

# **Bentonit i slutförvaret – Tillverkning av bentonitblock**

**En litteraturstudie**

Åke Hultgren

September 1995

ISSN 1104-1374  
ISRN SKI-R--95/48--SE

**SKi**

STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION  
Swedish Nuclear Power Inspectorate

**SKI Rapport 95:48**

**Bentonit i slutförvaret  
– Tillverkning av bentonitblock**

**En litteraturstudie**

**Åke Hultgren**

**NFC Konsult  
Ejdervägen 12, 611 62 NYKÖPING**

**September 1995**

**Denna rapport har gjorts på uppdrag av Statens kärnkraftinspektion, SKI.  
Slutsatser och åsikter som framförs i rapporten är författarens egna  
och behöver inte nödvändigtvis sammanfalla med SKIs.**

## **BENTONIT I SLUTFÖRVARET - TILLVERKNING AV BENTONITBLOCK.**

**En litteraturstudie.**

Åke Hultgren, NFC Konsult

### **SAMMANFATTNING**

En litteraturstudie redovisas över insatser i kärnkraftländerna på utveckling av bentonitanvändning i slutförvar för radioaktivt avfall, med en koncentration på insatser för tillverkning av bentonitblock. Endast en rapport över tillverkning av block av högkompakterad bentonit har påträffats, som mera i detalj beskriver processen och dess förutsättningar.

Litteratursökningen har även omfattat insatser inom gas- och oljeindustrien för tätning av borrhål etc. Besök vid två keramiska industrier redovisas kortfattat.

För att föra utvecklingen av bentonitanvändning i ett slutförvar i linje med övriga steg i etableringsprocessen synes det önskvärt att en anläggning för tillverkning av bentonitblock projekteras och att anknutna frågor om material- och produktkontroll utreds.

## **INNEHÅLL**

	<u>Sida</u>
1 INLEDNING	1
2 LITTERATURSÖKNING	1
2.1 INIS	
2.2 EDB och API	
2.3 DERWENT WPI	
3 INSATSER I SVERIGE	6
3.1 Studie över tillverkning och hantering av bentonitblock	
3.2 Försök i Stripa	
3.3 PASS-projektet	
4 INSATSER UTANFÖR SVERIGE	9
4.1 Schweiz	
4.2 Finland	
5 SLUTANMÄRKNING	11

## **REFERENSER**

BILAGA 1: Studiebesök vid Royal Copenhagen och Ifö Sanitär.

BILAGA 2: Recommendations for safe assessment of acceptable long-term functions of the concepts.

## 1 INLEDNING

Bentonit föreslogs 1898 som namn på ett lerliknande material i Fort Benton-formationen i Wyoming, USA. Det har bildats genom devitrifikation och kemisk omvandling av glaskomponenten i vulkanisk aska (1). Kompakterad bentonit tar upp vatten och sväller till flera gånger den ursprungliga volymen. I slutna prov av tät bentonit omfördelas det absorberade vattnet till en homogen slutlig fördelning och materialet får en mycket låg permeabilitet. Dessa egenskaper har motiverat användning av högkompakterad bentonit till förslutning av depositionshål och andra utrymmen i slutförvar för högaktivt avfall (2).

Vid slutförvaring av använt kärnbränsle enligt KBS-3-metoden placeras block av högkompakterad bentonit kring bränslekapslarna i deponeringshålen (3). Spalten mellan deponeringshålets vägg och bentonitblocket fylls med bentonitpulver (figur 1). Tunnlar och schakt fylls med en blandning av sand och bentonit vid förvarets förslutning.

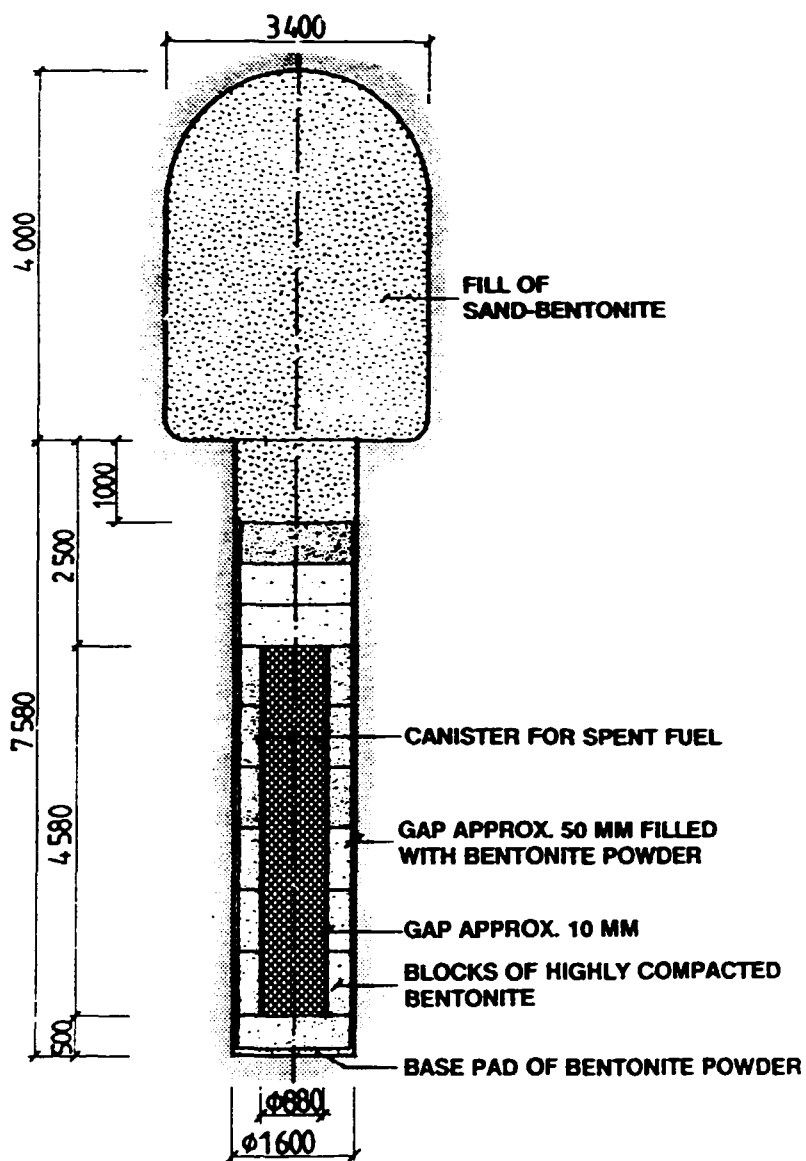
Föreliggande litteraturstudie söker att ge en sammanfattande översikt av vad som gjorts främst i kärnkraftländerna på utveckling av bentonitanvändning i slutförvar för högaktivt avfall med koncentration på tillverkning av bentonitblock. Besök vid två keramiska industrier redovisas kortfattat. Som resultat av studiebesöken har också en viss insats gjorts för att studera vad som publicerats av olje/gasindustrien på användning av bentonit för tätning av borrhål.

## 2 LITTERATURSÖKNING

För att ta fram underlag för studien gjordes litteratursökningar vid KTHs bibliotek i Studsvik. För insatser relaterade till kärnkraftens område användes databasen INIS, för insatser inom olje/gasindustrien databaserna EDB och API. Dessutom gjordes en sökning över patent för bentonitframställning i databasen DERWENT WPI. Resultaten redovisas i det följande.

### 2.1 INIS

Filer skrevs ut med slutförvaring och bentonit dels i titel och som huvudnyckelord, dels i titel och som nyckelord. Sökningen gav sammanlagt 254 referenser, efter utsortering av dubbelregistreringar 243 referenser. Tolv delområden formulerades efter referensens huvudinnehåll och rubricering. De 243 referenserna sorterades upp manuellt på dessa delområden och efter ursprungsland. Resultatet av denna sortering återges i tabell 1.



Figur 1. Depositionshål med koppar/stålkapsel och bentonitbuffert enligt KBS-3.

Delområde	Ursprungsland											Summa	
	CAN	CH	ES	F	IN	JPN	RF	ROK	SE	SF	UK		USA
1	1	2	1		1	2			5			5	17
2									4	1		5	10
3		1				6		2	22		1	7	39
4		2				3			12				17
5	8	1				7		3	27	10	1	5	62
6	2	1	1	1			1		1			4	11
7	2	2		2					5	1		5	17
8						3			3			8	14
9		2							1	1			4
10												7	7
11	4	4				3			7			1	19
12		1				1	1		9		1	13	26
Summa	17	16	2	3	1	25	2	5	96	13	3	60	243

Tabell 1. Fördelning på delområden och ursprungsland för INIS-registrerade referenser.

#### Delområden

- 1 Backfill
- 2 Bentonite grout, rock sealing
- 3 Analysis, characterisation, corrosion, interactions
- 4 Compacted bentonite
- 5 Diffusion, transport
- 6 Long-term changes
- 7 Modelling
- 8 Performance assessment
- 9 Production of blocks or pellets
- 10 Salt/bentonite/mixtures
- 11 Swelling, mechanical behaviour
- 12 Miscellaneous

#### Använda landsbeteckningar

CAN	Kanada	RF	Russian Federation
CH	Schweiz	ROK	Republic of Korea
ES	Spanien	SE	Sverige
F	Frankrike	SF	Finland
IN	Indien	UK	Storbritannien
JPN	Japan	USA	Förenta Staterna

En allmän slutsats man kan dra av tabellen är att stora FoU-insatser har gjorts på användning av bentonit vid slutförvaring. Sverige och USA står för det största antalet referenser, följt av Japan, Schweiz och Finland. Största intresset har tilldragit sig diffusion genom bentonit och olika transportfenomen. Den minsta insatsen, fyra referenser, har redovisats för produktion av block eller pellets av bentonit för slutförvaret. Dessa fyra referenser redovisas längre fram i rapporten.

## 2.2 EDB och API.

Vid sökning inom EDB, här ETDE Energy Database, och API med sealing och oil/gas industry som nyckelord erhöles 37 referenser. Dessa systematiserades på samma sätt som INIS-referenserna. Resultatet ges i tabell 2.

Delområde	Ursprungsland											Summa
	AUS	CAN	CH	DE	IN	JPN	NO	SF	UAE	UK	USA	
1			1					1			1	3
2		1			1						1	3
3											1	1
4									1	1		2
5											1	1
6											4	4
7						1	1			2	4	8
8	1			1					1	1	11	15
Summa	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	24	37

Tabell 2. Fördelning på delområden och ursprungsland av referenser registrerade i EDB och API.

Delområden

- 1 Bentonite pellets/granulates
- 2 Bentonite suspension/muds
- 3 Bituminous seals
- 4 Cement seals
- 5 Chemical gel
- 6 Elastomer seals
- 7 Metallic sealing
- 8 Sealants general, seal failures, geological factors, analysis

Använda landsbeteckningar

AUS	Australien	NO	Norge
CAN	Kanada	SF	Finland
CH	Schweiz	UAE	Förenade Arabemiraten
DE	Tyskland	UK	Storbritannien
IN	Indien	USA	Förenta Staterna
JPN	Japan		

För delområde 1 erhöles tre referenser. Två var identiska med vid INIS-sökningen erhållna referenser (4,5); den tredje behandlade bestämning av hydraulisk konduktivitet hos kommersiellt framställda bentonitpellets vid olika vattenkvaliteter (1).



Vid sökning inom API erhöjls 48 referenser, dock utan tillgång till abstracts. Med enbart titeln som underlag för bedömning synes ingen av referenserna vara av intresse för teknik vid framställning av bentonitblock.

### 2.3 DERWENT WPI

Sökningen efter patent på bentonitframställning gav fyra referenser, som kort sammanfattas i det följande.

1. Determination of suitability of alkaline bentonite for pellet manufacture.  
Patent SU 1636822 Date 910323  
Patent Assignee Kursk Magnetic Anom  
Bentonit mald till 0.1 mm torkas vid 105°C i 2h, varefter en 10% suspension i vatten beredes. Om den effektiva viskositeten överstiger 5 MPa x s är bentoniten lämplig för framställning av pellets.
2. Radioactive store-room wall comprises compressed bentonite blocks held together with cramps to prevent ground water contamination.  
Patent JP 6120098 Date 861014  
Patent Assignee Kajima KK  
Lagringsrum isoleras från grundvatten genom väggar uppbyggda av bentonitblock med en densitet >1.9 g/cm<sup>3</sup>, och krampor, som håller samman blocken.
3. Iron manufactured by reducing ore in a shaft furnace, after mixing the ore with bentonite and pelletising.  
Patent JP 53002320 Date 780111  
Patent Assignee Nippon Steel Corp.  
Malmen krossas och blandas med 0.5-10% bentonit varav pellets framställs för reduktion av järn.
4. Bentonite muddy water, dewatering - by adding anionic flocculant, water soluble barium, calcium, or potassium compound, and cationic flocculant  
Patent JP 49104874 Date 741003, JP 80003036 Date 800123  
Patent Assignee Maeda Constr. Co.  
Dispersioner av bentonit i vatten behandlas med olika tillsatser för att avskilja fast bentonit, som avvattnas till 40-5% vatten.

Eventuellt kan det japanska patentet, nr.2, vara av intresse. Dock är endast sammanfattningen på engelska, själva patenttexten japansk. Patentverket anger också, tyvärr, att skriften inte är tillgänglig på grund av lucka i nummer-serien.

### 3 INSATSER I SVERIGE

Användning av bentonit i slutförvaret föreslogs redan 1977 i projektet KBS 1 (6) för slutförvaring av förglasat högaktivt avfall från upparbetning. För det följande projektet KBS 2, direkt slutförvaring av använt kärnbränsle (7), föreslogs också block av högkompakterad bentonit kring bränslekapseln i depositions hålet och även på andra ställen för att försegla tunnlar och schakt (8). En jämförande studie redovisades över deponering med buffertsubstans i borrhål (9) och i tunnlar (10), varvid tekniken med deponering i borrhål bedömdes överlägsen alternativet med deponering av bränslebehållarna i tunnlar.

En särskild studie presenterades av KBS i juni 1978 över tillverkning och hantering av bentonitblock, där kompakteringen skedde genom kall isostatisk pressning av torrt bentonitpulver (11).

För Stripaprojektet användes bentonitblock i det s.k. "Buffer Mass Test", och vissa detaljer kring deras tillverkning redovisades (12,13). I det s.k. PASS-projektet har getts en samlad redovisning av bentonit som barriär i slutförvaret och förslag till fortsatta FoU-insatser på området (14).

Vid bägge de internationella konferenser, som ägnats enbart åt förslutningsteknik, presenterades bidrag över bentonit-användning i slutförvaret av SKBs bentonitkonsulter (2,15), dock utan detaljer kring tillverkning av bentonitblock.

I det följande ges en kort sammanfattning av en del av ovan nämnda insatser i Sverige.

#### 3.1 Studie över tillverkning och hantering av bentonitblock VBB, ASEA, ASEA-ATOM, Gränges Mineralprocesser (11).

Bentonitblocken framställs enligt denna studie genom kompaktering av lufttorrt bentonitpulver (vattenhalt ca 10%). Standardkvalitén MX-80 Volclay (Wyoming-bentonit) har befunnits lämplig som utgångsmaterial. Kompakteringen utförs genom kall isostatisk pressning med högtryckspressar av en typ som länge använts för tillverkning av hårdmetall, isolatorämnen och andra keramiska kroppar. Kompressibla formar innehållande utgångsmaterialet i pulverform placeras i tryckkärl där formarna omges av olja eller vatten, som trycksätts med hjälp av högtryckspumpar. Med ASEAs Quintuspressar kompakteras bentonitpulvret i en cylindrisk tryckkammare med höjden 4.5 m och diametern 2.1 m. Lämpligt arbetstryck anges till 100 MPa, vilket ger bentonitblocken en skrymdensitet av 2.2 t/m<sup>3</sup>. Tillverkningskapaciteten har för en press beräknats till 3000 block per år. Noggrannheten vid pressning anges till ca 3%. I bilaga till studien ges en mer detaljerad beskrivning av tillvägagångssättet.

I ytterligare bilagor ges data från olika undersökningar av bentonit i laboratorieskala. Bland annat undersöktes möjligheten att reducera sulfidhalten i bentonit från 0.10-0.15% till maximalt acceptabelt 0.02%, vilket visades kunna ske genom värmebehandling. Provning av bentonit i större skala gjordes också med hjälp av högtrycksutrustning av den aktuella typen. Cylindriska provkroppar pressades med diametern 0.3 m och höjden 1.5 m. Provkropparna undersöktes med avseende på densitet, svällning, hållfasthet m.m. Undersökningarna gav vid handen att bentonit av den undersökta typen, Volclay MX-80, kunde kompakteras till densiteten 2.3-2.4 g/cm<sup>3</sup> vid presstekniskt normala 1000-1500 kp/cm<sup>2</sup> och att pressade bentonitkroppar i kontakt med vatten ger svälltryck på 100-400 kp/cm<sup>2</sup> för densiteter mellan 2.0 och 2.4 g/cm<sup>3</sup>. Värmebehandling vid 425°C i ca 20 h sänkte sulfidhalten till under 0.02% utan att nämnvärt påverka bentonitens svällning.

### 3.2 Försök i Stripa

Det storskaliga s.k. "Buffer Mass Test", som utfördes i Stripagruvan 1979-1985, hade till syfte att pröva lämplighet och funktioner av bentonitbaserade buffertmaterial under reala slutförvarsbetingelser. Försöket utfördes i en 30 m lång tunnel på 340 m djup och omfattade studier av bentonitblock och pulver i sex borrhål, 0.76 m i diameter och 3 m djupa. Elektriska 600 W värmelement simulerade värmeeffekten av använt kärnbränsle under försöket. Tillverkningen av bentonitblock för försöket beskrivs kortfattat (12).

Cylindriska bentonitblock med 0.4 m diameter och 1.5 m längd tillverkades vid IFÖ-bolaget, Bromölla (troligtvis ett av de nuvarande IFÖ Electric-bolagen) genom kall, isostatisk pressning. Bentonitpulver fylldes i en cylindrisk form av gummi med fasta ändplattor och pressades radiellt med 100 Mpa under några minuter till önskad densitet. Två serier block tillverkades, en serie med en bulkdensitet av 2.09-2.14 t/m<sup>3</sup> av bentonitpulver med en vattenhalt av 13%, och en serie med en täthet av 2.07-2.11 t/m<sup>3</sup> av pulver med en vattenhalt av 10%. Blocken maskinsågades till olika form och dimensioner, som tillät uppbyggnad av annulära instrumenterade kolonner. Efter formning sveptes blocken i 0.15 mm plastduk för att bevara den ursprungliga fukthalten.

För block med densiteten 2.07-2.11 t/m<sup>3</sup> arrangerades en 30 mm spalt mellan bergväggen och bentonitblocket; för block med densiteten 2.09-2.14 t/m<sup>3</sup> valdes en 10 mm spalt. Avsikten var att få samma slutdensitet, 2.10 t/m<sup>3</sup>, i depositions-hålen efter att spalten fyllts med bentonitpulver (densitet 1.2 t/m<sup>3</sup>) och med antagen radiell svällning.

### 3.3 PASS-projektet

PASS-projektet, Project on Alternative Systems Study, utgör en omfattande jämförelse av KBS-3 och två andra typer av slutförvar: VDH (Very Deep Holes) och VLH (Very Long Holes). I en av PASS-projektets underlagsrapporter (14) undersöks funktionen hos bentonitbarriären för de tre förvarstyperna i ett kort och ett långt perspektiv. För KBS-3 föreslås teknik för placering av bentonitblock och bränslekapslar i depositions hålen enligt följande procedur:

- hålets botten täcks med en blandning av bentonitpulver och sand, som kompakteras på platsen
- alla bentonitblock sätts på plats
- blockstapelns stabiliseras med en stålattrapp
- det översta bentonitblocket förses med en stålkrage med sensorer för automatisk centrering vid kapselns placering
- spalten fylls med en bentonituppslamning eller med vatten
- toppen täcks antingen med väl passande bentonitblock eller med en kopparplatta
- slutligen placeras och kompakteras en sand/bentonitblandning i skikt om 200-300 mm upp till ca 100 mm under tunnelgolvet; den översta delen täcks med cementbruk, som avlägsnas vid tunnelns återfyllning.

Bentonitblocken antas likna de som framställdes för Stripaförsöket, men större och även betydligt mindre block anses kunna komma ifråga. Man håller också öppet för annan teknik, som t.ex. tillverkning av enheter med en bränslekapsel omgiven av bentonitblock i en enkel bur, som sänks ned i deponeringshålet.

Rapporten avslutas med att definiera frågor av större och allmän betydelse och rekommendationer för fortsatta utvecklingsinsatser. Bland annat föreslås fortsatt utveckling av teknik för återfyllning och förslutning. Rekommendationerna återges in extenso i bilaga 2.

En visuell demonstration av hur bentonitblocken placeras i deponeringshålet ges i en informationsfilm om SKBs slutförvarsprogram (16), daterad februari 1994. Den visas bl.a. på SKBs utställning ombord m/s SIGYN under dess turné sommaren 1995.

#### 4 INSATSEN UTANFÖR SVERIGE

Internationellt är de mest aktuella buffertmaterialen baserade på Portlandcement eller på bentonit. Högkompakterad bentonit är ett av flera möjliga bentonitbaserade buffertmaterial. En sammanställning har presenterats (17) över de buffertmaterial som övervägs i sex kärnkraftländer, inklusive Sverige.

Land	Slutförvarsgeometri	Buffertmaterial	Densitet t/m <sup>3</sup>
Kanada	Borrhål	50/50 (Na/Ca)- bentonit	1.67
Finland	Borrhål	100% Na-bentonit	1.4-1.8
Frankrike	Långa borrhål	100% Ca-bentonit	1.4-1.8
Spanien	Borrhål	100% Na-bentonit	1.4-1.8
Sverige	Borrhål	100% Na-bentonit	1.4-1.8
Schweiz	I bergsal	100% Ca-bentonit	1.4-1.8

Tabell 3. Buffertmaterial som övervägs för slutförvaret i sex kärnkraftländer.

Utanför Sverige synes den största insatsen på tillverkning av bentonitblock ha utförts i Schweiz. Från finsk sida har man också utrett möjligheten att ersätta bentonitblocken i depositionshålen med bentonitpellets.

##### 4.1 Schweiz

Inom slutförvarsprogrammet Projekt Gewähr i Schweiz planeras flera olika bentonitbaserade buffertmaterial komma till användning (18):

- bentonitpulver
- bentonitgranulat
- högkompakterade bentonitblock
- bentonit/sandblandning
- högkompakterade bentonit/sandblock

Vid ETH Zürich har högkompakterad bentonit undersökts sedan 1981. Undersökning av sand-bentonitblandningar påbörjades 1984. Kompakteringsprov med Na-bentonit MX-80 och enaxlig pressning av pellets visade att pellets med en densitet av 2.1-2.2 g/cm<sup>3</sup> och med god hållfasthet och nötningsresistens kan framställas vid >200 MPa, 20°C och 1% fukthalt i bentoniten (5). Rapporten behandlar inverkan av presstryck, presstid, temperatur och fukthalt.

Av framställda pellets tillverkades också granulat genom krossning och siktning. Med en blandning av pellets och granulat kunde under optimala betingelser en packningsdensitet av 1.6-1.7 g/cm<sup>3</sup> uppnås.

ETH Zürich har också utfört kompakteringsförsök med blandningar av kvartssand och bentonit (Na-bentonit MX-80 och Ca-bentonit Montigel). Med lufttorr MX-80 kunde inga stabila provkroppar framställas. En sand-bentonitblandning med 35-45% Montigel kunde vid 160-240 MN/m<sup>2</sup> kompakteras till homogena provkroppar med en torrdensitet av 1.5 g/cm<sup>3</sup>. Optimal vattenhalt i bentoniten bedömdes vara ca 15%.

Resultat av undersökningar för framställning av högkompakterade bentonitblock sammanfattas i en NAGRA-rapport 1985 (19). En täthet av 1.8 t/m<sup>3</sup> eftersträvas. Man anser isostatisk pressning nödvändig vid framställning av stora bentonitblock med vikter överstigande 1 ton. Erforderligt tryck är 100 MPa för Montigel och 75 MPa för MX-80. Med erforderligt långsam tryckhöjning och trycksänkning uppskattas tiden för en presscykel till ca 1 h.

Blocken bör efterbehandlas. Möjligheten att direkt pressa ringsegment bör utredas. I annat fall kan blocken formas genom sågning. Blocken bör lagras vid en temperatur av omkring 20°C och vid en luftfuktighet <60% och skyddas av en plastfilm. Transport bör ske i plastformar.

#### 4.2 Finland

Den finska kärnkraftindustrin, TVO och IVO, har framfört tanken att ersätta block av kompakterad bentonit med bentonitpellets i depositionsålen (4). Pellets (höjd x diameter 15 x 30 mm) framställdes på laboratoriet med torrdensiteten 2.4 g/cm<sup>3</sup> efter pressning vid 100 MPa. Önskvärd fylltäthet av 80% uppnås dock inte med sådana pellets utan det föreslås en blandning av sfäriska pellets med 30 resp. 12.4 mm diameter. I övrigt ges beräkningar över behovet för det finska programmet (för 1400 ton använt bränsle 832 m<sup>3</sup> pellets med tätheten 1.9 g/cm<sup>3</sup>) och kostnader jämfört med bentonitblock: för pellets 2284 FIM/ton bränsle jämfört med 2984-3664 FIM per ton bränsle vid block. Slutsatsen dras att bentonitblock kan bli 30-60% dyrare än bentonitpellets. Man framhäver den lättare kvalitetskontrollen vid tillverkningen och en enklare och mindre tidskrävande hantering i slutförvaret som fördelar vid pelletsalternativet.

## 5 SLUTANMÄRKNING

Sveriges ledande ställning på utveckling av slutförvar för radioaktivt avfall är tidigare väl dokumenterad och har här också belysts av tabell 1. KBS-projekten innebar en pionjärinsats: för perioden 1976-1979 var 40 av 49 inom den här rapportens område funna INIS-referenser svenska.

Trots att totalt sett stora insatser publicerats över användning av bentonit i slutförvaret kan vid en ytlig granskning inte mycket skönjas som berör tillverkning av bentonitblock. Vid litteratursökningen formulerades därför en bred ansats för att täcka in alla arbeten, som till någon del kunde tänkas beröra detta område. Ändå har endast en rapport identifierats, som direkt diskuterar bentonitblocktillverkning och anknutna frågor om materialkontroll etc (11). Den utgör närmast en mycket preliminär förstudie av en process för sådan tillverkning och drar slutsatsen att både råmaterial och utrustning finns tillgängliga. Isolering av bränslekapseln med bentonitblock i depositionshålet är dock en viktig del av hela KBS-konceptets barriärfilosofi, som i övrigt har konsoliderats väl under de 17 år som förflutit sedan rapporten publicerades.

Det synes idag önskvärt att, i linje med utvecklingen av övriga steg för slutförvarets etablering, även insatser görs för projektering av en anläggning för tillverkning av block av högkompakterad bentonit, med utredning av alla anknutna frågor rörande kvalitetskontroll av råmaterial och slutprodukter, produkthantering, anläggningens lokalisering, etc.

## REFERENSER

- 1 Gaudette, M.V., Daemen, J.J.K.  
Bentonite borehole plug flow testing with five water types. NUREG/CR--5130. April 1988.
- 2 Pusch, R. Bergström, A.  
Highly compacted bentonite for bore-hole and shaft plugging.  
Borehole and shaft plugging - Proceedings of a workshop jointly organised by OECD/NEA and USDOE.  
Columbus, USA, May 1980.
- 3 Kärnbränslecykelns slutsteg. Använt kärnbränsle - KBS-3. SKBF/KBS. Maj 1983.
- 4 Salo, J.P., Kukkola, T.  
Bentonite pellets, an alternative buffer material for spent fuel canister deposition holes.  
Sealing of Radioactive Waste Repositories - Proceedings of an NEA/CEC Workshop. Paris 1989.
- 5 Naundorf, W., Wollenberg, R.  
Herstellung von Bentonit-Granulat mit hoher Schüttdichte zur Bohrlochabdichtung.  
NAGRA-NTB--92-06. Mai 1992.
- 6 Kärnbränslecykelns slutsteg.  
Förglasat avfall från upparbetning.  
Kärnbränslesäkerhet. 1977.
- 7 Handling and final storage of unprocessed spent nuclear fuel. Vol.2, Technical.  
Swedish Nuclear Fuel Safety Project, 1978.
- 8 Pusch, R.  
Highly compacted Na-bentonite as buffer substance.  
KBS Technical Report No.74, 1978.
- 9 Jacobsson, A., Pusch, R.  
Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsub-  
stans. KBS Teknisk Rapport No.3, 1977-05-27.
- 10 Jacobsson, A., Pusch, R.  
Deponering av högaktivt avfall i tunnlar med buffertsub-  
stans. KBS Teknisk Rapport No.4, 1977-06-01.



- 11 Engelbrektsson, A. et al.  
Tillverkning och hantering av bentonitblock.  
KBS Teknisk Rapport No.84, juni 1978.
- 12 Pusch, R., Börgesson, L., Nilsson, J.  
"Buffer Mass Test - Buffer Materials"  
Stripa Project, Internal Report 82-06. August 1982.
- 13 Pusch, R., Nilsson, J., Ramqvist, G.  
Final Report of the Buffer Mass Test. Volume 1: scope,  
preparative field work, and test arrangement.  
Stripa Project, Technical Report 85-11. July 1985.
- 14 Pusch, R., Börgesson, L.  
PASS - Project on Alternative Systems Study. Performance  
assessment of bentonite clay barrier in three repository  
concepts: VDH, KBS-3, and VLH.  
SKB Technical Report 92-40. December 1992.
- 15 Pusch, R., Börgesson, L.  
Bentonite sealing of rock excavations.  
Sealing of radioactive waste repositories - Proceedings  
of a NEA/CEC workshop. Braunschweig, 22-25 May, 1989.
- 16 "Djupförvar för använt kärnbränsle".  
Datamotion i Stockholm AB. Februari 1994.
- 17 Pusch, R. Gray, M. et al.  
Sealing of radioactive waste repositories in crystalline  
rock. Sealing of radioactive waste repositories. Procee-  
dings of a NEA/CEC workshop. Braunschweig 22-25 May, 1989.
- 18 Studer, J., et al.  
Verfüllen und Versiegeln von Stollen, Schächten und Bohr-  
löchern. Band 1. NAGRA-NTB--84-33. Dezember 1984.
- 19 Bucher, F., Jedelhauser, P.  
Verdichtungsversuche an Quarzsand-Bentonitgemischen.  
NAGRA-NTB--85/52.

**Studiebesök vid Royal Copenhagen och Ifö Sanitär.**

För att ta del av materialhanteringen vid keramisk industri med tanken att den eventuellt kunde ha någon tillämpning på hanteringen av bentonit vid tillverkning av bentonitblock besöktes två keramiska industrier: Royal Copenhagen i Köpenhamn och IFÖ Sanitär i Bromölla. De visade sig komplettera varandra med olika teknik vid framställning av köksporslin och konstnärliga objekt respektive sanitetsporslin. Intryck från besöken sammanfattas i det följande.

**Royal Copenhagen.**

Royal Copenhagen (RC) fabrik vid Frederiksbergsparken besöktes den 21 mars 1995. Ciceron var Chief Chemist Gjerlöff Roed, bl.a. medförfattare till KBS TR 81-14 (om förglasat avfall). Vid ett kort samtal med f.d. produktionsdirektör Leif Lautrup-Larsen överlämnades en skrift författad till fabriken 200-årsjubileum 1975, nu i 4:e utgåvan daterad 7 mars 1994. RC-koncernen omfattar idag Den Kongelige Porcelainsfabrik, Bing & Gröndahl samt Georg Jensen.

Den första förbehandlingen av råmaterialen: 25% kvarts, 25% fältspat och 50% kaolin, sker i "Slemmeriet" i Valby. Homogenitetskraven är höga och behandlingen omfattar bl.a. satsvis malning i kulkvarn 8 h, siktning och filtrering i filterpress till stora fyrkantiga kakor, som levereras till Frederiksbergfabriken. Vattenhalten justeras till ca 18% och kvarvarande luft avlägsnas i en vacuumpress, varefter massan omformas till cylindriska kroppar, som skärs av i lämpliga mängder för automatisk drejning i gipsformar. Detaljer, som öron till koppar, och mer komplicerade föremål gjutes av en massa med högre vattenhalt. Torkning sker i två steg vid 80-85°C. Förbränning, glasering och slutbränning varierar för olika produkter. Även fajans och stengods framställs.

Roed varnade för att dra allt för långtgående slutsatser av den keramiska industrins behandlingsmetoder för tillämpning på bentonit, då kaolin och bentonit har väl skilda egenskaper bland lermineralen. Han hänvisade till olje/gasindustrin som använder bl.a. bentonit för att täta borrhål och föreslog att information om dess erfarenheter inhämtas. Roed var i övrigt allmänt skeptisk till användning av bentonit i slutförvaret.

Ifö Sanitär.

Ifö Sanitär i Bromölla besöktes den 24 mars 1995. Efter en knappt timslång diskussion med Bodil Dahlberg, driftschef för massa- och glasyrberedningen, visades fabriken för tillverkning av sanitetsporslin vid en snabb rundvandring.

Kalk och kaolin började brytas på Ivön 1887. Kaolinets betydelse växte vid sidan av kalk och tegeltillverkning och 1904 var kaolinslammeriet Europas största med stor export till kontinenten. Tillverkning av cement påbörjades 1908 och av elektrotekniskt porslin 1920. All tillverkning sammanfördes i Ifö-verken 1927. Ifö-koncernen upphörde 1967 då AB Ifö-verken blev helägt dotterbolag till Skånska Cement AB. 1976 delades Ifö-verken upp i fem helt fristående bolag inom Eurockkoncernen: Ifö Sanitär, Ifö Electric Högspänning, Ifö Electric Lågspänning, Ifö Kampri och Ifö Teknik. Efter ytterligare ägarförändringar är Ifö Sanitär nu en del av den finska Metrakoncernen.

I början av 1994 beslöt Ifö Sanitär att helt bygga om processerna för beredning av massa och glasyr, grundstommar vid tillverkningen av sanitetsporslin. Idag har 19 MSEK investerats i den nya anläggningen, som togs idrift i mars 1995. Tidigare var beredningen av massa och glasyr en dammig och bullrig process, då råvarorna krossades, maldes och blandades innan de transporterades ut i fabriken. Numera köps allt råmaterial till massa in malt och uppvägt. Endast glasyrmaterialiet mals, i små genomströmningskvarnar med en kapacitet av 300 kg/h. Detta har lett till enklare processer, ökad automatisering och en bättre arbetsmiljö. Gruppen har samtidigt kunnat minskas från 24 till 6 personer.

Mjuka råvaror, leror och kaolin, kommer i containrar från hamnen i Sölvesborg och förs in i fabriken via transportband. De hårda materialen, sand och fältspat, levereras med lastbil. Leran slammas upp i vatten med en stor propeller och lerslammet siktas för att avlägsna kol- och träpartiklar m.m. De hårda materialen blåses upp i silo, varifrån de matas ut till uppvägning av 10 tons satser, som sedan blandas med lerslammet. Därefter införs kaolin, som blandas med slammet till färdig massa med ca 28% vatten. Efter lagring pumpas den färdiga massan ut i fabriken. Varje dag bereds 50 m<sup>3</sup> massa; nominellt är kapaciteten den dubbla. Hela processen styrs och övervakas från ett datoriserat kontrollrum.

Själva tillverkningen av sanitetsporslin sker genom en nästan helt robotiserad process för gjutning och torkning i öppningsbara gipsformar, bränning och glasering. Även montering och förpackning av den färdiga produkten sker med robotar.

**Recommendations for safe assessment of acceptable long-term functions of the concepts (ur ref.14).**

Although it is estimated that all the concepts will provide reasonably effective isolation of the highly radioactive waste more accurate assessment is required for which the following issues are of major and general importance:

- o The impact of cementation on the rheological behaviour of smectite clay should be studied experimentally and an accurate chemical model derived for the cementation process
- o The impact of drilling of large holes on the conductivity of the most shallow rock. It should be studied experimentally
- o Sealing of large-diameter holes by use of super-megapacker technique that has to be further developed and tested in the field
- o Effective backfilling by on-site compaction or use of bentonite/ballast blocks needs technique development and field testing
- o Documentation of models that have been and are being developed for predicting physical and physico-chemical processes in the buffers, in particular:
  - The water saturation process in differently structured rock with salt groundwater, "salt accumulation"
  - The thermomechanical behaviour of the rock/clay/canister system - "pore pressure, strain"
  - The relative displacement of canister and clay in deposition holes - "canister settlement"



STATENS KÄRNKRAFTINSPEKTION  
Swedish Nuclear Power Inspectorate

**Postadress/Postal address**

SKI  
S-106 58 STOCKHOLM

**Telefon/Telephone**

Nat 08-698 84 00  
Int +46 8 698 84 00

**Telefax**

Nat 08-661 90 86  
Int +46 8 661 90 86

**Telex**

11961 SWEATOM S