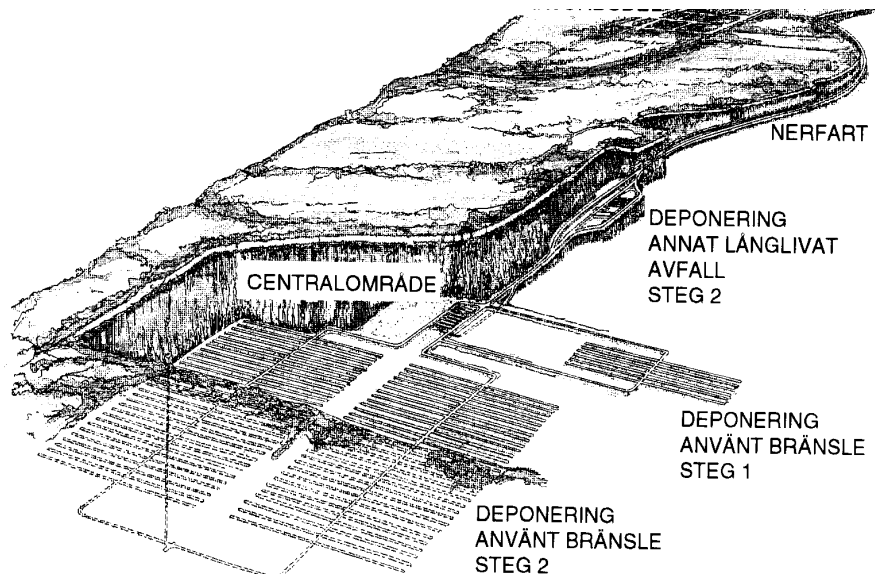
Mängden ämnen i främmande material som kan bli kvar i förvaret efter förslutning jämförs med mängden av samma ämnen som finns i barriärmaterial och grundvatten. Utgångspunkten är därvid, att om mängderna av ämnen ingående i de främmande materialen är betydligt mindre än mängderna av samma ämnen i förvarets barriärmaterial, antas tillskottet från främmande material vara försumbart.

I säkerhetsanalyserna för SR-97 har interaktionsmatriser och THMC-dokumentation tagits fram för att systematiskt redovisa vilka processer som kan påverka djupförvarets funktion och utveckling på längre sikt (Pers m fl, 1999). Denna dokumentation har använts för att identifiera de processer som kan påverkas av främmande material.

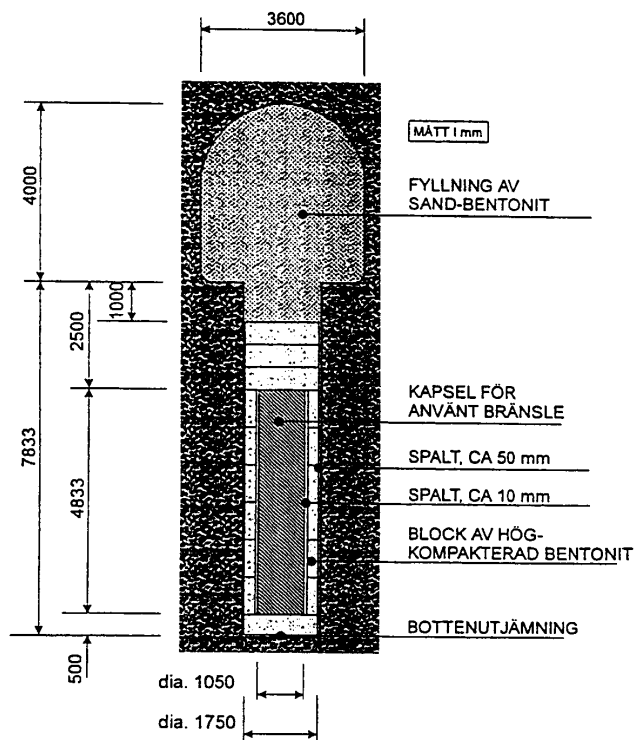
1.1 Förutsättningar

Uppskattningen av mängderna ämnen i främmande material i förvaret baseras på att det använda bränslet deponeras i ett djupförvar som konstrueras enligt KBS-3-metoden. En skiss av ett sådant förvar visas i figur 1-1.

Förvaret är där uppdelat i fyra områden: en central del, två områden för deponering av använt bränsle och en del för deponering av annat långlivat avfall. Deponering av det i kopparkapslar inneslutna använda bränslet antas ske i vertikala hål borrarade i botten av utsprängda deponeringstunnlar med en kapsel i varje hål. Kapslarna omges av en bentonitbuffert. Förvaret planeras för att sammantaget rymma 4 500 kapslar. Deponeringstunnlarna återfylls med en blandning av bentonit och krossat berg (figur 1-2). En driftgata för transporter och omlastning av bergmaterial löper mellan deponeringstunnlarna.



Figur 1-1 Principiell skiss av djupförvaret.

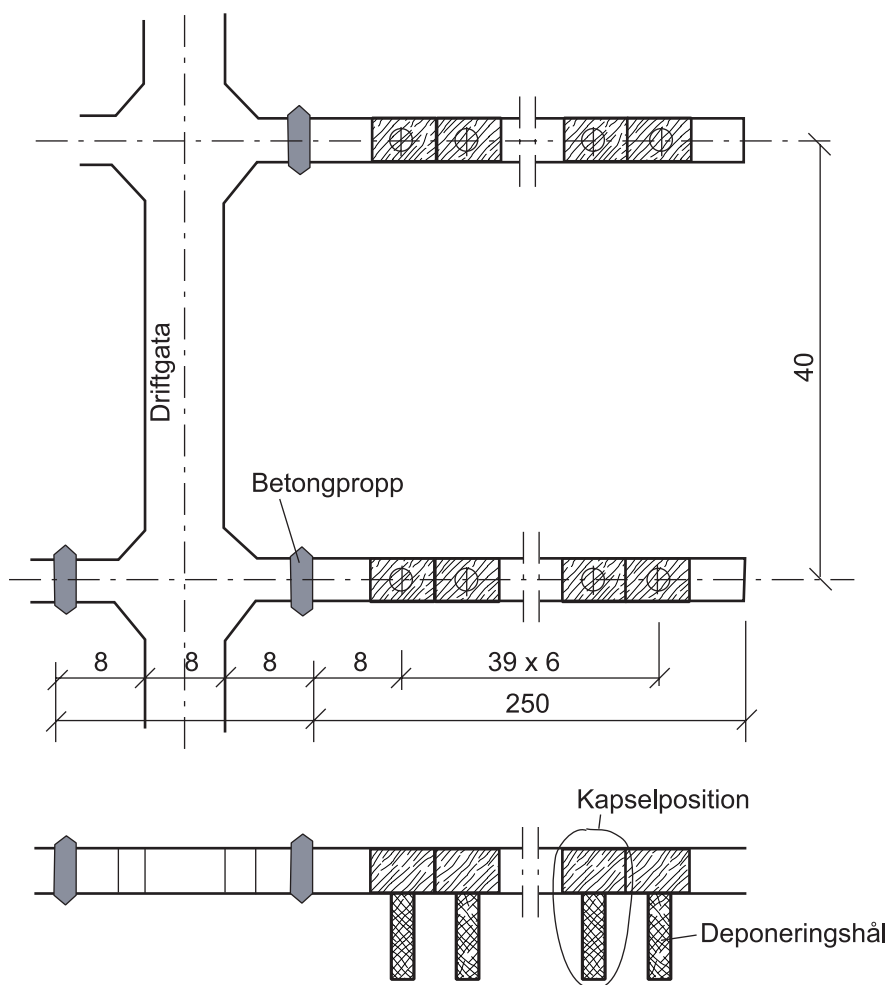


Figur 1-2 Deponeringshål och deponeringstunnlar.

De i rapporten antagna mängderna av främmande material i förvaret baseras på en rapport av Larsson m fl (1997), som gjort en inventering av främmande material som kan tillföras förvaret under konstruktion och drift. Larssons mängduppskattningar bygger på erfarenheter från andra underjordsanläggningar och på antaganden om åtgärder som vidtas i förvaret inför stängning.

Mängden ämnen som tillförs med bentonitbuffert, material för tunnelåterfyllning och grundvatten har beräknats med hjälp av antagna dimensioner för förvar och barriärer. Förvarets dimensioner och antagna kemiska sammansättningar på barriärmaterial och grundvatten redovisas i bilaga A. Mängden föroreningar som kan tillföras bentonit-materialet vid brytning, transport och pressning har rapporterats av Sjöblom (1998).

I enlighet med Larssons rapportering redovisas mängder av ämnen som tillförts förvaret med förvarets material och med främmande material för tre anläggningsdelar, nämligen för *deponeringshål*, för *kapselposition inklusive 6 m deponeringstunnel* samt för *40 m driftgata* (figur 1-3). I denna rapport används enbart benämningarna: "*deponeringshål*", "*kapselposition*" och "*driftgata*" och underförstått är därvid att 6 m deponeringstunnel alltid ingår för kapselposition samt att längden på driftgatan är 40 m.



Figur 1-3 Illustration av deponeringshål, kapselposition och driftgata.

Ett förvar för annat långlivat avfall, SFL 3–5, kan komma att samlokaliseras med djupförvaret för använt kärnbränsle. Man kan även tänka sig andra alternativ t ex att placera SFL 3-5 vid SFR eller lokalisera det som ett helt fristående förvar. Vid en samlokalisering planeras detta förvar ligga på ett avstånd av ca 1 km från djupförvaret och "nedströms", dvs med grundvattenflödet ledande från förvaret för använt kärnbränsle mot SFL 3–5.

Förvaret för annat långlivat avfall har en utsprängd bergvolym av omkring 100 000 m³ och omfattar ett tunnelsystem med betongkonstruktioner (Forsgren m fl, 1996). Betongkonstruktionerna, återfyllnaden i tunnlar samt avfallskollin innehåller sammanlagt omkring 50 000 ton betong. Avfallet i SFL 3–5 består av låg och medelaktivt avfall från Studsvik, drifts- och rivningsavfall från mellanlagret för använt kärnbränsle och inkapslingsstationen samt hårdkomponenter och interna delar från reaktorerna. Mängden avfall har uppskattats till ca 25 000 m³ (Wiborgh, 1995). I avfallskollina finns förutom stora mängder betong och metall även organiskt material t ex jonbytarmassor.

Ämnen som löses ut från betongkonstruktioner och dylikt i SFL 3–5 beräknas reagera i närzonen av förvaret och kommer sålunda inte att påverka förvaret för högaktivt avfall. Sannolikheten för att ämnen som löses ut från avfallskollina i SFL 3–5 skall kunna spridas till förvaret för högaktivt avfall genom tunnelsystemen eller genom berget bedöms som mycket liten då de två förvaren beräknas ligga 1 km isär.

1.2 Rapportstruktur

I kapitel 2 sammanfattas Larssons uppskattning av mängderna av de ämnen som antas komma att föras in i förvaret under byggnad och drift och som finns kvar vid förslutning. Mängderna av ämnen som tillförs förvaret med barriärmaterial och med inströmmande grundvatten redovisas i kapitel 3. I kapitel 4 jämförs mängderna av ämnen i främmande material i olika delar av förvaret med mängderna av motsvarande ämnen i barriärmaterial och grundvatten. En diskussion förs om vilka ämnen i främmande material som förekommer i sådana mängder jämfört med föroreningar i barriärmaterial och lösta ämnen i grundvatten att de skulle kunna påverka olika barriärers integritet. Eventuell påverkan på förvarets långsiktiga funktion analyseras. I kapitel 5 diskuteras uppnådda resultat samt de osäkerheter som föreligger på grund av ett otillräckligt underlag. I kapitel 6 återfinns de slutsatser som undersökningen kommit fram till.

Förvarets dimensioner och sammansättningen hos förvarets material samt grundvatten redovisas i bilaga A. I bilaga B återges uppskattade mängder deponeringsmaterial, tunnelåterfyllnad och kvarvarande främmande material för olika delar av deponeringsområdet. En genomgång av processer som kan påverkas av de främmande materialen och som kan vara av betydelse för förvarets funktion återfinns i bilaga C.

2 Främmande material i förvaret

I detta kapitel redovisas mängder och kemisk sammansättning hos främmande material som kan bli kvar i ett djupförvar för använt kärnbränsle efter förslutning.

2.1 Grundantaganden

Enligt de antaganden som ligger till grund för uppskattningarna av Larsson m fl (1997) av mängden främmande material i förvaret används en eldriven lastmaskin i deponeringstunnlarna för lastning av lösberg och för utfrakt till driftgatorna, där omlastning sker till dieseldrivna fordon för uttransport från förvaret. I de fall berget behöver förstärkas, sker detta med hjälp av stålbulvar eller med sprutbetong. Berget tätas mot inträngande vatten med cementinjektering. På golvet i driftgatorna anläggs körbanor med asfalt/betongbeläggning på ett dräneringslager av kvarvarande lösberg. I deponeringstunnlarna avtäcks golvet helt. Därefter monteras stålbanor för rälsgående fordon för borrning av deponeringshål, för deponeringsutrustning etc. Under drifningen av tunnlar monteras ledningar för ventilation, renvatten, länsvatten, tryckluft, hög- och lågspänning samt kommunikation. Ventilationen sker som blåsande ventilation med evakuering av luften fritt i tunneln fram till de vertikala schakten.

Vid uppskattningarna av stoft tillfört genom ventilationen antas att stoftfilter används i tilluftsledningarna. Mängder av olika ämnen som tillförs med luften sätts till det hygieniska gränsvärdet för respektive ämne. 10 000 m³ vatten antas läcka in i en 250 m lång deponeringstunnel under de 2 år tunneln är i drift. Mängden vatten som tillförs vid borrning och rengöring uppskattas till ca 10 m³ per deponeringshål.

Innan förvaret återfylls rensas tunnlar från vatten och löst material. Eventuellt vattenskadad sprutbetong bilas bort. Återfyllnadsmaterialet till driftgator och deponeringstunnlar fraktas ned i förvaret i containrar som körs med dieseldrivna bergtruckar. Vid återfyllning av deponeringstunnlar används bandtransportörer eller skruvmatare. Materialet packas av en rälsgående fördelnings- och packmaskin. Ledningar, spår och golv med betongyta demonteras allteftersom återfyllningen framskrider. Återfyllningen av deponeringstunnlar sker så snart kapslarna är på plats, parallellt med deponering i andra tunnlar. Då en deponeringstunnel är färdigställd anläggs en tillfällig betongbarriär en bit in från driftgatan. I samband med slutlig återfyllning av driftgatorna rivs de tillfälliga barriärerna. Deponeringstunnlarnas drifttid antas vara ca 2 år. Driftgatornas drifttid bedöms till ca 20 år men de kan komma att hållas öppna under betydligt längre tid.

2.2 Uppskattning av mängden främmande material

Främmande material definieras som byggnadsmaterial och andra material som förs in i deponeringsområdet under byggnads- och deponeringstiden och som blir kvar där efter förslutning. Till *förvarets material* räknas återfyllnadsmaterial, naturligt bergmaterial, bentonitbuffert, grundvatten, dagvatten och bränsleelementkapslar. Mängderna av främmande material har uppskattats av Larsson m fl (1997). Tabell 2-1 visar medel- och maximala mängder av ämnen i främmande material i olika delar av förvaret per kapselposition och driftgata. För deponeringshål anges enbart maximala mängder.

Tabell 2-1 Mängder av främmande material, som kan bli kvar i deponeringsområdet.

Benämning	Kemiskt innehåll	Deponeringshåll	Kapselposition		Driftgata i deponeringsområden	
		(kg)	(kg)		(kg)	
		Max	Medel	Max	Medel	Max
Tändkapslar med ledare	Aluminium	0,1	0,3	0,6	6	12
	Plast	1,0	2,5	5,0	50	100
Sprängämnen	Kväveoxider	<0,1	0,01	<0,1	0,2	0,6
Förstärkningsbultar	Stål	0	60	180	1 500	3 000
Förankringsbultar	Stål	15	10	20	100	200
Cementbruk till bultar	Cement	12	40	120	1 000	3 000
Sprutbetong armering accelerator	Cement	20	250	1 250	16 000	32 000
	Stål	4	25	175	1 600	3 200
	Kalciumklorid	0,5	2,5	12,0	160	320
Injekteringsmaterial	Cement	300	250	1 500	2 400	20 000
	Bentonit	10	8	50	75	600
Golv av asfalt	Bitumen	0,2	0,15	0,8	12	120
Golv av betong	Cement	0	0	0	0	0
Övriga betongkonstruktioner	Cement	750	150	750	1 500	7 500
	Stål	35	7	35	75	375
Däckslitage	Gummi	0,2	0,2	1,0	60	300
Avgaser från dieselmotorer	Kväveoxider	0,1	0,2	0,4	55	170
	Sot och aska	<0,1	0,05	0,1	22	70
Avfettnings- och tvättmedel	Kolväten + övrigt org. material	1,0	0,5	2,5	10	50
Hydraul- och smörjoljor	Kolväten	10	1	20	12	90
Dieselolja	Kolväten	2,0	0,2	4,0	50	350
Batterisyra	Svavelsyra	0,2	0,01	0,3	1,2	9
Metallspån från hårdmetall stålbearbetning	Volfram, kobolt	0,5	0,2	1,0	4	0
	Stål, svetsrester	12,0	1,5	15,0	14	140
Spån, träbearbetning	Trä	0,2	0,2	0,6	50	250
Fragmenterade betongrester	Cement	0	3	60	180	900
Korrosionsprodukter	Rost (FeO)	1,0	0,3	1,5	90	450
	Zink	0,7	0,2	1,0	80	400
Urin	Urinämnen inkl vatten	10	1	20	250	1 250
Övrigt mänskligt avfall	Organiskt material	0,5	0,2	1,4	70	500
Ventilationsluft	Organiskt material	0,5	0,3	1,5	50	150

Vid uppskattningen har hänsyn inte tagits till följder av olyckshändelser, såsom brand, trafikolyckor eller sabotage och inte heller till biologiska processer under driftsperioden innan förvaret förslutes. Uppskattningen av mängderna begränsas till deponeringsområdet inklusive deponeringstunnlar och driftgator t o m 200 m från närmaste deponeringshål. Till driftgator räknas påhugget till deponeringstunnlarna intill 8 m från driftgatan. Centralområdet är inte inkluderat.

Uppskattningen av mängderna av främmande material bygger på generella antaganden av total volym samt om fördelning av främmande material mellan olika delar av förvaret. Bedömningarna och uppskattningarna är gjorda så att de angivna mängderna sannolikt inte kommer att överskridas.

I vissa områden kan dock koncentrationen komma att bli högre än genomsnittet på grund av att ämnen inte släpps ut eller att de inte sprider sig jämnt över förvaret. Detta gäller t ex för tillfälliga arbetsplatser eller vid lokala spill. En del material koncentreras till svaghetszoner och hydrauliskt konduktiva zoner, t ex bergförstärkningar. Hydraulolja, dieselolja, batterisyra och urin kan läcka in i sprickzoner.

2.3 Kemisk sammansättning och mängd av ämnen i främmande material

I den föreliggande rapporten används den maximala och inte den genomsnittliga mängden främmande material i förvarets olika delar för en bedömning av påverkan på förvaret.

Den antagna kemiska sammansättningen hos de främmande materialen, som återges i tabell 2-2, utgör ett viktigt underlag för bedömning av vilken inverkan materialen kan ha på förvarets barriärer.

Tabell 2-2 Kemisk sammansättning hos främmande material.

Material	Underlagsinformation	Kemiskt innehåll	Mängd viktprocent
Cement	Degerhamn standard Portland cement (sammansättning enligt Lagerblad och Trägårdh, 1994). Tillsatser mindre än 3% har inte tagits med.	CaO	65
		SiO ₂	22
		Al ₂ O ₃	3,5
		Fe ₂ O ₃	4,7
		Totalalkali (som % Na ₂ O)	0,5
		Fri kalk	0,8
Rost		Järnoxider	
Zink	Från galvaniserade konstruktioner	Metaller (zink)	
Hårdmetall och hårdmetallspån	Innehåller volframkarbid och kobolt	Metaller (volfram och kobolt)	
Armeringsstål		Metaller (järn)	
Kväveoxider		NO ₂	
Asfaltgolv	Kvarvarande beläggningar antas bestå av 50% asfaltbetong och 50% bitumenstabiliserat bärlager	Bitumen (100% kolväten)	6
		Krossat berg	94
Hydraul-, smörj- och dieseloljor		Kolväten	
Avfettnings- och tvättmedel		Kolväten med ytaktiva egenskaper (t ex tensider)	
Plast		Kolväten	
Gummi	Från däckslitage	Kolväten	97
		Svavel	3
Urin	Genomsnittlig sammansättning av huvudkomponenter. Värden omräknade från Lehninger (1975).	Glukos	<0,02
		Aminosyror	0,42
		Ammoniak	0,67
		Urea	21
		Kreatin	1,3
		Urinsyra	0,58
		Na ⁺	2,5
		K ⁺	1,4
		Ca ²⁺	0,17
		Mg ²⁺	0,13
		Cl ⁻	5,3
		Fosfat	0,99
		Sulfat	1,2
		Bikarbonat	2,5
		Kväve	12
Organiskt material	23		
Annat organiskt material	Ventilationsluft (pollen och insekter), övrigt mänskligt avfall (fimpar, snus, matrester, förpackningar), trä och spån (Curtis, 1979)	Kolväten	96
		Kväve	3
		Fosfor	0,6
		Svavel	0,32
Sot och aska	Huvudsakligen från avgaser	Kolväten (PAH)	Okänd fördelning
		Sulfater	
Kväveoxider	Sprängämnen och avgaser	NO	90
		NO ₂	10
Batterisyra	Svavelsyra, koncentration 28–42%	Svavel	14

Uppgifterna i tabell 2-1 har utgjort grunden för beräkning av mängderna kemiska ämnen per driftgata, kapselposition och deponeringshål. Mängderna redovisas i tabell 2-3, varvid den uppskattade maximala mängden ämnen från främmande material som tillförs olika delar av förvaret vid byggnation och drift anges. Vissa organiska material har sammanförts under rubriker som inte alltid överensstämmer med den kemiska sammansättningen. Vilka material som återfinns under rubrikerna kolhydrater, kolväten och metaller framgår av fotnoterna i tabell 2-3. Bergkross i asfaltbeläggningar för vägbeläggning etc i drifttunnlar har inte tagits med i tabellen med hänsyn till den mycket större mängden bergkross i återfyllnaden.

Tabell 2-3 Beräknade maximala mängder ämnen från främmande material i olika delar av förvaret.

Ämne	Deponeringshål (kg)	Kapselposition (kg)	Driftgata (kg)
Kolhydrater ^a	1,5	4,5	940
Kolväten ^b	15	35	940
Ytaktiva ämnen ^c	1	2,5	50
Kväve	0,19	0,48	86
Svavel	0,06	0,18	13
Fosfat	0,06	0,22	35
K ₂ O	6,7	22	390
CaO	730	2 400	41 000
Na ₂ O	1,3	4,8	80
FeO	1	1,5	450
Fe ₂ O ₃	53	175	3 000
SiO ₂	250	850	14 500
Al ₂ O ₃	41	140	2 300
Metaller ^d	67	430	7 300

^a material som humus, urin, trä, övrigt organiskt material, övrigt mänskligt avfall och organiskt material i ventilationsluft

^b material som smörjmedel, hydrauloljor, avfettningsmedel, tvättmedel, plast, bitumen, gummi (från däckslitage), dieseloljor och sot

^c kolväten med ytaktiva egenskaper som avfettningsmedel och tvättmedel (ingår även i kolväten)

^d metaller som zink, hårdmetall, hårdmetallspån och armeringsstål

3 Barriärmaterial och grundvatten, sammansättning och föroreningar

I detta kapitel redovisas uppskattade mängder av olika barriärmaterial i förvaret samt dess innehåll av olika kemiska ämnen. Förvarets dimensioner (Larsson m fl, 1997), kapslarnas och buffertens vikt och dimensioner (Bäckblom, 1996), mineralsammansättningen hos bentonit (Jacobson och Pusch, 1978; Müller-Vanmoos och Kahr, 1983) och återfyllnadsmaterial (Blatt och Tracey, 1996) samt grundvattensammansättningen (Laaksoharju m fl, 1998) redovisas i bilaga A. Dessa uppgifter har använts för uppskattning av ingående mängder kemiska ämnen och föroreningar. I de fall entydiga analyser av materialen inte funnits tillgängliga har antagna kvalitetskrav på materialen använts för beräkningarna (Bäckblom, 1996). De genomförda beräkningarna redovisas i bilaga B.

3.1 Kopparkapsel

Kapseln för inneslutning av det använda kärnbränslet består av en gjuten segjärnsinsats med ett yttre hölje av koppar. Halterna föroreningar i kapselns kopparhölje återfinnes i bilaga A. Föroreningar i insatsen och kopparkapseln beaktas ej i denna rapport.

3.2 Bentonit

Bufferten kring kapseln i deponeringshålen utgörs av kompakterad bentonit. En meter av den översta delen av deponeringshålen liksom deponeringstunnlar och driftgator planeras att återfyllas av en blandning bestående av 15 viktsprocent bentonit och 85 viktsprocent krossat berg. Mängden bentonit i olika förvarsdelar har uppskattats utgående från värden angivna av Bäckblom (1996) och redovisas i tabell 3-1.

Tabell 3-1 Mängden bentonit i olika förvarsdelar.

Förvarsdel	Mängd bentonit (ton)
Deponeringshål	22,4
Kapselposition	47,5
Driftgata	502

Sjöblom (1998) har för bentonitkvaliteten MX-80 angivit halterna naturligt förekommande ämnen samt föroreningar som tillkommit under utvinning och hantering. Uppskattningen innefattar även föroreningar som tillkommit under frakt, torkning, förvaring och pressning av block. Sjöblom redovisar halterna främmande ämnen under både normala och ”extrema” förhållanden. Ett sammandrag av hans resultat för normala förhållanden för de viktigaste ämnena återfinns i tabell 3-2.

Tabell 3-2 Sammandrag av halter föroreningar i bentonit (Sjöblom, 1998).

Ämne	Halt (vikt/vikt)	Källa
Pyrit	$4 \cdot 10^{-3}$	Lertäkt
Humus	$<10^{-2}$	Lertäkt
Humus	$<10^{-2}$	Brytning
Sot	10^{-6}	Torkning
Smörjmedel	$5 \cdot 10^{-4}$	Pressning av block

I tabell 3-3 har en sammanställning gjorts av viktigare ämnen som förekommer i bentoniten i olika delar av förvaret. Den analys av bentonitmaterialet MX-80 (Jacobson och Pusch, 1978), som återges i Appendix A, ligger huvudsakligen till grund för de uppskattade mängderna.

Tabell 3-3 Mängder av ingående ämnen i bentonit i olika förvarsdelar.

Ämne	Deponeringshål	Kapselposition	Driftgata
	Mängd (kg)	Mängd (kg)	Mängd (kg)
SiO ₂ /Si	14 100	29 900	316 000
Al ₂ O ₃	3 600	7 600	81 000
Fe ₂ O ₃	670	1 400	15 000
Na ₂ O/Na	500	1 000	11 000
Organiskt material (humus)	460	980	10 400
CaO/Ca	250	520	5 500
K ₂ O/K	110	230	2400
Totalsvavel	61	130	1 400
Sulfid	29	62	650
Kväve	4	10	100
Fosfat	2	5	50

3.3 Ballastmaterial i återfyllnad

Deponeringstunneln skall återfyllas med en blandning av bergkross och bentonit. Efter blandning och kompaktering antas återfyllnaden ha en total densitet av $1,9 \text{ ton/m}^3$, vilket motsvarar en porositet av 23% (Birgersson m fl, 1999). Volymandelen bergkross i återfyllnaden blir då 62% och volymandelen bentonit 16%, motsvarande 1,62 ton bergkross och 0,285 ton bentonit per m^3 återfyllnad. Den uppskattade mängden krossat berg i olika delar av förvaret redovisas i tabell 3-4.

Tabell 3-4 Mängden krossat berg som återfyllnad i olika delar av förvaret.

Förvarsdel	Mängd (ton)
Deponeringshål (toppfyllning)	3,9
Kapsel position	150
Driftgata	2 900

Berggrundsbeskrivningar och analyser av mineralsammansättningen har gjorts för tre områden (Aberg, Beberg och Ceberg). För den översiktliga bedömning, som är aktuell för denna rapport, har emellertid de analyser av vissa granitiska och dioritiska bergarter, som angivits av Blatt och Tracey (1996), använts vid beräkningarna. Dessa bergarter antas representera spridningen i mineralsammansättning i representativa bergarter för ett svenskt djupförvar. Den kemiska sammansättningen hos bergarterna återfinns i bilaga A.

Blatt och Tracey anger inga svavelhalter i sina analyser. För den skull har i de uppskattningar, som återfinns i tabell 3-5, det av Bäckblom angivna kvalitetskravet om maximalt 2 000 ppm svavelinnehåll i krossat berg förutsatts. Spridningen i mineralsammansättning är störst avseende CaO/Ca innehållet. Användandet av det lägsta värdet medför att kalciummängderna minskar till ca 10% av det beräknade. För övriga ämnen skulle mängderna minska till 25-80% av de beräknade om de lägsta värdena användes.

Tabell 3-5 Krossat berg. Mängder av ingående ämnen i olika förvarsdelar.

Ämne	Deponeringshål	Kapselposition	Driftgata
	Mängd (kg)	Mängd (kg)	Mängd (kg)
SiO ₂ /Si	2 900	115 000	2150 000
Al ₂ O ₃	640	25 000	477 000
CaO/Ca	330	13 000	244 000
FeO/Fe	270	11 000	203 000
K ₂ O/K	210	8 500	159 000
Na ₂ O/Na	150	6 100	113 000
Fe ₂ O ₃	110	4 200	79 000
Fosfat	14	540	10 200
Totalsvavel	8	310	5 800
Sulfid	8	310	5 800

3.4 Grundvatten

Efter deponering och återfyllning tillförs vatten antingen uppifrån eller som inströmmande grundvatten. I denna rapport antas vattenmätningen av bentoniten ske med grundvatten.

Vid beräkning av volymerna av vatten i deponeringstunnlar och driftgator har antagits att återfyllnaden innehåller 143 kg vatten/m³ (Birgersson m fl, 1999). Mängden vatten i deponeringshålen antas utgöras av spaltvolymen mellan kapsel och bentonitblock och mellan bentonitblock och bergvägg samt vattnet i översta enmeterdelen av återfyllnaden. Den uppskattade mängden vatten som tillförs förvarets olika delar vid återmättnaden redovisas i tabell 3-6.

Tabell 3-6 Uppskattade mängder vatten i olika delar av förvaret efter förslutning.

Förvarsdel	Volym vatten (m ³)
Deponeringshål	2,5
Kapsel position	15,3
Driftgata	257

Grundvattensammansättningen varierar i hög grad mellan typområdena Aberg, Beberg och Ceberg. Även grundvattenprover från samma bergtyp visar avvikande värden. Med tanke på att mängderna tillförda ämnen med grundvattnet kan förväntas vara små har det orealistiska antagandet gjorts att uteslutande välja maximihalterna av olika lösta ämnen för de tre typområdena som bas för ett grundvatten, för vilket mängdberäkningarna skall utföras. De fullständiga tabellerna för vart och ett av områdena finns i bilaga A.

Det bör beaktas att den mineralsammansättning i grundvatten, som ligger till grund för beräkningarna av mängder ämnen i grundvatten, härrör från grundvatten i ”ostört berg”. Då krossberg har mycket större ytor exponerade för vatten än det ”ostörda” berget, kan detta befaras ge upphov till avvikelser i mineralsammansättningen hos vatten i kontakt med krossberg jämfört med ett ”normalt” grundvatten.

En sammanställning har gjorts av ämnen som tillförs med grundvatten för de olika förvarsdelarna. Resultatet återfinnes i tabeller i bilaga B. Ett utdrag av mängder ämnen i grundvatten för olika förvarsdelar visas i tabell 3-7. Med undantag för kalium är mindre mängder inte medtagna. De beräknade mängderna i tabell 3-7 är representativa för ett salt grundvatten. För ett sött grundvatten skulle mängderna lösta ämnen minska med ungefär en faktor tio.

Tabell 3-7 Mängder av lösta ämnen grundvatten i olika förvarsdelar.

Ämne	Deponeringshål	Kapselposition	Driftgata
	Mängd (kg)	Mängd (kg)	Mängd (kg)
Cl	16	98	1 650
Na	5	32	540
Ca	5	29	490
Totalsvavel	0,4	2,8	47
Mg	0,3	1,7	29
K	<0,1	0,1	2

3.5 Kemisk sammansättning och mängder ämnen som införs med förvarets barriärmaterial

En sammanfattning av uppskattade mängder ämnen som införs med förvarets barriärmaterial (bentonit, tunnelåterfyllnad och grundvatten) redovisas i tabell 3-8. De angivna värdena i tabellen är avrundade, en mer detaljerad redovisning av uppskattade mängder som införs med de enskilda barriärmaterialen och grundvattnet finns i bilaga B.

Tabell 3-8 Mängder ämnen som tillförs med förvarets barriärmaterial.

Kemiska ämnen	Deponeringshål (kg)	Kapselposition) (kg)	Driftgata (kg)
SiO ₂ /Si*	17 000	145 000	2 500 000
Al ₂ O ₃	4 200	33 000	560 000
Fe ₂ O ₃ *	780	5 600	94 000
FeO/Fe*	270	11 000	203 000
Na ₂ O/Na*	650	7 100	125 000
CaO/Ca*	580	14 000	250 000
Kolhydrater	450	950	10 000
K ₂ O/K*	320	8 700	160 000
Totalsvavel	69	440	7 200
S i sulfid	37	370	6 500
Klorid	16	98	1 700
Fosfat	16	550	10 200
Kolväten	14	30	300
Kväve	4	10	100

*Förekommer som joner i grundvatten och som oxider i berg och bentonit. Angivna värden är beräknade som oxider.

4 Främmande materials betydelse för processer som kan påverka förvarets långsiktiga funktion

I detta kapitel identifieras de ämnen i främmande material som är av betydelse för förvarsbarriärernas förmåga att isolera och fördröja transport av nuklider. Mängderna av ämnen som kan tillföras förvaret med främmande material jämförs med de mängder som tillförs förvaret med "förvarets material", dvs bentonitbuffert, återfyllnadsmaterial och grundvatten. Mängderna har uppskattats och sammanställts för olika delar av deponeringsområdet i djupförvaret, nämligen för deponeringshål, kapselpositioner (inklusive 6 m deponeringstunnel) och driftgator (40 m), se även figur 1-3.

4.1 Tillförda ämnen – mängder och källor

För olika delar av förvaret ges en samlad översikt av tillförsel av organiska och oorganiska ämnen i främmande material samt i förvarets material. En mer detaljerad redovisning av bidraget av olika ämnen från respektive källor finns i bilaga B.

De beräknade totala mängderna av olika ämnen som kan tillföras deponeringshål med förvarets material bestäms för de flesta ämnen av innehållet i bentoniten. För kapselpositioner och driftgator bestäms innehållet av bergkrossets mineralsammansättning i återfyllnadsmaterialet i deponeringstunnlarna. Variationer i mineralsammansättning hos krossat berg samt i grundvattensammansättning har endast ringa påverkan på ovanstående.

4.1.1 Oorganiska ämnen

Tabell 4-1 sammanfattar mängden av oorganiska ämnen som tillförs förvaret dels med förvarets material och dels med främmande material. I denna tabell redovisas även det procentuella bidraget från främmande material till den totala mängden. Tabellen följs av en genomgång av de viktigare oorganiska ämnena.

Tabell 4-1 Mängd oorganiska ämnen som tillförs med förvarets material respektive främmande material (kg).

Före- ningskälla	Kväve	Total- svavel	Sulfid	Fosfat	K ₂ O/O	CaO/Ca	Na ₂ O/Na	FeO/Fe	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Si	Al ₂ O ₃	Met- aller
Deponeringshål												
Bentonit	4,5	61	29	2	110	250	490		670	14 000	3 600	
Bergkross		8	8	14	210	330	150	270	110	2 900	640	
Grundvat- ten	0,001	0,4	0,0004	0,0001	0,02	5	5	0,001		0,01		
Förvarets material totalt	4,5	69	37	16	320	580	650	270	780	17 000	4 200	
Främmande material	0,2	0,06	–	0,06	7	730	1	1	53	250	41	67
Bidrag från främmande material %	4,3	0,09	–	0,4	2,1	56	0,2	0,4	6,4	1,4	1,0	
Kapselposition												
Bentonit	9,5	130	62	5	230	520	1 000		1 400	30 000	7 600	
Bergkross		310	310	540	8 500	13 000	6 100	11 000	4 200	11 5000	25 000	
Grundvat- ten	0,01	2,8	0,002	0,0006	0,12	29	32	0,03		0,1		
Förvarets material totalt	9,5	440	370	550	8 700	14 000	7 100	11 000	5 600	145 000	33 000	
Främmande material	0,5	0,2	–	0,2	22	2 400	5	2	180	850	140	430
Bidrag från främmande material %	5	0,05	–	0,04	0,3	15	0,07	0,02	3	0,6	0,4	
Driftgata												
Bentonit	100	1 400	650	50	2 400	5 500	11 000		15 000	32 0000	81 000	
Bergkross		5 800	5 800	10 200	159 000	244 000	113 000	203 000	79 000	2 100 000	480 000	
Grundvat- ten	0,1	47	0,04	0,01	2	490	540	0,46		1,4		
Förvarets material totalt	100	7 200	6 500	10 200	160 000	250 000	125 000	203 000	94 000	2 500 000	560 000	
Främmande material	86	13	–	35	390	41 000	80	450	3 000	15 000	2 300	7 300
Bidrag från främmande material %	46	0,2	–	0,3	0,2	14	0,06	0,2	3	0,6	0,4	

Kväve och fosfat

I deponeringshål och kapselpositioner utgör mängden *kväve* som tillförs med främmande material en mycket liten andel, mindre än 5% av den totala kvävemängden och bentoniten är där den största kvävekällan. I driftgatorna kommer emellertid ungefär hälften av kvävebidraget från avgaser och hälften härrör från bentoniten.

Mängden *fosfat* som tillförs med främmande material är mycket liten jämfört med innehållet i bergskross och bentonit och bidrar med mindre än 0,4% av den totala mängden fosfat i förvaret.

Svavel

Svavel i både sulfid- och sulfatform tillförs förvaret huvudsakligen med bentonit och krossat berg. Bentonit är den viktigaste källan i deponeringshål och bergskross den viktigaste källan i tunnlarna. I deponeringshål och kapselpositioner uppgår bidraget från främmande material till mindre än 0,1% av den totala mängden och i driftgator till högst 0,2%.

Kalium

Huvuddelen *kalium* i förvaret kommer ifrån förvarets material, främst bergskross. En mycket liten andel av den totala mängden kalium i förvaret härrör från främmande material, huvudsakligen från betongrester. I deponeringshål bidrar kalium från främmande material med mindre än 2% av den totala mängden och i andra förvarsdelar är bidraget från främmande material ca 0,3%.

Kalcium

Andelen *kalcium* som introduceras med främmande material är relativt hög. Huvudkällan är cementrester från byggnationsfasen. Av förvarets barriärmaterial är bergskross den största kalciumkällan. Under förutsättning att deponeringshålen i botten avjämnas med betong, kan mängden kalciumoxid i deponeringshålen som härrör från främmande material, ca 700 kg, vara större än mängden från förvarets material, ca 600 kg. I både deponeringstunnlar och driftgator beräknas det procentuella bidraget kalciumoxid från främmande material till ca 15% av den totala mängden i förvaret.

Natrium

Andelen *natrium* som tillförs med främmande material till de olika förvarsdelarna är mycket liten, i deponeringshålen 0,2% och i kapselpositioner och driftgator mindre än 0,1% av det totala natriuminnehållet i förvaret. Bentonit och bergskross är de största natriumkällorna och även natriuminnehållet i grundvatten är större än tillskottet av natrium från främmande material.

Järn och metaller

I tabell 4-2 har även mängderna av *järn och metaller* i främmande material tagits med. Mängderna järn i främmande material är små jämförda med järninnehållet i förvarets material. Metaller är en samlingsrubrik för armeringsjärn, zink från galvaniserat järn och stål samt hårdmetaller från skär- och slipmaterial. Metalliskt järn är knappast av intresse att jämföra med förvarets material. Däremot kan korrosionsprodukterna från järnets rostning vara av större betydelse. Sådana jämförelser visar att järntillskotten i form av korrosionsprodukter från främmande material är små i förhållande till mängden

järnoxider i förvarets material. De små tillskotten av zink och hårdmetaller förväntas inte ha någon inverkan på förvarets funktion.

4.1.2 Organiska ämnen

Mängden *organiska ämnen* som kan tillföras förvaret redovisas för tre ämneskategorier: kolhydrater, kolväten och ytaktiva ämnen där mängden ytaktiva ämnen även medräknas i mängden kolväten. Främmande material innehållande ytaktiva ämnen är tvättmedel, avfettningemedel och smörjoljor. I tabell 4-2 anges mängden *ytaktiva ämnen* som kan införas i förvaret under byggnad och drift genom tvätt- och avfettningemedel där halten ytaktiva ämnen antas vara 100%. En uppskattning av totalt tillförda mängder med förvarets material och främmande material samt det procentuella bidraget av främmande material till totala mängden redovisas i tabell 4-2.

Tabell 4-2 Mängder organiska ämnen som tillförs med förvarets material respektive främmande material (kg).

Föroreningskälla	Kolhydrater	Kolväten	Ytaktiva ämnen*
Deponeringshål			
Bentonit	450	14	**
Bergkross	**		
Förvarets material totalt	450	14	
Främmande material	1,5	15	1
Bidrag från främmande material %	0,3	52	100
Kapselposition			
Bentonit	950	29	**
Bergkross	**		
Förvarets material totalt	950	29	
Främmande material	4,5	35	2,5
Bidrag från främmande material %	0,5	55	100
Driftgata			
Bentonit	10 000	310	**
Bergkross	**		
Förvarets material totalt	10 000	310	
Främmande material	940	940	50
Bidrag från främmande material %	9	75	100

* Mängden ytaktiva ämnen ingår även i kolväten

** Förekommer men troligen i försumbara mängder.

Kolhydrater och kolväten

I deponeringshål och kapselpositioner är tillförseln av *kolhydrater* med främmande material mindre än 1% av det totala innehållet. Bentoniten är den största källan för

kolhydrater eftersom organiskt material i bentonit har förts under samlingsrubriken kolhydrater. Det organiska materialet i bentonit består huvudsakligen av humus från lertakten och av ytlig jord beroende på ofullständig avskiljning vid hanteringen.

Bidraget av kolhydrater från främmande material i driftgatorna är ca 10%. Inga uppgifter har hittats för mängder av organiska föreningar i bergkross men en viss kontaminering med organiskt material kan givetvis förekomma. För att bergkross skall bidra med lika mycket organiskt material som bentonit, måste innehållet vara större än 0,4 viktsprocent.

En relativt stor andel av den totala mängden *kolväten* i förvaret härrör från främmande material. I deponeringshål och deponeringstunnel kan bidraget uppgå till hälften av den totala mängden. Vid uppskattningen av mängden kolväten från främmande material har hänsyn tagits till sådana händelser som eventuellt spill. Eftersom man troligen inte spillt överallt är skattningen pessimistisk som ett allmänt gällande värde, medan det lokalt kan stämma väl eller t o m vara en underskattning. I driftgatorna är främmande material den dominerande källan för kolväten.

Mängden organiskt kol i grundvatten är försumbar jämfört med andra kolkällor.

De kolväten och kolhydrater som finns i främmande material i förvaret är organiska kolkällor med olika nedbrytbarhet. Det organiska materialet kan fungera som kolkälla vid tillväxt av heterotrofa bakterier, både aeroba, som använder syre som elektronacceptor vid andning, och anaeroba, som använder andra elektronacceptorer, t ex sulfatjoner, ferrijoner eller andra oxiderade metaller.

Ytaktiva ämnen

Närvaron av ytaktiva ämnen i olika delar av förvaret kan påverka transporten av radionuklider. Mängden ytaktiva ämnen tillförda med tvätt- och avfettningsmedel redovisas i tabell 4-2. Ytaktiva ämnen förekommer också i smörjolja och hydraulolja men uppgifter om mängder saknas. Uppskattade maximala mängder smörjolja i bentonit samt smörj- och hydraulolja tillförda med främmande material redovisas i tabell 4-3. Rester av smörj- och hydraulolja kan även förekomma i bergkross men mängderna har ej kunnat skattas.

Tabell 4-3 Hydraulolja och smörjolja som tillförs förvaret med bentonit respektive främmande material.

Förvarsdel	Smörjolja i bentonit (kg)	Hydraulolja i bentonit (kg)	Hydraul- och smörjolja i främmande material (kg)
Deponeringshål	11	0,5	10
Kapselposition	24	1	20
Driftgata	250	10	90

Om man räknar med att halterna ytaktiva ämnen i de hydraul- och smörjolja som kan förekomma som förorening i bentoniten är ungefär lika stora som halterna i hydraul-

och smörjoljor i främmande material, bör mängden ytaktiva ämnen från dessa båda källor vara ungefär lika i deponeringshål och kapselpositioner. I driftgatorna däremot dominerar bidraget från bentoniten.

4.2 Påverkade processer

Av tabellerna 4-1, 4-2 och 4-3 framgår att andelen ämnen som tillförs med främmande material är liten jämfört med mängden ämnen som tillförs med bentonit och bergkross. Den mängd lösta ämnen som tillförs med grundvatten är försumbar jämfört med mängden motsvarande ämnen i bentonit och bergkross.

Många processer kan ha betydelse för den långsiktiga säkerheten i ett djupförvar för radioaktivt avfall. En fullständig genomgång av interaktioner och processer återfinns i bilaga C. Tabellerna i bilagan har använts för att identifiera de processer som kan påverkas av främmande material. Information i Interaktionsmatriser (Pers m fl, 1999) och Processrapporten (SKB, 1999) har utnyttjats för att identifiera processerna.

I tabell 4-4 finns en sammanställning av de identifierade processerna och ämnen som kan vara av betydelse för dem. Detaljerade redogörelser av processer av betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet ges i Processrapporten (SKB, 1999).

Tabell 4-4 Identifierade processer och ämnen i främmande material som kan påverka processerna.

Förvarsdel	Process	Tillfört ämne
Kapsel	Korrosion	Sulfider
	Mikrobiell aktivitet som leder till bildande av sulfid, kräver närvaro av vissa ämnen samt vatten	Organiskt material, näringsämnen t ex fosfor, kväve
Buffert av bentonit	Illitisering	Kalium
	Jonbyte	Kalcium, metalljoner, organiska molekyler
	Processer som ger cementering	CaOH och högt pH
	Radionuklidtransport, bildande av komplex direkt eller genom mikrobiell aktivitet	Organiskt material, ytaktiva ämnen, näringsämnen, t ex fosfor och kväve
Tunnelåterfyllnad	Degradering av bentonit (se bentonitbuffert)	
	Radionuklidtransport, bildande av komplex direkt eller genom mikrobiell aktivitet	Organiskt material, ytaktiva ämnen, näringsämnen t ex fosfor, kväve

4.3 Betydelsen för förvarets långsiktiga funktion

För kapsel, bentonitbuffert och tunnelåterfyllnad redovisas i avsnittet hur ämnen i främmande material kan påverka processer och barriärfunktioner, satt i relation till påverkan av ämnen tillförda med förvarets material. Vidare analyseras hur ämnen i främmande material kan påverka radionuklidtransporten i barriärerna.

Då förvaret stängs finns främmande material företrädevis i anslutning till tunnarnas och deponeringshålens ytor och bergsprickor nära dem. Ämnen från främmande material kan lösas i grundvattnet och transporteras med det. Under drifttiden påverkas grundvattenflödet av pumpning, flödesriktningen är in mot tunnlar och deponeringshål. Ämnen som vid förslutningen av förvaret finns i deponeringshålen är direkt tillgängliga för processer som kan påverka bentonitbufferten, för påverkan på kapseln kan transport genom bufferten krävas. Främmande material som vid förslutningen finns i deponeringstunnlarna kan direkt påverka tunnelåterfyllnaden men måste transporteras till bentonitbufferten för att påverka den, och även genom bufferten för att nå kapseln. Ämnen i driftgator måste transporteras längre väg för att nå buffert och kapsel.

4.3.1 Kapsel

Kapseln består av en inre behållare av gjutjärn och ett ytterhölje av koppar som utgör korrosionsbarriär. Främmande material kan påverka kapseln genom att tillföra lösta ämnen som kan leda till kapselkorrosion alternativt påverka processer som innebär bildning av korrodanter.

Korrosion

Vid de studier som gjorts (SKB, 1999) har under anaeroba förhållanden endast förekomst av sulfider identifierats som viktig för eventuell kapselkorrosion. Sulfid kan tillföras direkt eller bildas genom reduktion av sulfat. Några uppskattningar av sulfid-innehåll i främmande material har inte kunnat göras på grund av brist på utförda undersökningar, i tabell 4-1 anges därför endast totalsvavelhalten.

Mängden svavel (sulfid och sulfat) tillförd med främmande material är mindre än 0,1% i deponeringshål och kapselpositioner samt ca 0,2% i driftgator, se tabell 4-1. Den mängd svavel som tillförs förvaret med främmande material är liten i jämförelse med sulfidinnehållet i barriärmaterialen och bedöms därför inte att kunna ge något bidrag till kapselkorrosionen.

Mikrobiell aktivitet som leder till sulfidbildning

En källa till sulfidbildning kan vara inverkan av sulfatreducerande bakterier. För att den erforderliga mikrobiella processen skall kunna påbörjas och fortgå krävs tillgång till lämpliga näringsämnen, såsom kväve och fosfor, och någon kolkälla för reproduktionen (SKB, 1999).

Den möjliga mängden sulfider bildad genom mikrobiell aktivitet på grund av tillförelse av främmande material begränsas av den tillförda mängden svavel, se ovan. Det organiska

materialet och näringsämnena tillfört med främmande material kan dock bidra till reduktion av sulfat från andra källor än främmande material.

Tillskott av kväve (tabell 4-1) och kol (beräknad ur summan av kolhydrater och kolväten, 4–5% kolinnehåll i vardera, tabell 4-2) som kan tillföras med främmande material kan innebära en ökning av tillväxten av sulfatreducerande bakterier baserad på bentonitens sulfatinnehåll. Eftersom man inte kan förutsätta direkt proportionalitet mot kväve och kol är det inte möjligt att med nuvarande underlag förutse hur stor ökningen i sulfidbildning skulle kunna bli. Tillväxten av sulfatreducerande bakterier är dock beroende av tillgång till vatten, men den är även känslig för yttre miljöfaktorer såsom tryck, temperatur och strålning. Undersökningar (Pedersen m fl, 1995) visar att överlevnaden av sulfatreducerande bakterier beror på tillgängligheten av vatten och i en buffert av högkompakterad bentonit (densitet på $2,0 \text{ g/cm}^3$) bedöms bakterierna inte kunna överleva. Men enligt (Pedersen, 1997) är det teoretiskt möjligt att sulfidproducerande mikrober kan vara aktiva i bufferten. I deponeringshålerna bedöms dock det initiala innehållet av sulfider i bentonitbufferten utgöra den viktigaste sulfidkällan för kapselkorrosion.

I deponeringstunnlar och driftgator är tillgängligheten av vatten större än i bufferten runt kapseln, vilket ökar möjligheten för mikrobiell aktivitet, och tillväxt av svavelreducerande bakterier. Om densiteten på bentonitkomponenten i återfyllnaden är tillräckligt hög skulle även den mikrobiella aktiviteten i deponerings- och drifttunnlar kunna begränsas av vattentillgången, se ovan. Förutom av vattenbrist kan tillgången till näringsämnen, särskilt kväve och fosfor begränsa den mikrobiella tillväxten i förvaret. En kanadensisk undersökning (Stroes-Gascoyne, 1994) har visat att en begränsning av tillgången till kväve och fosfor hämmar mikrobers populationsstorlek i ett förvar. Den bildade sulfiden i tunnlar och närberg måste dock transporteras via bufferten in till kapselytan.

4.3.2 Bentonitbuffert

Bentonitbufferten skall förhindra eller fördröja intransport av korroderanter till kapseln, uttransport av eventuellt frigjorda radionuklider samt även mekaniskt skydda kapseln. Ett antal kemiska och mineralogiska processer kan påverka bentonitens reologiska egenskaper och ge upphov till cementering av bentoniten (SKB, 1999). Främmande material kan vara en källa för ämnen som kan påverka buffertens egenskaper, radionuklidspicieringen och därmed även radionuklidtransporten genom bufferten.

Illitisering

En omvandling av montmorillonit till illit kan leda till en försämring av bentonitens egenskaper (SKB, 1999). Hög temperatur och närvaro av kalium i förvaret medför en degradering av smektitkomponenten i bentonit genom illitisering. Smektit-illitkonvertering av bentonit i deponeringshål har modellerats av Hökmark (1995). Kaliumkällan antas vara kaliuminnehållande mineral i bergkross i tunnelåterfyllnaden. Kalium finns i sådana mineral som kalifältspat, karbonater och biotit (Hökmark, 1995). Beräkningarna visar att illitisering av bufferten inte begränsas enbart av kaliumtransport, utan också är beroende av temperatur, smektitinnehåll och kaliumkoncentration i porvattnet.

Mängden kalium som introduceras med främmande material, huvudsakligen betongrester, är mycket liten jämfört med den mängd som tillförs med krossat berg. I deponeringshålen beräknas andelen kalium från främmande material till 2% (tabell 4-1) av den totala mängden kalium och bedöms därför inte påverka illitiseringsen. I kapselpositioner och driftgator är andelen ännu mindre, ca 0,3% (tabell 4-1).

Jonbyte

Jonbyte påverkar den mikrostrukturella uppbyggnaden och de fysikaliska egenskaperna hos smektitiska lermineral. Utbyte av natrium mot flervärda katjoner, t ex kalcium och metalljoner, kan öka den hydrauliska konduktiviteten samt påverka svälltryck och svällbarhet. Även vissa organiska molekyler kan bindas genom jonbyte (SKB, 1999).

Främmande material i form av cementrester kan utgöra en betydande källa för kalcium i deponeringshålen, se tabell 4-1. Under förutsättning att kalcium tillfört med främmande material är tillgängligt för jonbytesprocessen kan det vara av betydelse för buffertens egenskaper.

Korrosionsprodukter från järn kan påverka bentonit på samma sätt som kalcium, dvs envärt natrium i bentonit ersätts med tvåvärda metaller, vilket medför en försämring av bentonitens egenskaper (Pusch och Börgesson, 1992). Mängderna järn och andra metaller som tillförs förvaret med främmande material är små i förhållande till järninnehållet i förvarets material, t ex i bergkross, se tabell 4-1.

Processer som ger cementering

Upplösning och utfällning av mineral är exempel på processer som kan orsaka cementering i bentoniten (SKB, 1999).

Kalcium från främmande material kan påverka bentoniten genom jonbyte men även genom utfällning/upplösning. Kalciumsulfater och kalciter är exempel på föreningar som har högre löslighet vid lägre temperatur och kan därmed åstadkomma cementeringseffekter i bufferten närmast kapslarna. De lösliga alkalihydroxider som finns i färsk betong orsakar högt pH i porvattnet i betongen. Om vatten med högt pH kommer i kontakt med bentonit kan det påverka upplösning/utfällningen av kisel och därmed åstadkomma cementering av bentoniten. Cementeringsprocessen går snabbare vid högre temperaturer, över 80–90°C. En låg temperatur i de yttre delarna av bentonitbufferten utgör därför en begränsande faktor.

Cement och betongmaterial i deponeringshålen är enligt Larsson m fl (1997) en betydande kalciumkälla och kan bidra med mer än hälften av det totala kalciuminnehållet i deponeringshålen, se tabell 4-1. Det tillförda kalciet finns framförallt i bottenavjämningen och som injektering i sprickor i väggarna. Om det är tillgängligt för cementeringsprocesser i bufferten innebär det att främmande material kan ha stor inverkan på cementeringen av buffertmaterialet.

Radionuklidtransport

Förutom av barriärernas fysikaliska egenskaper kan radionuklidernas migration genom och ut från slutförvaret även påverkas av ämnen som inverkar på deras löslighet och sorption i barriärmaterialen (Vilks m fl, 1997). Sådana ämnen är t ex komplexbildare, vilka kan tillföras förvaret antingen med förvarets barriärmaterial, med främmande material eller vara ett resultat av mikrobiell aktivitet. Gruppen komplexbildare innefattar bl a humussyror och ytaktiva ämnen i smörjoljerester.

Ytaktiva ämnen som tillförs med främmande material och som kan tjäna som komplexbildare finns främst i tvätt- och avfettningsmedel samt i smörjoljor. Skattningen av ytaktiva ämnen tillförda till deponeringshålen visar att mängderna är små, men uppgifterna är osäkra. Med tillgänglig information är det därför inte möjligt att korrekt bedöma vilken betydelse dessa ämnen har för radionuklidtransporten genom bufferten.

Den mikrobiella aktiviteten i bufferten begränsas av vattentillgången (avsnitt 4.3.1) och förväntas därmed inte bidra med några komplexbildare. Mängderna organiskt material som tillförs med främmande material och som kan tjäna som komplexbildare bedöms inte heller påverka radionuklidtransporten eftersom de är mycket små jämfört med de mängder som tillförs med barriärmaterialen, huvudsakligen med bentoniten.

4.3.3 Tunnelåterfyllnad

De olika tunnlar i förvaret återfylls med en blandning av bentonit och bergkross. En försämring av tunnelåterfyllnadens funktion, t ex en ökning av dess vattengenomsläpplighet, kan orsakas av en degradering av återfyllnadens bentonitkomponent. De processer som kan förändra bentonitkomponentens egenskaper beskrivs i avsnitt 4.3.2 Bentonitbuffert.

Degradering av bentonit

Enligt en utredning av Karnland m fl (1995) förväntas illitisering av bentonit främst äg rum i tunnelåterfyllnaden. Beroende på den ringa andel kalium, 0,2% (tabell 4-1), som tillförs med främmande material jämfört med innehållet i de naturliga materialen bergkross och bentonit, kan bidraget till illitiseringen från kaliuminnehållet i de främmande materialen försummas.

Cementeringseffekter orsakas bl a av utlösning av kalcium, som i förvarets deponeringstunnlar och driftgator främst förekommer i injekteringsmaterial, betongkonstruktioner och beläggningar av tunnelgolv. Kalciuminnehållet i dessa material beräknas till 15% (tabell 4-1) av det totala kalciuminnehållet i bergkross och bentonit. Med tanke på att injekteringsställena och betongkonstruktioner inte är "jämnt" utspridda över förvaret, kan lokalt större påverkan på bentonit på grund av cementering förekomma i närheten av dessa konstruktioner med risk för lokalt högre vattengenomsläpplighet i tunnelåterfyllnaden.

Bakterier i tunnelåterfyllningen skulle, om det finns näringsämnen, kunna bilda organiska restprodukter av olika slag. I driftgatorna kommer ca 15% (beräknad ur tabell 4-2) av det organiska kolet (summan av kolhydrater och kolväten) från

främmande material. Främmande material, huvudsakligen avgaser, bidrar där också med nästan hälften (tabell 4-1) av den totala mängden kväve. I deponeringshålen begränsas den mikrobiella tillväxten av de fysikaliska och kemiska förhållandena. I driftgatorna kan omständigheterna däremot vara mer gynnsamma och sannolikheten för en mikrobiell tillväxt är därför större, med risk för påverkan på bentonitens mikrostrukturella uppbyggnad.

Järn- och stålkonstruktioner i deponeringstunnlar och driftgator kan medföra att höga halter av korrosionsprodukter kan uppkomma lokalt. Även höga halter av kalcium kan uppkomma lokalt i tunnelåterfyllnaden, se ovan. Kalcium och andra tvåvärdade metaller kan genom jonbyte med natrium i bentonitkomponenten medföra att tunnelåterfyllnadens hydrauliska egenskaper försämras.

Radionuklidtransport

Radionuklidtransporten påverkas av komplexbildare, bl a ytaktiva ämnen, humussyror och ämnen som bildas p g a mikrobiell aktivitet, se även avsnitt 4.3.2 Bentonitbuffert. Främmande material är den klart dominerande källan till ytaktiva ämnen, mängden är liten men liksom för deponeringshålen är uppgifterna osäkra och den säkerhetsmässiga betydelsen svårbedömbär.

En mikrobiell tillväxt kan leda till bildning av organiska komplexbildare eller partikulärt material i grundvattnet med påverkan på radionuklidtransporten som följd. Mikrobiell tillväxt kan också resultera i gasbildning. Komplexbildare som bildas genom mikrobiell aktivitet är av potentiell betydelse i deponeringstunnlar och driftgator, där de kemiska och fysiska förhållandena inte är begränsande för mikrobiell tillväxt.

En preliminär bedömning ger vid handen att risken för ökad radionuklidmigration p g a främmande material inte kan försummas för tunneldelarna av förvaret. Inte minst ytaktiva ämnen kan ha en betydande inverkan på radionuklidernas mobilitet.

5 Diskussion och slutsatser

I rapporten har ämnen tillförda med främmande material satts i relation till halterna i förvarets material. Processer med betydelse för förvarets långsiktiga säkerhet som kan påverkas av de främmande ämnena har identifierats (Pers m fl, 1999). Utredningen bygger på uppgifter som angivits för förvarets konstruktion (Bäckblom, 1996), kännedom om sammansättning och föroreningar i förvarets material (se bilaga A), samt på uppskattningar av mängder av tillfört främmande material i samband med uppförande och drift av förvaret (Larsson m fl, 1997).

Larsson anger (tabell 2-1) dels medelvärden och dels maximivärden. För deponeringshål anges dock enbart maximivärden. Maximivärdena för olika ämnen i tabellen är mellan 2 och 20 gånger medelvärdena. Stora skillnader mellan maximi- och medelvärden uppvisar framför allt cement och kolhaltiga material (kolväten och humanavfall). Att vissa ämnen uppvisar stora skillnader mellan maximi- och medelvärden tyder på att dessa är ojämnt fördelade i förvaret.

I den föreliggande rapporten har maximivärden från Larssons tabell använts och jämförts med innehållet i förvarets material. Detta innebär i allmänhet en överskattning av mängden främmande material. Lokalt kan dock främmande material ge motsvarande eller t o m högre koncentrationer av vissa ämnen. Detta osäkerhetsmoment synes särskilt relevant för eventuell utlakning av kalcium från insatta betongkonstruktioner i förvaret. Kalciuminnehållet i förvarets material kan vara betydligt högre än de som tillförts med främmande material räknat som medelvärden över hela förvaret. Men lokalt kan en betongkonstruktion ge kalciumutlakning och leda till cementeringsprocesser, som kan försämra bentonitbuffertens och återfyllnadsmaterialets egenskaper.

Kalciumpåverkan på bentonit i deponeringshålarna förtjänar särskild uppmärksamhet. Av Larssons rapport synes framgå att han dels räknar med att betong tillförs i botten av deponeringshålarna för avjämning, dels att blandningar av cement och bentonit används för tätning av sprickor i deponeringshålens väggar och dels att betong används som konstruktionsmaterial runt hålens överkant. Sammanlagt ger detta en betydande kalciumkälla med åtföljande risk för cementering av bentonitbarriären.

Osäkerheter föreligger om innehållet av föroreningar i förvarets barriärmaterial. De analyser av bentonit som har använts är relativt gamla och har utförts på bentonitkvaliteten MX-80 (Jacobsson och Pusch, 1978; Müller-Vanmoos och Kahr, 1983) och bör verifieras av senare analyser. Bentonitens innehåll av jordmaterial och smörjmedel är en grov uppskattning (Sjöblom, 1998) som likaledes bör verifieras med analyser på ett större material. Bergkrossets innehåll av föroreningar är i stort sett okänt.

Rapporten behandlar enbart betydelsen av tillfört främmande material, den säkerhetsmässiga betydelsen av förvarsmaterialens sammansättning förutsätts utredas på annan plats. Slutsatserna i rapporten bygger huvudsakligen på jämförelser mellan förekommande mängder ämnen i främmande respektive förvarets material. För att uppskatta inverkan på de identifierade processerna krävs även en uppskattning av de olika ämnenas tillgänglighet för de identifierade processerna. Ett exempel är hur stor andel av kalium- och kalciuminnehållet i bentonit, bergkross respektive cementrester som är tillgängligt för degraderingen av bentonitmaterialet. Jämförelsen av mängder är ett

första steg i bedömningen av de tillförda ämnenas betydelse. I de fall mängderna är stora bör en mer detaljerad analys genomföras.

Av den utredning som gjorts och som redovisas i denna rapport framgår att mängderna av olika ämnen i främmande material i förvaret i allmänhet är låga i jämförelse med deras förekomst i förvarets material. Ett viktigt undantag är kalciumförekomsten i deponeringshålen, där kalcium i huvudsak från cement utgör mer än hälften av den totala mängden.

I drift- och deponeringstunnlar kan höga koncentrationer av främmande material förekomma lokalt och eventuellt leda till degradering av bentonitkomponenten med försämrade egenskaper hos återfyllnadsmaterialet som följd.

Tillförsel av organiska ämnen med främmande material samt närvaro av näringsämnen, kväve, fosfor och vatten kan förbättra förutsättningarna för mikrobiell tillväxt. I deponeringshålen begränsas den mikrobiella aktiviteten av ogynnsamma kemiska och fysikaliska förhållanden, men i tunnelåterfyllnaden är förhållandena mer gynnsamma. Det kan inte uteslutas att bildade komplexbildare och inte minst ytaktiva ämnen kan ha en betydande inverkan på radionuklidernas mobilitet i tunneldelarna av förvaret.

Det sifferunderlag som använts för utredningen är behäftat med betydande osäkerheter. Vår bedömning är emellertid att de ovan angivna allmänna slutsatserna bör vara korrekta, även om angivna enskilda värden på uppskattade mängder kan ifrågasättas.

6 Referenser

- Birgersson L, Pers K och Wiborgh M, 1999. JADE rapport (under utgivning).
- Blatt H och Tracey, R J, 1996. Petrology: igneous, sedimentary and metamorphic, (2nd edition), W H Freeman & Co.
- Bäckblom G, 1996. Preliminär utformning av djupförvarets närområde, SKB rapport AR D-96-011, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Curtis H, 1979. Biology, Worth, New York, USA.
- Forsgren E, Lange F och Larsson H, 1996. SFL 3–5 Layoutstudie, SKB rapport AR D-96-016, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Hökmark H, 1995. Smectite to illite conversion in bentonite buffers. An application of a technique for modelling degradation processes, SKB rapport AR 95-07, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Jacobsson A och Pusch R, 1978. Egenskaper hos bentonitbaserat buffertmaterial. KBS Teknisk Rapport 32, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Karnland O, Warfvinge P och Pusch R, 1995. Smectite to illite conversion models. Factors of importance for KBS 3 conditions, SKB rapport AR 95-27, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Laaksoharju M, Gurban I och Skårman C, 1998. Summary of hydrochemical conditions at Aberg, Beberg and Ceberg, SKB rapport TR 98-03, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Larsson H, Kenne A och Edelsvärd C, 1997. Främmande material i djupförvaret. Tillförsel och fördelning i deponeringsområdena för kapslar, SKB rapport PR D-97-06, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Lagerblad B och Trägårdh J, 1995 (1994). Conceptual model for concrete degradation in a deep nuclear waste repository, SKB rapport TR 95-21, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.
- Lehninger A L, 1975. Biochemistry, Worth, New York, USA.
- Müller-Vanmoos M och Kahr G, 1983. Mineralogische Untersuchungen von Wyoming Bentonit MX-80 und Montigel, Nagra NTB 83-12, Schweiz.
- Olkiewicz A och Arnefors J, 1981. Berggrundsbeskrivning av undersökningsområdet vid Finnsjön i norra Uppland, SKBF rapport AR 81-35.
- 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 rapport TR 95-27.
- Pedersen K, 1997. Investigations of subterranean micro-organisms and their importance for performance assessment of radioactive waste disposal. The results and conclusions achieved during the period 1995 to 1997, SKB rapport TR 97-22.
- Pers K, Skagius K, Södergren S, Wiborgh M, Bruno J, Pusch R, Hedin A, Morén L, Sellin P and Ström A, 1999. SR 97 - Identification and Structuring of Processes, SKB rapport TR-99-20, Svensk Kärnbränslehantering AB.

- Pusch R, Börgesson L, 1992. Performance assessment of clay barriers in three repository concepts: VDH, KBS-3 and VLH SKB rapport TR 92-40.
- Sjöblom R, 1998. Främmande material i bentonit, SKB Rapport R-98-21.
- Skagius K, Ström A och Wiborgh M, 1995. The use of interaction matrices for identification, structuring and ranking of FEPs in repository system. Application on the far field of a deep geological repository for spent fuel, SKB rapport TR 95-22.
- SKB, 1999, SR 97 Processer i förvarets utveckling, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Stroes-Gascoyne S and West J M, 1994. Microbial issues pertaining to the Canadian concept for the disposal of nuclear fuel waste, AECL-10808, COG-93-54, Chalk River, Ontario, Canada.
- Vilks P, Goulard M, Stroes-Gascoyne S, Haveman S A, Bachinski D B, Hamon C J and Comba R, 1997. Organic material in clay-based buffer materials and its potential impact on radionuclide transport, AECL-11706, COG-96-539-1, Chalk River, Ontario, Canada.
- Wiborgh M och Markström A, 1991. Compilation of potential chemical toxic elements in a copper canister containing HLW, Kemakta AR 91-25.
- Wiborgh M, 1995. Prestudy of final disposal of long-lived low and intermediate level waste. SKB rapport TR 95-03.

Bilaga A

Förvarets dimensioner och antagen sammansättning hos barriärmaterial och grundvatten

Förvarets dimensioner

Tabell A-1 Uppskattade dimensioner i förvaret (Larsson m fl, 1997).

Deponeringshål	Deponeringshål (diameter/djup)	1,75/8 m
	c/c deponeringshål	6 m
	Borrad volym (totalt)	87 000 m ³
	Volym per hål	19,2 m ³
Deponeringstunnlar	Antal deponeringstunnlar	120 st
	c/c deponeringstunnlar	40 m
	area deponeringstunnlar	15 m ²
	längd, deponeringstunnel (1 st)	250 m
	längd deponeringstunnlar	30 000 m
	volym deponeringstunnlar (totalt)	450 000 m ³
	volym per 6 m deponeringstunnel	90 m ³
	volym per 6 m deponeringstunnel inkl deponeringshål	109,2 m ³
Driftgator	area driftgator	40 m ²
	längd driftgator (totalt)	4 700 m
	volym driftgator (exkl påhugg)	188 000 m ³
	volym påhugg	24 000 m ³
	total volym driftgator	212 000 m ³
	volym per 40 m driftgata	1 800 m ³

Kapsel och bentonitbuffert

Tabell A-2 Kapselns vikt och buffertens dimensioner* (Bäckblom, 1996).

Systemdel	Dimensioner	
Kapsel	Vikt (kg)	21 020 (tom) ±1 000
Kapselhölje (koppar)	Vikt (kg)	7 410
Kapselinsats (segjärn)	Vikt (kg)	13 610
Kapsellock (koppar)	Vikt (kg)	500
Bottenbuffert (bentonit)	Diameter (mm)	1 750 ±5
	Höjd (mm)	500 ±10
Väggbuffert (bentonit)	Ytterdiameter (mm)	1 750 ±5
	Innerdiameter (mm)	1 070 ±5
Toppbuffert (bentonit)	Diameter (mm)	1 750 ±5
	Höjd (mm)	>1 500
Kapsel/buffertspalt	Öppning(mm)	10±5
Berg/buffertspalt	Öppning(mm)	50±50
Toppfyllning (bentonit- krossberg, 15/85)	Diameter(mm)	1 750 ±5
	Höjd(mm)	ca 1 000
Bottenavjämning (kvarssand)	Diameter(mm)	1 750 ±5
	Höjd(mm)	100 ±50

* För BWR-bränsle.

Tabell A-3 Potentiella föroreningar i kapselns kopparhölje (Wiborgh och Markström, 1991).

Ämne	Halt (ppm)	Mängd/kapsel (kg)
Silver	15	0,12
Arsenik	1	0,008
Vismut	0,15	0,001
Nickel	1	0,008
Bly	1	0,008
Antimon	1	0,008
Selen	0,5	0,004
Tellur	0,5	0,004
Syre	10	0,08
Väte	2	0,02
Svavel	6	0,05
Fosfor	50	0,4

Tabell A-4 Totalanalys av bentonit MX-80.

Ämne	Jacobsson och Pusch (1978)	Müller och Kahr (1983)
	Viktsprocent	Viktsprocent
Ej analyserad andel* (glödgningsförlust 950°C)	12,3	
SiO ₂	63,0	60,25
Al ₂ O ₃	16,1	19,61
Fe ₂ O ₃	3,0	3,75
CaO	1,1	1,83
MgO	1,6	2,38
Na ₂ O	2,2	0,03
K ₂ O	0,48	0,6
Li ₂ O	<0,01	
MnO	0,03	0,001
TiO ₂	0,10	spår
F	0,10	
Cl	<0,01	
S**	0,23; 0,27	
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** i sulfider	0,10; 0,13	

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

**) Olika uppgifter, mätt på bentonit i leveranstillstånd.

Tabell A-5 Halt främmande ämnen i bentonit under normala och extrema förhållanden. Föroreningskälla och fördelning vid normala förhållanden (Sjöblom, 1998).

Ämne	Normala förhållanden			Extrema förhållanden	
	Halt vikt/vikt	Källa	Fördelning	Halt vikt/vikt	Källa
Pyrit	ca $4 \cdot 10^{-3}$	I lertakten	Sannolikt väl fördelat		
Humus	$< 1 \cdot 10^{-2}$	I lertakten	Sannolikt väl fördelat	Ca $1 \cdot 10^{-2**}$	Brytning – täcksikt
Humus	$< 1 \cdot 10^{-2}$	Brytning (begränsad separation med täckande lager)	Sannolikt väl fördelat, omblandning under hantering		
Sot	ca $1 \cdot 10^{-6}$	Torkning	Oftast jämnt, viss blandning*	Ca $1 \cdot 10^{-4}$	Torkning – fel vid förbränning
Smörjmedel	$< 1 \cdot 10^{-7}$	Lufttorkning vid fyndighet Transport och lagring (lastning/lossning)	Oftast jämnt, god blandning*	Ca $1 \cdot 10^{-6}$	Lufttorkning – oljeläckage Gammalt fordon som läcker olja
Smörjmedel	ca $5 \cdot 10^{-4}$	Pressning av block	I anslutning till mantelyta som i högre grad exponeras för fukt och luftsyre	Ca $5 \cdot 10^{-4}$	Samma antagande som vanliga förhållanden
Hydrauloljor	$< 2 \cdot 10^{-6}$	Transport och lagring (lastning/lossning)		Ca $2 \cdot 10^{-5}$	Läckande hydraulcylinder i samband med lossning av fartyg
Havsvatten	Försumbart			Ca $2 \cdot 10^{-4***}$	Inläckage till följd av otäthet i fartyg.

* Förhöjd halt kan förekomma hos en liten del av volymen

** Halten omfattar föroreningar från brytningen, det behandlingssteg som bedöms vara mest betydelsefullt för humushalten.

*** Räknet som torrt salt

Tabell A-6 Mineralsammansättning hos MX-80 (Jacobson och Pusch, 1978).

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

Tabell A-7 Kvalitetskrav på föroreningar i bentonit och bergkross (Bäckblom, 1996).

	Bentonit	Bergkross
Organiskt innehåll	<2 000 ppm	
Totalsvavel	<2 000 ppm	<2 000 ppm
Karbonatinnehåll		<1%
Kalimineral		<5%

Bergkross

Aberg

Smålandsgranit dominerar i området. En tätare, mer basisk variant av mineralen har identifierats, Äspödiorit. Tunna stråk av finkornig granit har också detekterats.

Beberg

Området ligger i en skiktad, gråaktig granodioritisk intrusion. Gångar av pegmatit, metabasit och aplit förekommer i granodioriten och små områden med granit och hornbländiter förekommer i områdets utkanter. Granodiorit innehåller i princip mineralerna kvarts, plagioklas, kaliumfältspat och hornblände. Kalcit är det vanligaste sprickfyllnadsmineralet (Olkiewicz och Arnefors, 1981).

Ceberg

Ceberg, med stor andel metamorfa bergarter avviker från Aberg och Beberg. Området ligger i en migmatiserad, ådrad gneissenhet av sedimentärt ursprung, som innehåller gråvacka med underliggande skiffer och fyllit. Doloritiska gångar på 0,5-15 m återfinns i ytan och i borrhål inom området som subvertikala gångar. Mineralsammansättningen och bergets kemi beror av ursprunglig bergart och graden av metamorfos. De uppgifter som finns (t ex om grundvattensammansättning och förekomst av dolorit) tyder på höga CaO halter.

I denna rapport har granit och diorit studerats eftersom dessa bergarter sannolikt representerar den mineralspridning som förekommer vid Aberg och Beberg.

Tabell A-8 Kemisk sammansättning hos vissa vulkaniska bergarter. (Blatt och Tracey, 1996).

	Granit	Alkaliska graniter	Kvartsdioriter	Dioriter
	%	%	%	%
SiO ₂	72,02	73,86	66,15	51,86
Ti O ₂	0,37	0,20	0,62	1,50
Al ₂ O ₂	12,86	13,75	15,56	16,40
Fe ₂ O ₃	0,86	0,78	1,36	2,73
FeO	1,67	1,13	3,42	6,97
MnO	0,06	0,05	0,08	0,18
MgO	0,52	0,26	1,94	6,12
CaO	1,33	0,72	4,65	8,40
Na ₂ O	3,08	3,51	3,90	3,36
K ₂ O	5,46	5,13	1,42	1,33
H ₂ O+	0,53	0,47	0,69	0,8
P ₂ O ₅	0,18	0,14	0,21	0,35

Grundvatten

Tabell A-9 Grundvattensammansättning i Aberg, Beberg och Ceberg (Laaksoharju m fl, 1998).

Grundvatten	Aberg mg/l	Beberg 1* mg/l	Beberg 2** mg/l	Ceberg mg/l
Na	2 100	1 700	275	105
K	8,1	13	2	2
Ca	1 890	1 650	142	21
Mg	42	110	17	1,1
HCO ₃	10	47	278	18
Cl	6 410	5 500	555	78
SO ₄	560	370	49	0,1
Br	40	32		
F	1,5	1,2	1,5	3,2
SiO ₂ beräknad som Si	4,1	5,4	5,6	4,7
Fe ²⁺	0,24		1,8	0,05
Mn	0,29	0,82	0,13	0,01
Li	1	0,007		
Sr	35	21		
Löst organiskt kol	1		5,7	2
HS ⁻	0,15	0,01		0,01
I		0,12		0,14
NO ₂ beräknad som N	0,001	0,005	0,01	0,001
NO ₃ beräknad som N	0,01	0,005	0,002	0,009
NO ₄ beräknad som N	0,03	0,35	0,09	0,012
PO ₄ beräknad som P	0,005	0,005	0,04	0,008

* Vattenprov från borrhål 1

** Vattenprov från borrhål 2

Bilaga B

Mängd ämnen i de olika delarna av förvaret

Baserat på de antaganden avseende främmande material som redovisas i kapitel 2, antagna kemiska sammansättningar för ingående förvarsmaterial och grundvatten samt förvarets dimensioner enligt bilaga A redovisas i denna bilaga de uppskattade mängderna ämnen i de olika förvarsdelarna. Sammanställning av mängden ämnen redovisas för:

- deponeringshål, tabell B-1
- kapselposition (deponeringshål inklusive 6 m deponeringstunnel), tabell B-2
- driftgata (40 m), tabell B-3.

För *bentonit* baseras de uppskattade mängderna oorganiska ämnen på analyser av MX-80, tabell A-4, och innehållet av organiskt material baseras på en utredning av Sjöblom (1998), tabell A-5. För halt av humus i bentonit anger Sjöblom < 1% från lertäkt och < 1% från brytning. I tabellerna i bilaga B har antagits en maximalhalt av 2% humus och 0,062% kolväten.

För *bergkross* (återfyllnad) baseras de uppskattade mängderna oorganiska ämnen på den sammansättning hos granitiska och dioritiska bergarter som anges i tabell A-8. För tabellerna i bilaga B har de högsta värdena av ingående ämnen i de fyra analyserade bergarterna valts. Innehållet av svavel har antagits motsvara de i tabell A-7 angivna kvalitetskraven och allt svavel i bergkross har antagits föreligga i sulfidform. Inga uppgifter har funnits tillgängliga för att beräkna innehållet av organiskt material.

De redovisade *grundvattensammansättningarna* i tabell A-9 ligger till grund för uppskattade mängder. För tabellerna i bilaga B har antagits att grundvattnet innehåller den högsta redovisade halten av ingående ämnen i något av de analyserade grundvattnen.

Uppskattade ämnen i främmande material baseras på de antaganden som redovisas i kapitel 2.

Det bör påpekas att den noggrannhet för mängderna som finns i tabellerna inte motsvaras av de verkliga förhållandena. I huvudrapporten har mängderna i allmänhet angivits med endast två "signifikanta" siffror.

Tabell B-1 Sammanställning av material i deponeringshål.

	mängd	kol- hydrater	kolväten	tot org material	ytaktiva	kväve	tot S	S i sulfid	fosfat	K ₂ O/K*	CaO/Ca*	Na ₂ O/Na*	FeO/Fe*	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Si*	Al ₂ O ₃	metaller	Enhet
Förvarets material																		
kapsel							0.05		0.4									kg
bentonit		449	14	463	x**	4.5	61	29	2	108	247	494		673	14133	3612		kg
återfyllning		x**					8	8	14	212	326	151	270	106	2864	636		kg
grundvatten				0.01		0.001	0.4	0.0004	0.0001	0.02	5	5	0.004		0.01			kg
Summa		449	14	463		4.5	69	37	16	319	577	650	270	779	16996	4248		kg
Främmande material																		
aluminium	0.1																	kg
plast	1		1															kg
kväveoxider	0.15					0.05												kg
stål	66																66	kg
cement	1112									7	726	1		52	247	39		kg
kalciump klorid	0.5																	kg
bentonit	10	0.1				0.002	0.02		0.004	0.05	0.1	0.2		0.3	6.3	1.6		kg
bitumen	0.2		0.01						0.03	0.01	0.002	0.006	0.003	0.002	0.14	0.03		kg
gummi	0.2		0.2				0.006											kg
sot och aska	0.05		x**			x**	x**											kg
tvät och avfettn	1		1															kg
kolväten	13		13															kg
batterisyra	0.2						0.03											kg
trä	0.2	0.2																kg
rost	1												1					kg
zink	0.7																0.7	kg
urin	10	0.23				0.115												kg
övr. organiskt	1	1				0.03	0.003		0.022									kg
volfram, kobolt	0.5																	kg
Summa		1.5	15.2	16.7	1	0.19	0.06		0.06	7	726	1.3	1.0	53	253	41	67	kg

*Anges som oxider i bentonit och bergkross och som joner i grundvatten

**Förekommer men troligen i försumbara mängder

Tabell B-2 Sammanställning av material per 6 m deponeringstunnel inklusive deponeringshål.

Förvärets material	mängd	kolhydrater	kolväten	tot org material	yaktiva	kväve	tot S	sulfid	fosfat	K ₂ O/K*	CaO/Ca*	Na ₂ O/Na*	FeO/Fe*	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Si*	Al ₂ O ₃	metaller	Enhet
 kapsel							0.05		0.4									kg
bentonit		950	29	979	x**	9.5	128	62	4.7	228	522	1045		1425	29918	7646		kg
bergkross		x**					310	310	543	8472	13034	6051	10815	4236	114602	25446		kg
grundvatten				0.1		0.01	2.8	0.002	0.0006	0.12	29	32	0.03		0.1			kg
Summa		950	29	979		9.5	441	372	548	8700	13585	7128	10815	5661	144520	33092		kg
Främmande material																		
aluminium	0.6																	kg
plast	5		5															kg
kväveoxider	0.5					0.15												kg
stål	425																425	kg
cement	3680									22	2403	3.7		173	817	128.8		kg
kalciump klorid	12																	kg
bentonit	50	0.5				0.01	0.1		0.02	0.24	0.6	1.1		1.5	32	8		kg
bitumen	0.8		0.05						0.14	0.04	0.01	0.02	0.01	0.006	0.5	0.1		kg
gummi	1		1				0.03											kg
sot och aska	0.1		x**			x**	x**											kg
avfett+tvätt	2.5		2.5		2.5													kg
kolväten	26.5		26.5															kg
batterisyra	0.3						0.04											kg
trä	0.6		0.6															kg
rost	1.5																	kg
zink	1																1	kg
urin	20	0.5				0.23				x**								kg
övr. organiskt	2.9	2.9				0.09	0.01		0.06									kg
volfraam, kobolt	1																	kg
Summa		4.5	35	39.5	2.5	0.48	0.18		0.22	22	2404	4.8	1.5	174	849	137	427	kg

*Anges som oxider i bentonit och bergkross och som joner i grundvatten

**Förekommer men troligen i försumbara mängder

Tabell B-3 Sammanställning av material per 40 m driftgata.

	mängd	kol- hydrater	kolväten	tot org material	yfaktiva	kväve	tot S	sulfid	fosfat	K ₂ O/K*	CaO/Ca*	Na ₂ O/Na*	FeO/Fe*	Fe ₂ O ₃	SiO ₂ /Si*	Al ₂ O ₃	metaller	Enhet
Förvärets material																		
bentonit		10046	312	10358	x**	100	1356	653	50	2411	5525	11051		15069	316452	80871		kg
bergkross		x**					5817	5817	10180	158802	244311	113430	202720	79401	2148188	476987		kg
grundvatten				1.5		0.1	47	0.04	0.010	2	486	540	0.46		1.4			kg
Summa		10046	312	10359		101	7220	6470	10230	161215	250322	125021	202720	94470	2464640	557858		kg
Främmande material																		
aluminium	12																	kg
plast	100		100															kg
kväveoxid	171					52												kg
stål	6915																6915	kg
cement	63400									380	41400	63.4		2980	14075	2219		kg
kalciium klorid	320																	kg
bentonit	600	6				0.12	1.2		0.2	2.9	6.6	13.2		18	378	96		kg
bitumen	120		7.2						20	6	1	3	2	1	81	16		kg
gummi	300		291				9											kg
sot och aska	70		x**			x**	x**											kg
avfett+tvätt	50		50		50													kg
kolväten	490		490															kg
batterisyra	9						1.2											kg
trä	250	250																kg
rost	450												450					kg
zink	400																400	kg
urin	1250	29				14				x**								kg
övr. organiskt	650	650				20	2		14									kg
volfram, kobolt	20																20	kg
Summa		935	938	1873	50	86	13		35	389	41408	80	452	2999	14534	2331	7335	kg

*Anges som oxider i bentonit och bergkross och som joner i grundvatten

**Förekommer men troligen i försumbara mängder

Bilaga C

Identifierade processer som kan påverkas av främmande material

För att identifiera vilka processer som kan påverkas av ämnen som förts in som främmande material har en utvärdering gjorts av de interaktionsmatriser och den THMC-dokumentation, som framtagits inom säkerhetsanalysarbetet för SR-97 (Pers m fl, 1999; SKB, 1999).

De diagonalelement i närzonsmatrisen och buffertmatrisen som ansetts kunna påverkas direkt av främmande material har identifierats. Interaktioner mellan dessa och övriga delar av förvarssystemet har sedan analyserats. Endast interaktioner med röd prioritet (högsta vikt) i de studerade matriserna har beaktats. I efterföljande tabeller redovisas de identifierade interaktionerna med avseende på:

- påverkan på kapsel
- påverkan på buffert och återfyllnad
- påverkan på radionuklidtransport.

Påverkan på kapsel

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
Smektit på kapsel	Kapselposition	Svälltrycksanomalier	Svälltryck och reologiska egenskaper bestäms av smektitinnehåll, buffertdensitet, homogenitet och porvattenkemi.
	Kapselns form	Svälltryck	Svälltrycket påverkas av smektitinnehåll, buffertdensitet, porvattenkemi och temperatur.
	Position och form	Skjuvning	Skjuvningen påverkas av geometri, smektitinnehåll, homogenitet, densitet, temperatur och reologiska egenskaper hos bufferten.
Buffertporvatten på behållare		Korrosion	Grad och hastighet av korrosionen påverkas av koncentration och mobilitet för korrodanter (huvudsakligen syre, sulfat, sulfid, karbonat, klorid) och korrosionsprodukter.
Orenheter på buffertporvatten		Upplösning	Sammansättning av lösliga icke-leminerall/orenheter såsom pyrit påverkar porvattnets sammansättning i bufferten och därmed förutsättningarna för kapselkorrosion (sulfationer) och konvertering av smektit, t ex illitiserig (K-joner).
Grundvattenkemi på buffertporvatten	Kemisk sammansättning		Detta gäller vatten från näronen till bufferten.
Förstärkningar på grundvattenkemi		Upplösning	Under mättnadsfasen. Utbyte sker framförallt mellan Na och Ca eller K. Även anjonbyte och protonutbyte förekommer.
		Inflytande på kemiska jämvikter	Typ och dimensioner på förstärkningar bestämmer grundvattenkemiomförändringar. Huvudprocesser är upplösning av betongpluggar och sprutbetong, som ger högt pH och överskott på löst Ca, och korrosion av stålförstärkningar som bidrar med Fe-joner i närzonsvattnet. Upplösning av organiska föreningar från t ex flytmedel tillhandahåller organiska molekyler.
Återfyllnad på gas	Tryck		Smektitinnehåll och mikrostrukturell homogenitet hos återfyllnaden.
Buffert på buffertporvatten	Mobilitet och koncentration av joner i buffertporvattnet	Jondiffusion	Smektitinnehåll, sammansättning och mängd orenheter, granulometri, porstruktur och densitet hos bufferten.
	Buffertvattnets fysiska tillstånd, dvs mängden "adsorberat" och "fritt" vatten i bufferten och därmed aktiviteten (ångtryck/vätskestryck) eller hydreringsenergin (potential) hos vattnet		Smektitinnehåll, densitet och mineralogi hos bufferten liksom kationer adsorberade av smektitmineralerna.
	pH (sänks till 3 i sötvatten och 5 i saltvatten)	Upplösning av smektit	Upplösning av smektit ger fri Si och Al, som kombineras och falls ut som illit genom att förbruka K i porvattnet. H4SiO4 bildas också och polymeriserar till kolloider.
	Trycktillståndet		Smektittyp och innehåll, buffertdensitet och grad av vattenmättad bestämmer uppsugningspotentialen hos bufferten och därmed porvattentrycket.

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
Buffert på temperatur	Termiska egenskaper som bestämmer värmetransporter genom bufferten och därmed temperaturutvecklingen i bufferten	Värmefflöde	Mineralogi, smektitinnehåll, densitet och mättnadsgrad hos bufferten,
Buffertporvatten på buffertgas		Ångtryck	Den kemiska sammansättningen på buffertporvattnet påverkar partialtrycket i porvattnet och därmed sammansättningen i gasen.
Buffertporvatten på grundvattenkemi	Kritiskt tryck		Porvattentrycket påverkar gastryck och gasvolym i bufferten. Gastrycket blir summan av porvattentrycket och det kritiska gastrycket i bufferten som kan ses som kapillärtrycket vid låga buffertdensiteter och som det tryck som behövs för att orsaka mikrostrukturella deplaceringar vid höga densiteter. Det senare trycket närmar sig bulkvälltrycket.
Buffertporvatten på grundvattenkemi	Grundvattnets sammansättning i närzonen	Att tillföra eller bortföra lösta specier	Koncentration, typ och mobilitet hos joner och kolloider i buffertporvattnet. Initiala skillnader i typ och koncentrationer av joner i buffert och återfyllnadens porvatten och i vattnet i det omgivande berget orsakar diffusiv transport för att jämna ut skillnaderna. Element och komplex bildade och frigjorda som en följd av att bufferten värms upp, som kisel och kolloider, migrerar in i återfyllnad och närzonsberg och ändrar deras elektrolytinhåll och bildar eventuellt fällningar.
Buffertporvatten på återfyllnad	Återfyllnadens porvattentryck och innehåll		I den tidigaste mättnadsfasen i initialt omättad buffert orsakar porvattenspanningar flöde från återfyllnaden in i bufferten. Flödeshastigheten kontrolleras av vatteninnehållet i återfyllnaden och dess hydrauliska konduktivitet liksom av dess grad av vattenmättnad. Om bufferten initialt är starkt mättad gör värmning av porvattnet att det expanderar och flyter upp i återfyllnaden (och berget). I det senare fallet kan porvattentrycket som inducerats i återfyllnaden orsaka reduktion av det effektiva trycket och därmed instabila förhållanden i återfyllnaden.
Buffertgas på buffert/kapsel temperatur		Termisk isolering	Mängd och typ av gas i bufferten påverkar temperaturförhållandena i buffert och kapsel och i mindre utsträckning i återfyllnad och närzonsberg. Ackumulering av gas på kapselytan som t ex initialt närvarande luft i bufferttomrum fungerar som isolering och ökar temperaturen på kapselytan. Penetration av heta gaser in i och genom bufferten påverkar temperaturen i skarvar, sprickor och gaskanaler i bufferten och därmed hydreringstillståndet i den närliggande bufferten. Sådan genomträngning kan också orsaka värmetransport genom bufferten och påverka temperaturfördelningen i den.
Gas i närzonen på grundvattenkemi		Upplösning	Sammansättning och tryck av gas i närfällsberget härstammande från buffert och återfyllnad påverkar grundvattensammansättningen genom att gasen löser sig i vattnet. På grund av detta påverkas halterna av löst O ₂ , CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , H ₂ S samt pH och Eh.

Påverkan på buffert och återfyllnad

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
Bufferporvatten på buffert		Upplösning av smektitinnehåll	Porvattinnehållet påverkar upplösningen. pH är särskilt intressant men även koncentration av Si, Al och K.
		Jonbyte	Porvattensammansättning (tex Na, Ca, K, Fe, Cu och protonkoncentration) kan ändra typ av adsorberad katjon genom jonbyte. Detta ger förändrad homogenitet, expanderbarhet, hydraulisk och gaskonduktivitet i bufferten.
		Degradering och alterering	Porvattensammansättningen särskilt pH samt innehåll av Si, Al och K bestämmer konverteringen av smektit. Detta påverkar smektitinnehållet och smektitdensiteten, vilket i sin tur påverkar hydraulisk och gaskonduktivitet, expanderbarhet och förmåga till självläkning.
	Mikrostrukturell homogenitet		Jonstyrkan påverkar den mikrostrukturella strukturen och därmed expanderbarhet, självläkningspotential, hydraulisk och gaskonduktivitet. Liten påverkan för höga buffertdensiteter men kan vara signifikant för buffertdensiter lägre än 1900 kg/m ³
Orenheter på buffertporvatten		Fällning	Sammansättning och mängd av icke-lermineral/orenheter påverkar porvattnets sammansättning i bufferten och därigenom förutsättningarna för neoformation av mineraler som kristobalit, klorit och illit i bufferten.
Gas på buffert		Kanalbildning	Uppbyggnad av gastryck i bufferten kan påverka buffertstrukturen. Detta kan förstärka hydrauliskt och gastryck i bufferten.
Grundvatten på gas	Löslighet		Detta påverkar i sin tur mängd och sammansättning av gas i närzonen.
Grundvattenkemi på buffertporvatten	Kemisk sammansättning		Detta gäller vatten från närzonen till bufferten.
Förstärkningar på grundvattenkemi		Upplösning	Under mättnadsfasen. Utbyte sker framförallt mellan Na och Ca eller K. Även anjonbyte och protonutbyte förekommer.
		Inflytande på kemiska jämvikter	Typ och dimensioner på förstärkningar bestämmer grundvattenkemiförändringar. Huvudprocesser är upplösning av betongpluggar och sprutbetong som ger högt pH och överskott på löst Ca och korrosion av stål förstärkningar som bidrar med Fe-joner i närzonsvattnet. Upplösning av organiska föreningar från t ex flytmedel tillhandahåller organiska molekyler.
Återfyllnad på förstärkningar	Pluggarnas stabilitet	Tryck	Genom permeabilitet i kontakten mellan plugg och berg. Påverkar flödet i närzonen.
Återfyllnad på närberget	Stabilitet	Tryck	Genom att påverka betongpluggarnas stabilitet. Genom tryck. Bestäms främst av densitet och smektitinnehåll.
Återfyllnad på grundvattenkemi	Kemisk jämvikt	Upplösning av mineraler	Genom upplösning av mineraler och påverkan på kemisk jämvikt.
Återfyllnad på gas	Tryck		Smektitinnehåll och mikrostrukturell homogenitet på återfyllnaden.

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
Aterfyllnad på buffert	Inneslutningen av bufferten i hälen och därmed densitet och homogenitet hos bufferten	Isolering/instängning	Svälltryck och reologi som i sin tur beror på densitet och smektitinnehåll.
Kapsel på gas		Korrosion	Vätgasproduktion vid korrosion av segjärnsfasen.
Buffert på buffertporvatten	pH (sänks till 3 i sötvatten och 5 i saltvatten)	Upplösning av smektit	Upplösning av smektit ger fri Si och Al, som kombineras och fälls ut som illit genom att förbruka K i porvattnet. H ₄ SiO ₄ bildas också och polymeriserar till kolloider.
Buffert på buffertgas	Tryckstillstånd Gaslagringsförmåga		Smektittyp och -innehåll, buffertdensitet och grad av vattenmättnad bestämmer uppsugningspotentialen hos bufferten och därmed porvattentrycket. Smektitinnehåll och buffertdensitet och reologi påverkar volym och fördelning av gas ursprungligen innesluten i bufferten.
		Gasavgång	Svälltrycket i bufferten påverkar gasstrycket i bufferten: det motsvarar det tryck (kritiskt gasstryck) vid vilket gas kan migrera genom bufferten.
	Transporten av gas i gasform och genom diffus migration och därmed gasstrycket	Gaskonduktivitet	Smektitinnehåll och densitet hos bufferten.
Buffert på temperatur	Termiska egenskaper som bestämmer värmetransporten genom bufferten och därmed temperaturutvecklingen i bufferten	Värmeflöde	Mineralogi, smektitinnehåll, densitet och mättnadsgrad hos bufferten.
Buffert på återfyllnad	Orsakar deplacering och kompression av återfyllnaden	Svälltryck	Smektitinnehåll, densitet och porvattenkemi i bufferten.

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
Buffertporvatten på orenheter		Upplösning	Under rådande temperaturförhållanden orsakar en låg jonstyrka i porvattnet upplösning av kalcit, gips, fällspat, glimmer och amfibolit. Vid hög jonstyrka (som i Aspö) blir mängden upplösta tillsatmineraller mindre enligt modelleringar. Temperaturgradienten i bufferten kan leda till upplösning av vissa mineraler.
Buffertporvatten på buffertgas		Fällning	Porvattensammansättningen bestämmer typ och grad av fällning av tillsatsmineraller/föreningar i bufferten. Under rådande temperaturförutsättningar kommer en låg jonstyrka i porvattnet att orsaka mindre fällningar (laumontit, kaolinit, hemattit, sekundära 2:1-lermineraller). Mest fällning orsakas av starkt bräckt vatten av havssammansättning (kaolinit, hemattit, sekundära lermineraller av 2:1-typ, kvarts och pyrit). De sekundära lerminerallerna kan vara nybildad illit. Cu och Fe från kapseln till porvattenelektrolyterna producerar fällning av koppar och järnföreningar.
Buffertporvatten på buffertgas		Lösning av gas i porvattnet	Sammansättningen i porvattnet påverkar gaslösligheten som i sin tur påverkar mängd och sammansättning av gas i bufferten.
	Gasmobilitet		Den grad till vilken tomrummen i bufferten är fyllda med porvatten bestämmer frekvensen av sammanbundna öppna vägar i vilka gas kan flöda.
	Kritiskt tryck		Porvattentrycket påverkar gastyck och gasvolym i bufferten. Gastycket är summan av porvattentrycket och det kritiska gastycket i bufferten som kan ses som kapillärtrycket vid låga buffertdensiteter och som det tryck som behövs för att orsaka mikrostrukturella deplaceringar vid höga densiteter. Det senare trycket närmar sig bulkvälltrycket.
Buffertporvatten på grundvattenhydrologi	Storlek och riktning på grundvattenflödet	Att utöva tryck	Den första mättnadsfasen av initialt omättad buffert orsakar ett porvattenflöde från berget in i bufferten. Flödeshastigheten kontrolleras av berget, dvs dess hydrauliska konduktivitet. Om bufferten initialt är starkt mättad gör uppvärmning av porvattnet att det expanderar och flödar ut i berget.
Buffertporvatten på grundvattenkemi	Grundvattnets sammansättning i närzonen	Att tillföra eller bortföra lösta specier	Koncentration, typ och mobilitet hos joner och kolloider i buffertporvattnet. Initiala skillnader i typ och koncentrationer av joner i buffert och återfyllnadens porvatten och i vattnet i det omgivande berget orsakar diffusiv transport för att jämna ut skillnaderna. Element och komplex bildade och frigjorda som en följd av att bufferten värms upp, såsom kisel och kolloider, migrerar in i återfyllnaden och närzonsberget och ändrar deras elektrolytnehåll och bildar eventuellt fällningar.
Buffertporvatten på återfyllnad	Återfyllnadens porvattentryck och innehåll		I den tidigaste mättnadsfasen i initialt omättad buffert orsakar porvattenspanning flöde från återfyllnaden in i bufferten. Flödeshastigheten kontrolleras av vatteninnehållet i återfyllnaden och dess hydrauliska konduktivitet liksom av dess grad av vattenmättnad. Om bufferten initialt är starkt mättad gör värming av porvattnet att det expanderar och flyter upp i återfyllnaden (och berget). I det senare fallet kan porvattentrycket som inducerats i återfyllnaden orsaka minskning av det effektiva trycket och därmed instabila förhållanden i återfyllnaden.
Buffertgas på buffert/kapsel temperatur		Termisk isolering	Mängd och typ av gas i bufferten påverkar temperaturförhållandena i buffert och kapsel och i mindre utsträckning i återfyllnad och närzonsberg. Ansamling av gas på kapselytan, som t ex initialt närvarande luft i bufferttomrum, fungerar som isolering och ökar temperaturen på kapselytan. Penetration av heta gaser in i och genom bufferten påverkar temperaturen i skarvar, sprickor och gaskanaler i bufferten och därmed hydreringstillståndet i den närliggande bufferten. Sådan genomträngning kan också orsaka värmtransport genom bufferten och påverka temperaturfördelningen i den.

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
Gas i närzonen på grundvattenkemi		Upplösning	Sammansättning och tryck av gas i närfältsberget härstammande från buffert och återfyllnad påverkar grundvattensammansättningen genom att lösa sig i vattnet. På grund av detta påverkas halterna av löst O ₂ , CO ₂ , H ₂ , CH ₄ , H ₂ S samt pH och Eh.
Gas i återfyllnad på återfyllnad	Vattenmättnadsgrad		Mängd och tryck av gas i återfyllnaden påverkar mängden porvatten i återfyllnaden och därigenom mättnadsgraden. Återfyllnaden kommer inte att bli vattenmättad direkt efter applicering och gas, främst luft instängd i tomrummen, kommer att flyttas mot centrum av återfyllnaden av vattenfronten som fortskrider med tiden på grund av vattenupptag från berget. Gastrycket kommer att öka och orsaka successiv upplösning varigenom gasbubblornas volym minskar. Till slut ökar graden av vattenmättnad till 100% genom frisättning av löst gas genom diffusion ut genom permeabla sprickor.
		Kanalbildning och erosion	Upbyggnad av gastryck i återfyllnaden kan påverka lerans mikrostrukturen genom att bilda kanaler som orsakar förändringar i hydraulisk och gaskonduktivitet i återfyllnaden som kan bli permanenta. Kanalerna kan bildas när gas banar sig väg genom återfyllnaden efter att ha nått kritiskt tryck. Fenomenet förväntas bli särskilt viktigt i den senare fasen av vattenmättnadsstadiet.
Grundvattenkemi på återfyllnad	Kemisk jämvikt		Vattnets sammansättning i närzonsberget och återfyllnaden påverkar den kemiska stabiliteten i återfyllnadsmineralerna genom att kontrollera upplösning av smektit och icke-smektitmineral/föreningar och fällning av sekundärmineraller i återfyllnaden. Dessa processer påverkar mineralogi, densitet, reologi, svälppotential och konduktivitet i återfyllnaden. Den viktigaste förändringen är illitisering av smektit i den lägre, uppvärmda delen av återfyllnaden, gynnad av kalium som tillförs direkt med närzonsgrundvattnet och genom upplösning av ballastmineral som fällspat och biotit i återfyllnaden.
	Sorption		Sammansättning av närfältsvattnet orsakar utbyte av smektitkomponenten i återfyllnaden genom vilket de fysikaliska egenskaperna, främst hydraulisk konduktivitet och expanderbarhet, påverkas. Den huvudsakliga, primärt adsorberade kationen är Na som ersätts av i första hand Ca, vilket leder till koagulering av lerkomponenten och följaktligen till ökad hydraulisk konduktivitet och förlust i expanderbarhet. Dessa effekter måste man ta hänsyn till i födesanalyser.

Påverkan på radionuklidtransport

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
"Orenheter" på buffertporvatten Återfyllnad på grundvattenhydrologi		Kolloidbildning Flödesfördelning i återfyllnaden	Sammansättning och mängd av icke-termineral/orenheter påverkar bildningen av kristallina och amorfa kolloider i buffertporvatten (t ex silika/aluminium- och järnoxid/hydroxidföreningar). Densitet och smektitinnehåll, vattenmättnadsgrad.
Buffert på buffertporvatten	Mobilitet och koncentration av joner i buffertporvatten Buffertvattnets fysiska tillstånd, dvs mängden "adsorberat" och "fritt" vatten i bufferten och därmed aktiviteten (ångtryck/vätskestryck) eller hydreringsenergin (potential) hos vattnet	Jon diffusion	Smektitinnehåll, sammansättning och mängd orenheter, granulometri, porstruktur och densitet hos bufferten. Smektitinnehåll, densitet och mineralogi hos bufferten liksom kationer adsorberade av smektitmineralerna.
Buffert på buffertgas	Tryckillståndet Transporten av gas i gasform och genom diffus migration och därmed gastrycket	Kolloidbildning	Smektit och densitet hos bufferten påverkar potentialen för kolloidbildning genom upploösning/fällning och erosion vilket påverkar porvattensammansättningen. Erosion kan förekomma i det tidiga mättnadsstadiet när bufferten fritt kan svälla i det fria vattnet i deponeringshålen.
Buffert på grundvattenhydrologi	Flödet i närzonsberget	Gaskonduktivitet Buffert och kapsel stänger av deponeringshålet så att naturliga flödesvägar genom berget blockerar. Påverkar riktning och storlek på grundvattenflödet i närzonsberget.	Smektittyp och innehåll, buffertdensitet och grad av vattenmättnad bestämmer uppsugningspotentialen hos bufferten och därmed porvattentrycket. Smektitinnehåll och densitet hos bufferten. Dimensioner och egenskaper hos buffert och kapsel.

Interaktion	Påverkan på	Genom	Orsak
Buffertporvatten på buffertgas		Ångtryck	Den kemiska sammansättningen på buffertporvattnet påverkar partialtrycket i porvattnet och därmed sammansättningen i gasen.
		Lösning av gas i porvattnet	Sammansättningen i porvattnet påverkar gaslösligheten som i sin tur påverkar mängd och sammansättning av gas i bufferten.
	Gasens mobilitet		Den grad till vilken tomrummen i bufferten är fyllda med porvatten bestämmer frekvensen för sammanbundna öppna vägar i vilka gas kan flöda.
	Kritiskt tryck		Porvattentrycket påverkar gastryck och gasvolym i bufferten. Gastrycket blir summan av porvattentrycket och det kritiska gastrycket i bufferten som kan ses som kapillärtrycket vid låga buffertdensiteter och som det tryck som behövs för att orsaka mikrostrukturella deplaceringar vid höga densiteter. Det senare trycket närmar sig bulkvälltrycket.
Buffertporvatten på grundvattenhydrologi	Storlek och riktning på grundvattenflödet	Att utöva tryck	I den första mättnadsfasen av initialt omättad buffert orsakar porvattenströmning flöde från berget in i bufferten. Flödeshastigheten kontrolleras av berget. Dvs dess hydrauliska konduktivitet. Om bufferten initialt är starkt mättad gör uppvärmning av porvattnet att det expanderar och flödar ut i berget.
Buffertporvatten på grundvattenkemi	Grundvattnets sammansättning i närzonen	Att tillföra eller bortföra lösta specier.	Koncentration, typ och mobilitet hos joner och kolloider i buffertporvattnet. Initiala skillnader i typ och koncentrationer av joner i buffert och återfyllnadens porvatten och i vattnet i det omgivande berget orsakar diffusiv transport för att jämna ut skillnaderna. Element och komplex bildade och frigörda som en följd av att bufferten värms upp, såsom kisel och kolloider, migrerar in i återfyllnaden och närzonsberget och ändrar deras elektrolytnehåll och bildar eventuellt fällningar.
Buffertporvatten på återfyllnad	Återfyllnadens porvattentryck och innehåll		I den tidigaste mättnadsfasen i initialt omättad buffert orsakar porvattenspanningar flöde från återfyllnaden in i bufferten. Flödeshastigheten kontrolleras av vatteninnehåll i återfyllnaden och dess hydrauliska konduktivitet liksom av dess grad av vattenmättnad. Om bufferten initialt är starkt mättad gör värming av porvattnet att det expanderar och flyter upp i återfyllnaden (och berget). I det senare fallet kan porvattentrycket som inducerats i återfyllnaden orsaka reduktion av det effektiva trycket och därmed instabila förhållanden i återfyllnaden.
Gas i närzonen på närzonen	Mättnadsgraden		Mängd och tryck av gas i närzonen. Ett par kanaler i stora vattenförande sprickor kan delvis vara fyllda med gas t ex luft.
Gas i återfyllnad på återfyllnad		kanalbildning och erosion	Uppbyggnad av gastryck i återfyllnaden kan påverka lerans mikrostruktur genom att bilda kanaler som orsakar förändringar i hydraulisk och gaskonduktivitet i återfyllnaden som kan bli permanenta. Kanalerna kan bildas när gas banar sig väg genom återfyllnaden efter att ha nått kritiskt tryck. Fenomenet förväntas bli särskilt viktigt i den senare fasen av vattenmättnadsstadiet.
Grundvattenkemi på närzonen	Kemisk jämvikt		Vattnets sammansättning i närzonsberget orsakar upplösning av mineraler och fällning av sekundära mineraler, därigenom påverkas närzonsbergets sammansättning såsom mineralogi, matrisporositet och spricköppningar. En viktig effekt är att karbonater förväntas fällas ut och blocksprickor vid förhöjda temperaturer genom reaktion med CO ₂ och Ca lösta i vattnet, medan de kommer att lösas upp och öka konduktiviteten vid efterföljande nedkylning. En annan effekt är att högt pH löser upp fällspat och ökar matrisporositeten.