

Kärnbränslecykelns slutsteg

Förglasat avfall från upparbetning

- I Allmän del
- II Geologi
- III Anläggningar**
- IV Säkerhetsanalys
- V Utländsk verksamhet

**KÄRN -
BRÄNSLE -
SÄKERHET**

Kärnbränslecykelns slutsteg

Förglasat avfall från upparbetning

III Anläggningar

**KÄRN-
BRÄNSLE-
SÄKERHET**

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1	INLEDNING	5
2	TRANSPORTSYSTEM	7
2.1	Normer och myndighetsföreskrifter	
2.2	Allmänna principer, flödesschema	
2.3	Befintliga utrustningar och system	
2.4	Utformning av ett svenskt transportsystem	
2.4.1	Allmänt	
2.4.2	Dimensioneringsförutsättningar	
2.4.3	Transportbehållare	
2.4.4	Fartygstransporter	
2.4.5	Drift av systemet	
2.5	Transport av förglasat högaktivt avfall	
2.5.1	Allmänt	
2.5.2	Transporternas omfattning	
3	CENTRALT LAGER FÖR ANVÄNT BRÄNSLE	19
3.1	Allmänt	
3.2	Förutsättningar och huvuddata	
3.2.1	Huvuddata	
3.2.2	Principer vid konstruktion och dimensionering	
3.2.3	Separering och redundans	
3.2.4	Brand	
3.2.5	Driftledningscentral	
3.2.6	Typ av bränsletransport	
3.3	Utformning av anläggningen	
3.3.1	Allmänt	
3.3.2	Mottagningsdel	
3.3.3	Förvaringsdel	
3.3.4	Hjälpssystemdel	
3.4	Livslängd och nedläggning	
3.5	Anläggningens drift	
4	UPPARBETNING OCH FÖRGLASNING	31
4.1	Upparbetning	
4.1.1	Processer	
4.1.2	Upparbetningsanläggningar	
4.1.3	Drifterfarenheter	
4.1.4	Arbetsmiljö och säkerhet	

4.2	Förglasning	
4.3	Det förglasade avfallets löslighet	
4.3.1	Utlakningsratens tidsberoende	
4.3.2	Inverkan av grundvattnets sammansättning	
4.3.3	Inverkan av pH på lakningshårdigheten	
4.3.4	Inverkan av temperaturen	
4.3.5	Lakningsförsök med franskt glas i Studsvik	
4.4	Avfallsglasets beständighet	
4.4.1	Allmänt om glas - ett amorft material	
4.4.2	Franskt borsilikatglas beständighet mot strålning	
4.4.3	Mekaniska egenskaper	
4.4.4	Termisk stabilitet-kristallisation	
4.4.5	Molybdatfas	
4.4.6	Viktiga parametrar för franskt borsilikatglas	
5	MELLANLAGRING OCH INKAPSLING	51
5.1	Allmänt	
5.2	Anläggningsbeskrivning	
5.2.1	Layout	
5.2.2	Mottagning	
5.2.3	Mellanlagring	
5.2.4	Inkapsling	
5.2.5	Hjälpssystem	
5.3	Inkapslingsmaterialets egenskaper	
5.3.1	Allmänt	
5.3.2	Titans korrosionsegenskaper	
5.3.3	Blys korrosionsegenskaper	
5.3.4	Sammanfattning	
5.4	Drift av anläggningen	
5.5	Kvalitetskontroll	
5.6	Nedläggning av anläggningen	
5.7	Ritningar	
6	SLUTFÖRVAR	83
6.1	Allmänt	
6.2	Anläggningsbeskrivning	
6.2.1	Layout	
6.2.2	Utförandet och utformningen av bergrumsanläggningen	
6.2.3	Deponering av avfallskapslar	
6.2.4	Hjälpssystem	
6.3	Sand/bentonit-fyllningens egenskaper	
6.4	Drift av anläggningen	
6.5	Kvalitetskontroll	
6.6	Permanent tillslutning	
6.7	Ritningar	
7	SKYDDSFRÅGOR	123
7.1	Arbetsmiljö	
7.1.1	Myndighetsfunktion och föreskrifter	
7.1.2	Arbetsmiljön under anläggningsskedet	
7.1.3	Arbetsmiljön under driftskedet	
7.2	Räddningstjänst	
7.2.1	Myndighetsfunktion och föreskrifter	
7.2.2	Anläggningsutformning	
7.2.3	Tillämpning och rutiner	

- 7.3 Strålskydd
 - 7.3.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter
 - 7.3.2 Tillämpningar och rutiner
- 7.4 Fysiskt skydd
 - 7.4.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter
 - 7.4.2 Anläggningsutformning
 - 7.4.3 Transporter och drift
- 7.5 Krigsskydd
 - 7.5.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter
 - 7.5.2 Anläggningsutformning

Referenser

131

1 INLEDNING

KBS-projektet initierades av den s k villkorspropositionens krav på redovisning och påbörjades omkring årsskiftet 1976-77. Målsättningen har varit att ange ett säkert sätt för hantering och förvaring av högaktivt avfall. För att gällande tidplaner för drifttagning av kärnkraftverk under uppförande skulle kunna innehållas, krävdes att KBS avlämnade en första redovisning sent 1977.

Detta innebär att ungefär 3/4 år stått till förfogande för att utarbeta föreliggande rapport. På denna tid har det inte varit möjligt att ingående studera alternativa lösningar, utan det har varit nödvändigt att tidigt välja sådana inriktningar, som bedömts kunna leda till ur säkerhetssynpunkt tillfredsställande resultat. Inte heller kostnadsberäkningar med tillfredsställande noggrannhet har hunnits med. Den anläggningsutformning som här redovisas gör därför inte anspråk på att vara en tekniskt-ekonomiskt optimal men väl en möjlig lösning.

De anläggningar, som redovisas här, hänför sig till hantering och förvaring av förglasat högaktivt avfall. Motsvarande anläggningar för använt kärnbränsle kommer att beskrivas i en senare rapport. Arbetsläget för denna senare redovisning anges i bilaga 1 till del I.

Såväl byggandet som driften av de redovisade anläggningarna baserar sig på en teknik, varifrån erfarenhet föreligger från tidigare kärnteknisk verksamhet eller från andra områden.

Till vissa delar bygger redovisningen på arbeten utförda utanför KBS. Sålunda har den förstudie avseende transportsystem och centralt bränslelager som utförts av PRAV utgjort underlag till kapitlen III:2 och III:3. Det fortsatta arbetet med projektering och framtagande av lokaliseringsansökan för bränslelagret bedrivs inom SKBF. Utformningen kan härvid komma att förändras i förhållande till den som redovisas i förstudien och denna rapport. Det i kapitel III:5 beskrivna mellanlagret för avfallscylindrar har som förebild en motsvarande anläggning i Marcoule i Frankrike, vars konstruktör, St Gobain Techniques Nouvelles, har medverkat i KBS-projektet.

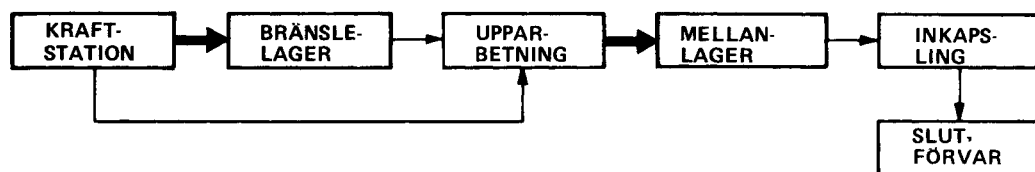
Liksom i AKA-utredningen förutsattes den slutliga deponeringen av högaktivt avfall att ske i ett urbergsområde med lämpliga egenskaper. Beräkningen och bedömningen i denna rapport baseras på ett förläggningdjup av 500 m.

De här beskrivna anläggningarna har dimensionerats för en total avfallsmängd motsvarande ca 9 000 ton uran, vilket utgör det avfall som skulle produceras av 13 reaktorer var och en med en drifttid av 30 år. Det bör framhållas att de tekniska lösningar, som presenteras, inte förändras i principiellt avseende om den mängd avfall, som skall omhändertas, blir mindre eller större.

Tidplanen för fortsatta utredningsinsatser och anläggningarnas utförande behandlas i kapitel I:14. Den där skisserade planen innehåller bl a följande huvudtidpunkter.

- År 1987 Platsval för mellanlager
- " 1990 Mellanlager färdigställt för mottagning av förglasat avfall
- " 2000 Platsval för slutförvar (inkl inkapslingsstation)
- " 2020 Inkapslingsstation och slutförvar färdigställda för mottagning av förglasat avfall.

2 TRANSPORTSYSTEM



2.1 NORMER OCH MYNDIGHETS FÖRESKRIFTER

Vid transport av använt kärnbränsle och annat radioaktivt material skall tillämpliga delar av IAEAs transportbestämmelser "Regulation for the Safe Transport of Radioactive Materials", iakttagas /2-1/.

Såväl det använda bränslet som det förglasade högaktiva avfallet med stort innehåll av radioaktiva ämnen skall transporteras i behållare som uppfyller internationella krav. Härvid gäller IAEAs föreskrifter för s k typ B-emballage, vilka beskrivs närmare i avsnittet under 2.4.3.

Varje planerad transport skall föranmälas till statens kärnkraftinspektion med angivande av bl a identifikationsdata för de utvalda bränsleelementen och preliminärt tidsschema för transporten. Administrativa rutiner för detta arbete förutses bli fastställda av kärnkraftinspektionen innan transportsystemet tas i drift. Fysiskt skydd av transporterna ordnas likaledes i enlighet med kärnkraftinspektionens föreskrifter.

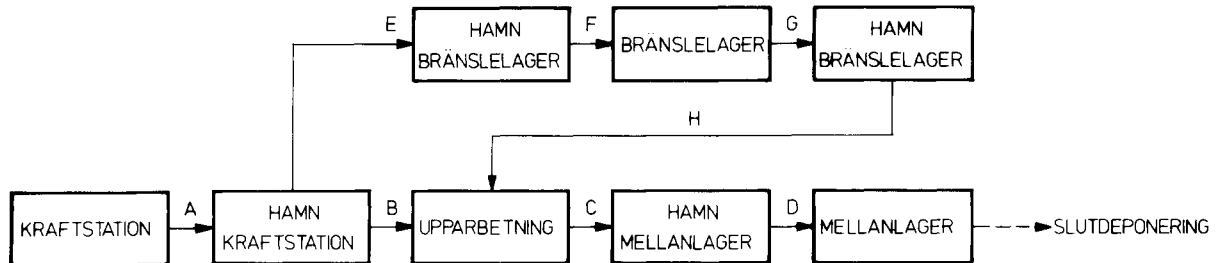
2.2 ALLMÄNNA PRINCIPER, FLÖDESSCHEMA

Fig 2-1 visar i form av ett flödesschema de olika transportbehoven inom bränslecykelns slutsteg. Heldragna linjer anger de transportmoment där krav på typ B-emballage erfordras, streckade linjer anger intertransporter där typ B-emballage ej erfordras.

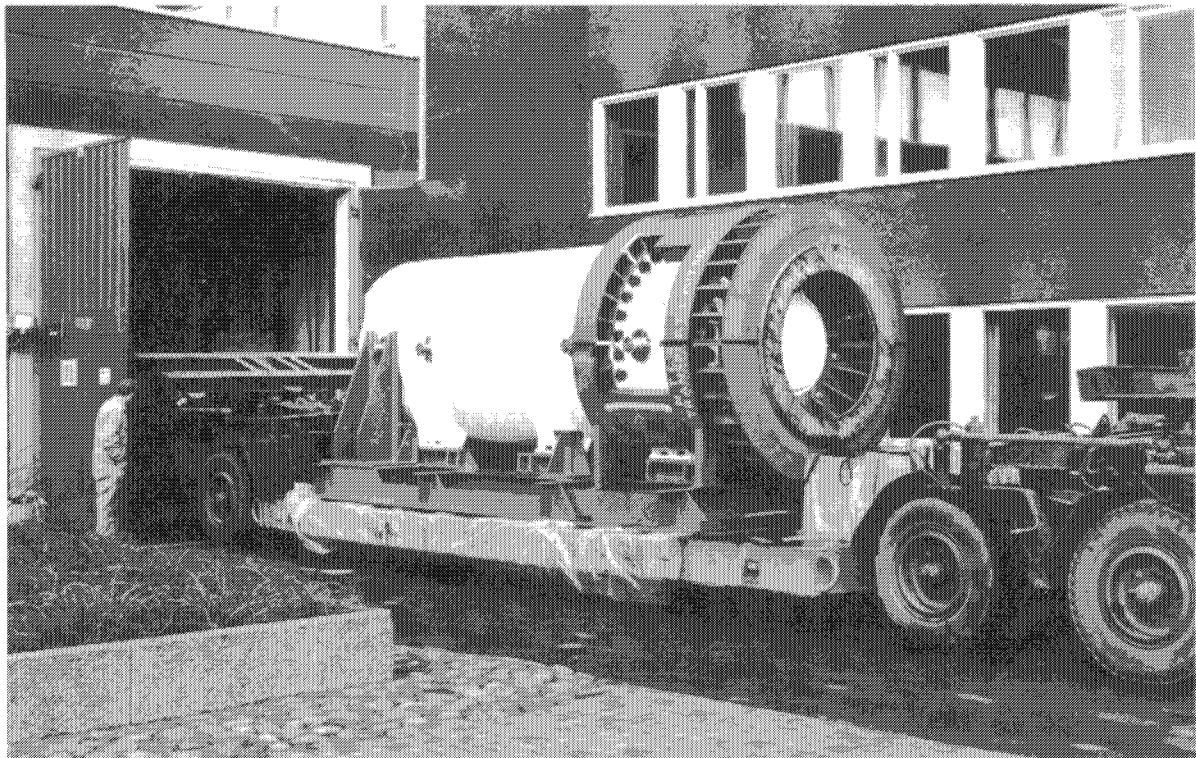
De svenska kärnkraftverken är belägna vid kusten och har egen hamn. Även det centrala bränslelagret och mellanlagret förutses bli lokaliserade nära en hamn. Transporterna kommer därför i huvudsak att gå sjövägen med endast korta vägtransporter till och från hamnarna.

Transportmomenten A, D, F och G (fig 2-1) är sålunda vägtransporter under vilka transportbehållaren är lastad på en trailer. Denna typ av transport har redan utförts inom landet t ex vid Oskarshamnsverket i samband med skeppning av använt bränsle till den engelska upparbetningsanläggningen i Windscale (fig 2-2).

Vid transport till en upparbetningsanläggning övergår ansvaret för transportbehållaren till upparbetningsföretagets transportorganisation när behållaren är lastad på fartyget. Den svenska transportorganisationen tar över först när behållarna med det



Figur 2-1. Flödesschema över transportbehovet inom bränslecykelns slutsteg. B-emballage krävs för med A – H markerade transporter. Transporterna A, D, F och G går på väg.



Figur 2-2. Trailer och transportbehållare (B-emballage) utanför Oskarshamnsverket. Transport av använt bränsle till hamnen för vidare befordran till upparbetningsanläggningen i Windscale har skett med denna utrustning.

förglasade, högaktiva avfallet lossas i svensk hamn (Transportmoment B, C och H).

Sjötransporten från de olika kraftverken till det centrala bränslelagret handhas av den svenska transportorganisationen (Transportmoment E).

2.3 BEFINTLIGA UTRUSTNINGAR OCH SYSTEM

Transport av använt kärnbränsle ställer speciella krav på transportutrustningen och på övervakning av transporterna. Bränslet innehåller klyvningsprodukter vilka gör det kraftigt radioaktivt. Det avger också värme. Eftersom kärnbränslet dessutom innehåller klyvbart material måste hänsyn tas till risken för kriticitet. Detta ställer speciella krav på utformningen av en transportbehållare. Det behövs stora kyltor för effektiv värmeavledning. Samtidigt bör man dock eftersträva släta ytor för att underlätta rengöring. Strålskärmen måste bestå av material med hög densitet för att skärma gammastrålning men också material av låg densitet för avskärmning av neutronstrålning.

Europeiska transportbehållare som nu är i bruk väger mellan 30 och 70 ton och kan transportera mellan 1 och 2,5 ton kärnbränsle. De är av fransk, tysk eller engelsk konstruktion. Dessa tre länder driver f n ett samägt företag, Nuclear Transport Limited (NTL) som i stort sett har monopol på den europeiska marknaden.

Under perioden 1966-1977 har ca 700 ton använt kärnbränsle transporterats från lättvattenreaktorer till olika europeiska uppärbetningsanläggningar. Till en början var det tämligen lågutbränt bränsle, medan under senare år transporter har utförts med högutbränt bränsle (30 000 MWd/t) efter endast 6-9 månaders avsvälning vid reaktorn. Bränsle har transporterats till följande anläggningar fram till årsskiftet 1976/77:

-	WAK, Karlsruhe, Västtyskland	85 ton
-	La Hague, Frankrike	255 "
-	Windscale, England	270 "
-	Eurochemic, Mol, Belgien	90 "

Transportbehållare med en maximal vikt av 40 ton transporteras vanligtvis på det normala vägnätet, medan transportbehållare med högre vikt transporteras per järnväg. Transport av använt kärnbränsle från Italien, Spanien, Västtyskland, Holland och Sverige till den engelska uppärbetningsanläggningen i Windscale har skett med båt.

Trenden går mot allt större transportbehållare. För framtiden planerar man nu för transportbehållare med en vikt av 100 ton och en kapacitet på max 6 ton kärnbränsle. En sådan transportbehållare beräknas vara i kommersiell drift redan under 1978.

Nuläget beträffande tillgängliga samt planerade transportbehållare i Västeuropa redovisas i tabell 2-1. Situationen på USA-marknaden redovisas i tabell 2-2. Av tabellerna framgår att Västeuropa (NTL) f n intar en ledande ställning vad gäller tillgången av transportbehållare för använt kärnbränsle.

Tabell 2-1. Västeuropeiska transportbehållare för använt kärnbränsle.

Typ	NTL 2	NTL 3	NTL 4	NTL 5	NTL 8	NTL 9	NTL 10	NTL 11	NTL 12	NTL 14	Ex1 13/3A	Ex1 14
Myndighetsgodkännande nr	F 59	1106	1132	1124		F 136A		1146		1154	1126/1141	1147
Myndighetsgodk. (nuläge)	lic.	lic.	lic.	lic.	lic.	lic.	Under behandl.	lic.	Under behandl.	lic.	lic.	Under beh.
Ägare	NTL	NTL	NTL	NTL	NTL	NTL	NTL	NTL	NTL	NTL	BNFL	BNFL
Kapacitet Bränsleelement/mm												
PWR	4/200	7/200	7/200	7/200	3/215	-	12/230	7/215	12/215	5/230	5/215	5/215
BWR	9/114	-	19/114	12/140	-	7/140	-	17/140	30/140	-	14/140	14/140
Termisk kapacitet kW	15	30	35	35	35	25	100	42	100	50	30	40
Vikt (ton)	32	52	65	69	36	34	104	75	95	82	72/72.5	100
Last (ton uran)	1.1	2.0	2.3	2.3	1.4	1.4	6.2	3.3	5.7	2.7	2.7	2.7
Kavitet längd(mm)	3875	3380	4370	4675	4280	4520	5050	4630	4580	5160	4674/4776	4887
diam (mm)	440	864	864	864	3x230	474	1220	914	1220	914	864	914
Kylmedel	Luft	Vatten	Vatten	Vatten	Luft	Luft	Luft (vatten)	Vatten	Luft (vatten)	Vatten	Vatten	Vatten
Transportmedel	Väg	Järnv.	Järnv.	Järnv.	Väg	Väg	Järnv.	Järnv/båt	Järnv/båt	Järnv/båt	Järnv/båt	Järnv/båt
Antal behållare i drift	2	3	1	1	2	2	-	-	-	-	3/4	-
Antal behållare under tillv./best	-	1	-	-	-	-	1	5	1	2	-	-

Tabell 2-2. Amerikanska transportbehållare för använt kärnbränsle

Typ	NFS-4	NAC 1/2	TN-8	TN-9	IF-300	NLI 10/24
Myndighetsgodkännande nr	6698	9010	9015	9016	9001	9023
Myndighetsgranskning (nuläge)	Licensierat	Licensierat	Licensierat	Licensierat	Licensierat	Licensierat
Ägare	NFS NAC	NLI	TNY	TNY	GE	NLI
Kapacitet						
PWR (bränsleelement/mm)	1/215	1/215	3/215	-	7/215	10/215
BWR (- " -)	2/140	2/140	-	7/140	18/140	24/140
Termisk kapacitet, kW	11	11	35	25	61	70
Vikt (ton)	22	22	36	34	64	91
Last (ton uran)	0.5	0.5	1.4	1.4	3.5	4.7
Kavitet längd (mm)	4521	4521	4280	4520	4578	4559
Kavitet diameter (mm)	343	321	3x230	474	953	1143
Kylmedel	Vatten	Luft	Luft	Luft	Vatten	Luft/He
Transportmedel	Väg	Väg	Väg	Väg	Järnväg	Järnväg
Antal behållare i drift	6	3	-	-	4	-
Antal behållare under tillv. /beställda	-	-	2	3	-	4

2.4 UTFORMNING AV ETT SVENSKT TRANSPORTSYSTEM

2.4.1 Allmänt

Parallellt med förarbetet med det centrala bränslelagret utreder Svensk Kärnbränsleförsörjning AB olika alternativ för att säkra tillgången på transportresurser inom Sverige.

Det svenska transportbehovet har utretts för perioden 1976-1991. De årliga uttagen av bränsleelement uttryckt i ton uran redovisas i kapitel I:2. Mängderna baseras på de sex aggregat som nu är i drift samt på fortsatt utbyggnad till tretton aggregat.

Under 1976 påbörjades diskussioner med europeiska och amerikanska organisationer som arbetar med transporter av använt kärnbränsle i syfte att utreda möjligheterna att skaffa transportbehållare.

Nuclear Transport Limited (NTL-Europa) synes för närvarande vara ledande inom branschen. NTL har under senare år utfört 100-tals transporter inom Europa till bl a Windscale och La Hague. De typer av transportbehållare NTL förfogar över är väl anpassade till det svenska behovet.

Det amerikanska konsultföretaget Nuclear Assurance Corporation (NAC), har konstruerat fyra transportbehållare under typbeteckningen NAC-1, vilka f n är i rutinmässig drift i USA. NAC förbereder f n konstruktion av en transportbehållare med en kapacitet på maximalt 3 ton kärnbränsle. Denna behållare är likaså väl anpassad till det svenska behovet.

SKBF avvaktar f n utvecklingen på transportsidan. En av anledningarna är att COGEMA i juli 1977 aviserat att man på sitt program kommer att ta upp transport av använt kärnbränsle. Vid utformningen av ett transportsystem synes det angeläget att detta anpassas till ett eventuellt europeiskt standardsystem.

2.4.2 Dimensioneringsförutsättningar

Dimensioneringsförutsättningarna bygger enbart på behovet av transporter inom Sverige. Transporter av använt kärnbränsle till utländska upparbetningsanläggningar samt återtransport av förglasat högaktivt avfall till Sverige förutses ingå i upparbetningsföretagets åtaganden.

Vid beräkning av den årliga transportvolymen till centrallagret har olika alternativ studerats. Erforderligt antal transportbehållare samt årligt antal båttransporter beror bl a på antalet reaktorer i drift och på följande faktorer:

- Lokalisering av det centrala lagret för använt kärnbränsle.

Av de tre studerade platserna för centrallagret ligger två, Forsmark och Oskarshamn, i anslutning till kärnkraftverk, vilket innebär att transporten av kärnbränsle från reaktorerna på dessa platser sker direkt med trailer till centrallagret. För Studsviks del kommer alla transporter att anländas sjövägen, vilket innebär fler frakter och kräver tillgång

till fler transportbehållare, eftersom den genomsnittliga omloppstiden per flaska blir längre.

- Mottagningskapacitet i det centrala lagret för använt kärnbränsle.

Mottagningskapaciteten blir beroende av hur många behållare som samtidigt kan hanteras i mottagningsdelen, genomsnittlig mottagningstid per behållare, tillgång på avställningsutrymmen för behållare och utrustning, samt personalstyrkan vid mottagningen. Med den föreslagna utformningen av anläggningen bedöms en genomsnittlig mottagningskapacitet av en behållare per dygn kunna uppnås.

Vid dimensioneringen av transportsystemet måste man ta hänsyn till att en ackumulerad bränslemängd finns förvarad vid kraftverken då centrallagret tas i drift. Förutom att en årlig bränslemängd som motsvarar uttaget från resp reaktor skall transporteras, skall den upplagrade mängden successivt överföras till centrallagret så snart som möjligt.

Det årliga uttaget i jämviktsläge efter utbyggnad till 13 reaktorer blir ca 1 400 bränsleelement motsvarande ca 300 ton uran/år. En transportbehållare av typ NTL11 eller NTL17, se 2.4.3, kan transportera max 3 ton bränsle. Vid uppnådd jämvikt, dvs efter att den vid kraftverken ackumulerade bränslemängden överförts till centrallagret kommer antalet behållare som skall transporteras varje år att bli ca 100. För denna transportvolym erfordras 6-8 behållare.

De aktuella sträckorna för sjötransporten från kärnkraftverken till de tre studerade platserna för det centrala bränslelagret (Forsmark, Oskarshamn och Studsvik) varierar mellan 200 och 1 100 km.

En båtlast kan bestå av 4-8 transportbehållare. För all hantering i kärnkraftverken antages åtgå i genomsnitt 1 dygn/behållare. Därvid utnyttjas en viss överlappning så att en behållare transporteras in i stationen och förbereds för hantering innan närmast föregående behållare förs tillbaka till båten fylld med bränsle. Ungefär ett extra dygn åtgår därför för en båtlast, dvs för t ex 6 behållare åtgår totalt 7 dygn.

Vid mottagning av fyllda behållare i centrallagret och rengöring och färdigställande av behållare åtgår likaledes 1 dygn/behållare. Även här förutses ett extra dygn behövas innan båten står redo för ny avgång lastad med tomma behållare.

Nedan visas översiktligt de olika momenten. I exemplet har antagits 6 behållare per transport, total restid enkel resa 2 dygn och inga oförutsedda störningar. Vid planering av total årlig transportkapacitet måste dock hänsyn tagas till såväl förutsedda som oförutsedda fördröjningar (exempelvis dåligt väder, oplanerade driftavbrott vid verken och i det centrala lagret etc).

Exempel på tidsåtgång vid transport av 6 transportbehållare från kraftverk till centrallager:

Moment	Tidsåtgång
1. Utresa med 6 tomma transportbehållare ombord.	I detta exempel antages 2 dygn.
2. Omlastning från fartyg till trailer av en behållare åt gången. Lyft från en trailer via reaktorhallplan till behållarbassäng där behållaren fylls med bränsle. Uttransport.	1 dygn/behållare plus ett dygn = 7 dygn för 6 behållare.
3. Åtteresa till det centrala mellanlagret.	Samma som utresa. I detta exempel 2 dygn.
4. Mottagning i det centrala mellanlagret. Nedkylning, rengöring, urlastning av bränslet. Iordningställande av behållare för ny transport. Lastning av transportbehållare på fartyg.	1 dygn/behållare plus ett dygn dvs totalt 7 dygn.

Tidsåtgång för en hel transportcykel blir sålunda 18 dygn och antalet sjötransporter 16-17 per år.

2.4.3 Transportbehållare

En transportbehållare består av följande huvuddelar:

- En inre behållare utrustad med neutronabsorberande ämne oftast tillverkad av ett värmeledande material. Denna behållare håller bränsleelementen i sin rätta position.
- En kraftig gammastrålskärm av ett tungt material vanligtvis bly eller stål.
- En neutronstrålskärm för att dämpa neutronstrålningen vilken i huvudsak kommer från curium -242 och -244.
- Värmeavledande flänsar på utsidan av transportbehållaren eller ett luftkylsystem.
- En stötdämpare för att skydda transportbehållarens lock samt dess anslutningar.

En transportbehållare måste dessutom uppfylla säkerhetskraven enligt IAEAs transportbestämmelser för typ B-emballage. Dessa innebär att transportbehållaren skall klara:

- 9-meters fritt fall mot stumt underlag.
- Fritt fall från 1 meters höjd mot en massiv stålcyllinder med diametern 15 cm.
- Upphettning under 30 min till 800°C.
- Nedsänkning i vatten till 15 m.

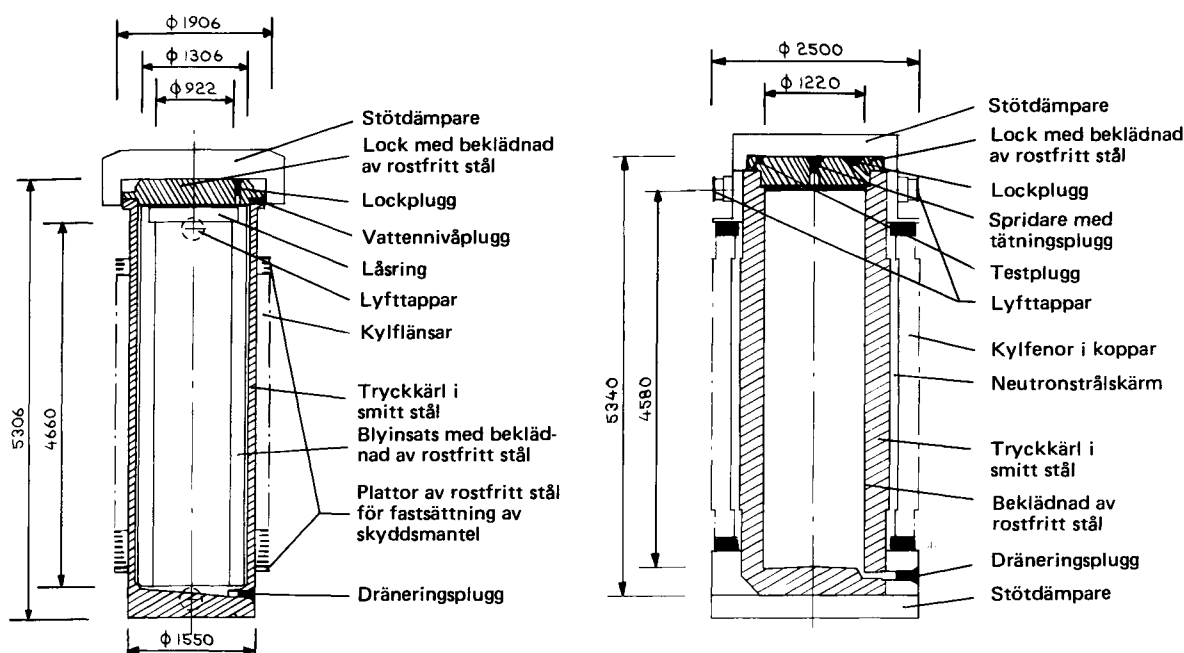
Därutöver skall transportbehållaren uppfylla de krav som ställs för ett typ A-emballage enligt IAEAs bestämmelser.

Transportbehållare vilka framdeles kommer att användas för transport av använt bränsle inom landet blir med stor sannolikhet av europeisk konstruktion. De behållare som närmast är aktuella är NTL11 och NTL12:

NTL11 (fig 2-3) är en vidareutveckling av den engelska transportbehållaren Exellox, vilken bl a använts för transporter mellan Oskarshamn och Windscale. NTL11 har tagits i kommersiell drift under hösten 1977 i samband med transporter från reaktorn Wurgassen i Tyskland till den franska uppberedningsanläggningen La Hague. Behållarkonstruktionen är baserad på en yttre stålbehållare, vilken utgör tryckkärlet samt en inre blybehållare utgörande gammastrålskärmen. Den inre blybehållaren är överdragen med en rostfri lining, detta för att underlätta den invändiga rengöringen av transportbehållaren. NTL11 kommer att användas uteslutande för s k "våta" transporter, vilket innebär att transportbehållaren är fylld med vatten under bränsletransporterna.

NTL12 (fig 2-4) är en fransk-tysk konstruktion och kapacitetsmässigt den hittills största transportbehållaren på världsmarknaden. Behållarkonstruktionen är baserad på en ca 300 mm smidd stålkonstruktion, vilken utgör såväl tryckkärlet som gammastrålskydd. Transportbehållaren är invändigt klädd med rostfri plåt. För att erhålla fullgott neutronstrålskydd är stålbehållarens utsida försedd med ett ca 100 mm tjockt organiskt material. Avledning av de höga värmemängderna (max. 100 kW) möjliggöres genom att transportbehållarens utsida är försedd med ett stort antal kopparblad med 30 cm längd.

NTL12 medger transport av använt bränsle med vatten alternativt luft som kylmedium.



Figur 2-3. Transportbehållare av typ NTL 11 för använt bränsle (till vänster).

Figur 2-4. Transportbehållare av typ NTL 12. Denna behållare kan användas för såväl använt bränsle som förglasat avfall (till höger).

För närvarande tillverkas i Tyskland ett exemplar av NTL12 vilken beräknas komma i drift under 1978. Det franska uppdragsföretaget COGEMA har nyligen beställt 5 exemplar av NTL12. NTL12-behållaren kommer huvudsakligen att ombesörja transporter från kärnkraftverk och centrala bränslelager till uppdragsanläggningar.

Ett antal svenska och västeuropeiska kärnkraftverk (BWR) av något äldre årgång är hanteringsmässigt ej utrustade för hantering av NTL12. Av dessa skäl planeras tillverkning av en nedbantad version av NTL12 med beteckningen NTL17. NTL17 beräknas komma i drift 1979-1980.

Som nämnts under 2.4.1 har det franska företaget COGEMA aviserat sitt inträde på transportsidan av använt kärnbränsle och planerar tillverkning av transportbehållare med beteckningen LK 80 B och LK 100 B. Uppgifter utöver kapacitet och dimensioner vad gäller dessa behållare har emellertid ännu ej erhållits.

2.4.4 Fartygstransporter

Transport av använt kärnbränsle till centrallagret förutses ske sjövägen. Nybyggnad av ett för ändamålet speciellt avpassat fartyg synes motiverad.

Lämplig fartygsstorlek är ca 1 000 ton dödvikt. Ett sådant fartyg kan ta upp till 8 stycken transportbehållare av förutsedd storlek (NTL11 eller 17) i en last. Tillgången på svenskt tonnage i denna storleksklass är mycket begränsad. Befintliga fartyg kan dessutom endast med svårighet anpassas till de krav man vill ställa på ett fartyg som regelbundet används för transport av använt kärnbränsle. För enstaka transporter skulle befintliga fartyg kunna inhyras, men eftersom bränsletransporterna kommer att pågå under en stor del av året, skulle detta förfaringssätt ställa sig oekonomiskt.

Transportfartyget bör förses med effektiva manövrerings- och förtöjningsanordningar. Djupgåendet blir begränsat till 3-4 m, vilket innebär att befintliga farleder och hamnar kan utnyttjas. Fartyget utformas antingen för konventionell lasthantering eller för roll-on-roll-off. Konventionell hantering innebär att lasten lyfts direkt ner i lastrummen med hjälp av landbaserade kranar. Denna metod tillämpas idag vid kraftverken. Roll-on-roll-off innebär att transportfordonet, trailern, kan köra ombord, såväl som iland utan att något lyft behöver utföras med hamnkranen. Möjligheter att anpassa hamnarna vid kärnkraftverken till en sådan rationellare hantering finns vid samtliga kärnkraftverk.

Lasten förankras i transportfartyget på sådant sätt att den inte kan frigöras vid kollision eller grundstötning. Skrovet indelas i vattentäta skott för ökad flytsäkerhet. Skulle fartyget ändå gå till botten skall det lätt kunna lokaliseras. Därför kommer det att förses med t ex en undervattenssändare som automatiskt utlöses vid förlisning. De djup som kommer i fråga medger bärgning av såväl fartyg som last.

Fartygsskrovet skall vara utfört för gång i is. Ett fartyg av aktuell storlek kan dock inte fungera som isbrytare, varför assistans av isbrytare erfordras vid svårare isförhållanden.

En förstudie till ett fartygsprojekt har utförts /2-2/. Enligt denna är leveranstiden för ett fartyg av här beskriven typ f n 1,5 - 2 år.

2.4.5 Drift av systemet

En tänkbar form för en svensk transportorganisation är följande:

- Transportorganisationen (personal, utrustning m m) ingår som en enhet i det centrala bränslelagrets organisation.
- Transportbehållare anskaffas genom ett samgående med en befintlig transportorganisation. Alternativt kan licenstillverkning bli aktuell.
- Hjälpustrustning (trailer, dragfordon m m) anskaffas av transportorganisationen.
- Transportfartyg byggs och ägs av ett svenskt rederi. Transportorganisationen chartrar fartyget alltefter behov (troligtvis året runt).
- Transportorganisationen handhar/genomför erforderliga transporter på uppdrag av svensk kraftindustri.

2.5 TRANSPORT AV FÖRGLASAT HÖGAKTIVT AVFALL

2.5.1 Allmänt

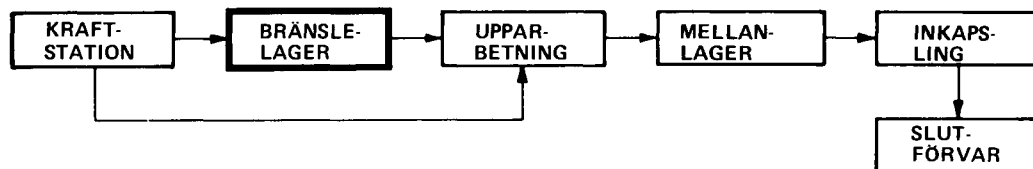
Transport av förglasat högaktivt avfall i form av avfallscylindrar från europeiska upparbeitungsanläggningar handhas av uppbetningsföretaget eller av detta anlitaad transportorganisation.

Avfallscylindrar kommer att transporteras från aktuell upparbeitungsanläggning till Sverige i transportbehållare som i stort sett är identiska med dem som utnyttjas för använt kärnbränsle. NTL12 är en av de behållare som kan komma ifråga. Den kan transportera upp till 6 ton kärnbränsle med en maximal tillåten värmeutveckling av 100 kW. Beräkningar som genomförts för denna transportbehållare visar att 15 avfallscylindrar kan transporteras. Värmeutvecklingen blir därvid 17 kW, vilket ligger långt under behållarens tillåtna värden. Gamma- såväl som neutronstrålskyddet är fullt tillräckligt för att uppfylla IAEAs normer.

2.5.2 Transporternas omfattning

Efter utbyggnad till 13 reaktorer blir det årliga uttaget av kärnbränsle ca 300 ton uran vilket motsvarar 300 avfallscylindrar. De fartyg som idag används för transport av transportbehållare har en lastkapacitet motsvarande 6 behållare av typ NTL12. Ett transportfartyg skulle således kunna frakta maximalt 90 avfallscylindrar vilket motsvarar 3 à 4 båttransporter per år om allt kärnbränsle upparbetas.

3 CENTRALT LAGER FÖR ANVÄNT BRÄNSLE



3.1 ALLMÄNT

Föreliggande kapitel grundar sig på den av programrådet för radioaktivt avfall (PRAV) genomförda förstudien över ett centralt lager för använt kärnbränsle /3-1/.

Centrallagrets storlek och utförande har baserats på en total lagringskapacitet av 3 000 ton använt bränsle. Bränslet beräknas komma att förvaras i centrallagret i max 10 år för att därefter transporteras antingen till upparbetning eller förvaring på annat sätt.

Centrallagret skall även rymma kasserade komponenter från reaktorhärden. De skall i vissa fall genomgå mekanisk bearbetning före lagring i bassängerna. Anläggningen förutses bli förlagd i berg.

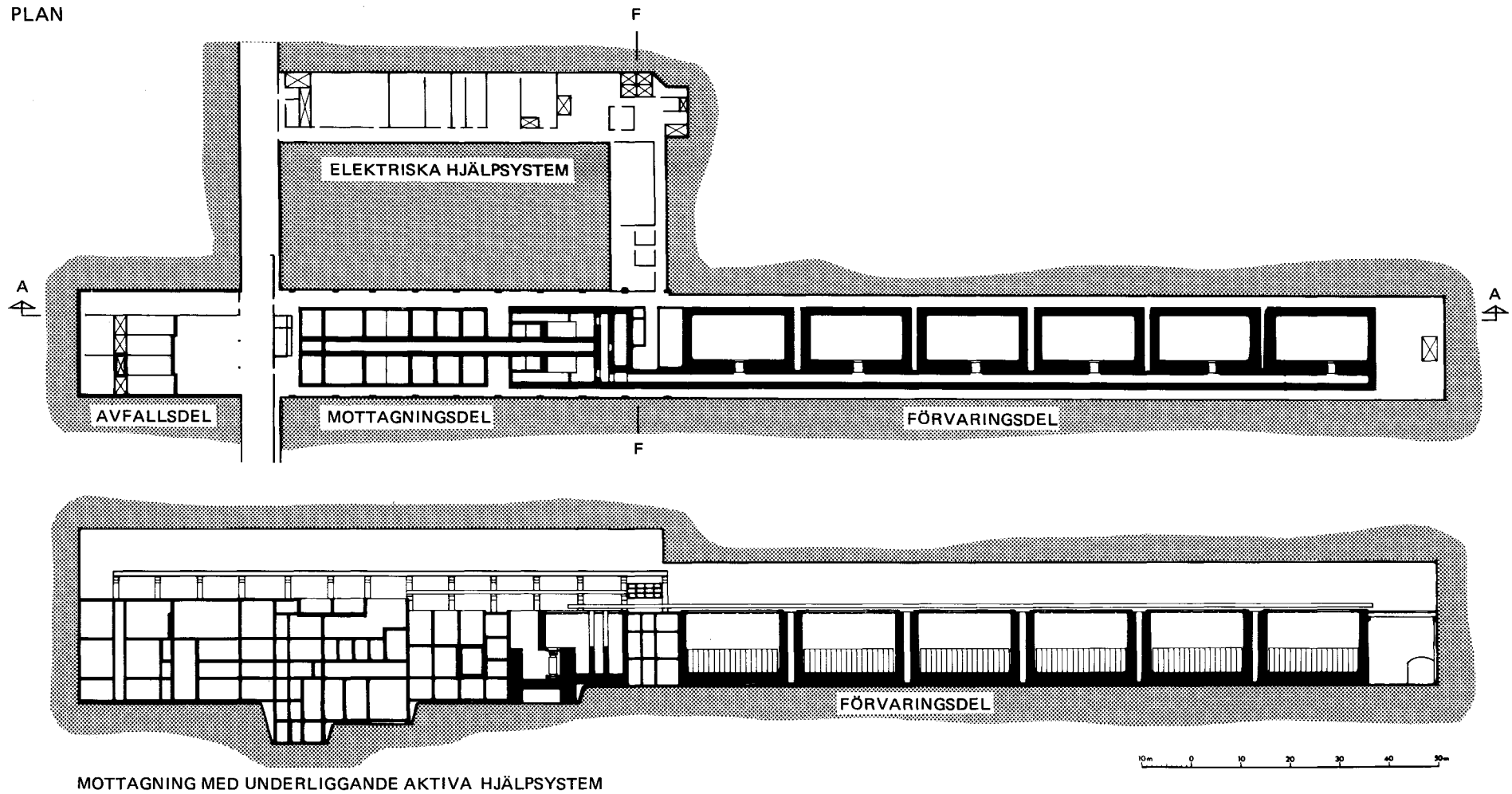
Anläggningen har tre huvuddelar: Mottagningsdel, förvaringsdel och hjälpsystemdel (se fig 3-1 och 3-2).

Bränslet anländer till centrallagret i transportbehållare som tas emot, rengöres och nedkyles i mottagningsdelen varefter bränslet urlastas.

I förvaringsdelen lagras bränslet i ett antal bränslebassänger i princip uppbyggda på samma sätt som i en kärnkraftstation.

Hjälpsystemdelen utgöres av utrustning för kylning, rening av kylvatten, avfallsbehandling, processövervakning och kraftmatning.

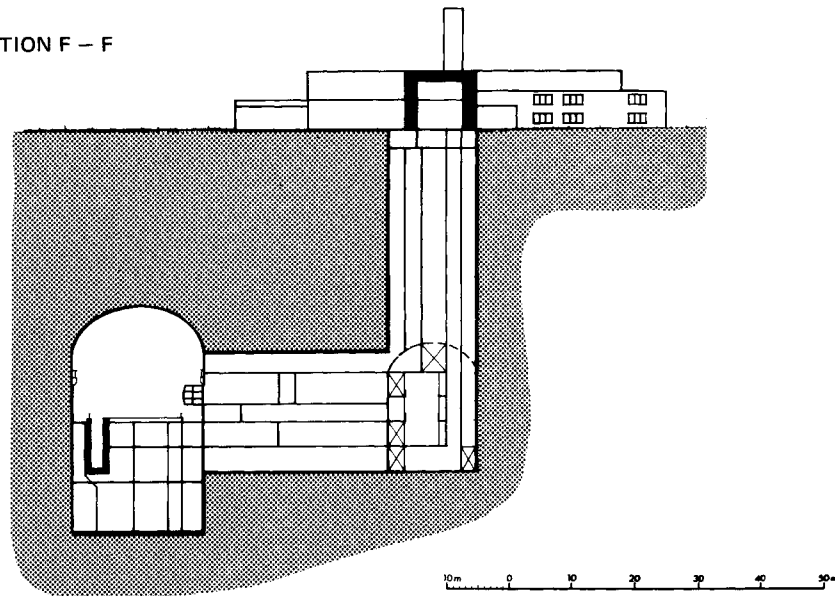
Lagring av använt bränsle i vattenfyllda bassänger är en i princip okomplicerad verksamhet, från vilken flerårig erfarenhet finns vid kärnkraftverk. På grund av den stora hanteringsfrekvensen och mängden lagrat bränsle i centrallagret, måste emellertid detaljerade överväganden göras beträffande layout och systemutformning innan definitiv utformning fastställs, för att anläggningen skall få bästa drifttillgänglighet, säkerhet och ekonomi. Den här redovisade utformningen är i vissa avseenden preliminär men ger ändå en bild av huvudprinciperna för hantering och lagring av använt bränsle i ett centralt lager.



LÄNGDSEKTION A – A

Figur 3-1. Plan och längdsektion av centralt lager för använt bränsle. (Ur programrådets för radioaktivt avfall förstudie.)

TVÄRSEKTION F – F



Figur 3-2. Tvärsektion av centralt lager för använt bränsle. (Ur programrådets för radioaktivt avfall förstudie.)

3.2 FÖRUTSÄTTNINGAR OCH HUVUDDATA

3.2.1 Huvuddata

Nedanstående huvuddata utgör bas för anläggningens dimensionering.

Förvaringskapacitet bränsle	3 000 ton uran
Förvaringskapacitet BWR-element	12 000 st
" PWR-element	1 800 st
" hårdkomponenter	700 ton
Förvaringskassetter BWR-typ om 25 st	480 st
" PWR-typ om 9 st	200 st
Antal förvaringsbassänger	6 st
Uranmängd per bassäng normalt	500 ton uran
Vattenvolym per bassäng	2 000 m ³
Totalt kylbehov max	6,5 MW
Havskylvattenmängd	400 kg/s
Temperaturhöjning havskylvatten	5 °C
Bassängtemperatur normalt	20-30 °C
" max vid normaldrift	60 °C
" max vid reducerad kylkapacitet	100 °C
Mottagningskapacitet	1 transportbehållare/dygn
Total utsprängd bergmassa	250 000 m ³

3.2.2 Principer vid konstruktion och dimensionering

Anläggningen kommer att utföras enligt modern teknisk standard och så att myndigheters normer och föreskrifter uppfylles.

Anläggningens konstruktion skall baseras på en livslängd av minst 60 år. Undantag kan göras för utbytbara detaljer.

Byggnader och system utformas så att ett visst skydd mot sabotage och krigshandlingar åstadkommes. Bränsleförvaringsbassängerna och

ett system som kan tillföra vatten till dem avses bli jordbävningssäkrade.

Anläggningen utrustas med dieselaggregat för elektrisk kraftmatning vid bortfall av yttre nät.

3.2.3 Separering och redundans

System som svarar för kylning av bränslet eller förhindrar respektive begränsar aktivitetsfrigörelse utföres med dubblerade processtråk. Dubbleringen utföres så att hög drifttillgänglighet erhålles och på ett sådant sätt att fel i en komponent inte äventyrar funktionen hos systemet.

Bränslebassängernas vattentemperatur tillåtes stiga till max 60°C om endast en värmväxlare eller en pump är ur drift. Även lufttemperatur och luftfuktighet tillåtes stiga vid bortfall av en komponent.

Vid totalt bortfall av ordinarie kylning kommer bassängvattnets temperatur efter ungefär en vecka att stiga till 100°C. För att garantera att bränslet hålls vattentäckt förses anläggningen med ett spädvattensystem som direkt från en lagertank kan tillföra erforderlig vattenmängd till bassängerna. Detta system skall vara fysiskt separerat från bassängernas normala kylsystem och ej kräva fungerande elmatning.

Bassängerna konstrueras så att de tål de påkänningar de utsätts för vid kokning.

3.2.4 Brand

Anläggningen förses med branddetekterings- och släckningssystem. Brandzoner skall tillämpas för utrymning och brandbekämpning.

En brand får ej slå ut den elektriska kraftmatningen till båda delsystemen för bassängkylning. En brand i driftledningscentralen kan tillfälligt tillåtas slå ut båda processtråken. Manuell start av minst ett av processtråken skall vara möjlig från annan plats än driftledningscentralen.

3.2.5 Driftledningscentral

Anläggningen förses med en driftledningscentral under jord samt ett antal lokala manöverrum. Vissa viktiga processparametrar skall även kunna övervakas från en övervakningsplats ovan jord.

3.2.6 Typ av bränsletransport

Mottagningsdelens system och utrustning konstrueras för att kunna ta emot vattenfyllda bränsletransportbehållare. Behållare i vilka bränslet transporteras i torrhet förutses ej komma till användning för bränsletransporter till anläggningen, men kan förekomma för transporter därifrån. Mättnadstrycket i behållaren är normalt 2-3 bar när den anländer fylld med bränsle.

Anläggningen förutses bli lokaliserad nära en hamn.

3.3 UTFORMNING AV ANLÄGGNINGEN

3.3.1 Allmänt

Mot bakgrund av att anläggningen, främst förvaringsdelen, skall utföras för visst sabotage- och krigsskydd, har en bergförläggning valts. Eftersom det bedöms vara lämpligt att förlägga mottagningsdelen i direkt anslutning till förvaringsdelen, har förvarings- och mottagningsdel lagts i en linje i en bergtunnel med ca 21 m bredd, 25-35 m höjd och 280 m längd, se fig 3-1 och 3-2.

I de undre delarna av mottagningsdelen är anläggningens avfallsystem samt kyl- och reningssystem för mottagnings- och förvaringsbassängerna placerade.

I ett med bergrummet för mottagning och förvaring parallellt placerat bergrum samt i ett tvärskepp mellan dessa inrymmes elektrisk kraftmatnings- och kontrollutrustning för de i bergrummen placerade utrustningarna.

Övriga hjälpsystemdelar installeras i en i marknivå placerad byggnad. Anläggningens entré-, administrations- och servicedel är placerad i anslutning till hjälpsystemdelen ovan jord.

Ovanjorddelarna står i förbindelse med bergrummen genom ett vertikalt schakt för kommunikation, rör, kablar och ventilation.

Transporter av kärnbränsle och hårdkomponenter samt övriga tunga transporter sker genom nedfartstunnlar från markytan ner till mottagningsdel och hjälpsystemdel på ca 50 meters djup under markytan. Lutningen i dessa tunnlar blir ca 1:10. En slinga av transporttunneln dras även till den borte ändan av förvaringsdelen. Eventuellt kommer ytterligare tunnlar att erfordras för att möjliggöra en snabb och ekonomisk utsprängning av bergrummen.

Hela mottagnings- och förvaringsdelarna utgör kontrollerat område enligt strålskyddsbestämmelserna.

Personaltillträdet till dessa områden sker via schaktet från ovanjordsdelen ner till utrymmen för klädbyte i det tvärskepp som finns mellan de två bergrummen.

I ovanjordsdelen utgör endast utrymme för frånluftfläktar kontrollerat utrymme.

3.3.2 Mottagningsdel

Mottagningsdelen utgör den del av anläggningen där den huvudsakliga hanteringen av inkommande och utgående aktivt material äger rum. Bergrummet har måtten ca 21 m bredd och 35 m höjd.

Mottagningsdelen innehåller utrustning för mottagning, rengöring, kylning och urlastning av bränsle ur transportbehållarna. Vidare finns intill mottagningsdelen en verkstad för underhåll av transportbehållarna.

Efter lossning från fartyget av transportbehållare med bränsle transporteras denna ner till mottagningsdelens avlastningsplats på en trailer. Avlastningsplatsen är utformad som en sluss och belägen i en tvärgående genomfart under mottagningshallens golv.

Transportbehållaren med tillhörande transportvagn lyftes upp genom slussens transportöppning med en travers och placeras i någon av de strålskärnade uppställningsplatser som finns i golvplanet.

På uppställningsplatsen demonteras behållarens stötdämpare och de förband som säkrat behållaren under transporten. Ett speciellt lyftok kopplas till behållaren varefter den reses med hjälp av traversen och lyftes till särskilda celler för kontroll, kylning och rening av vattnet i behållarna.

Behållaren förses först med en mantel som skyddar kylflänsarna mot kontaminering under de följande arbetsoperationerna. Därefter sker en kontroll av det transporterade bränslets kondition genom provtagning på behållarens vatteninnehåll. Sedan anslutes behållaren till ett speciellt cirkulationssystem för kylning och rening med vars hjälp temperaturen och därmed även trycket i behållaren kan sänkas successivt. Aktivitetsnivån i det utgående cirkulationsvattnet kontrolleras under processen, vilket ger ytterligare upplysningar om eventuella defekter i bränslekapslingen samt om hur renspolningen fortskrider.

Efter denna fas i mottagningsprocessen förflyttas behållaren till en mottagningsbassäng. I den föreslagna utformningen av mottagningsdelen kan detta ske på två sätt beroende på den aktuella behållarens typ och utförande.

Behållare av standardiserad typ avsedda för transportbehoven inom landet kommer att sänkas ned i ett schakt och ställas upp på en transportvagn som via ett horisontellt transportutrymme kan flyttas till en uppställningsplats under mottagningsbassängen.

Behållarens överdel anslutes till en transportöppning i bassängbotten med en rörlig mekanisk tätningsanordning.

Det ovan beskrivna transportsättet till mottagningsbassängen kräver en bestämd behållartyp och kan därför ej tillämpas generellt. För transporter till t ex utländska uppberedningsanläggningar kan även andra behållartyper komma till användning. Dessa behållare sänkes direkt ned i mottagningsbassängen på konventionellt sätt.

Fördelen med den förstnämnda metoden är att kontamineringen av behållarens utsida under urlastningen helt kan elimineras.

De arbetsmoment som ingår i urlastningen sker under vatten i mottagningsbassängen. Arbetet utföres med en serie verktyg som förvaras i bassängen eller är monterade på en bockkran som täcker hela arbetsområdet. Bockkranen är utrustad med en teleskopanordning för hanteringen av bränsleelement samt med lyftutrustningar för hantering av verktyg, transportbehållarnas lock och insatser m m.

Urlastningsoperationerna är i stort sett desamma för en transportbehållare i bassängposition som för den som placeras på uppställningsplatsen under bassängen. Följande arbetsmoment utföres:

- Locket demonteras och lägges upp vid sidan av behållaren.
- Med teleskopanordningen lyftes bränsleelementen upp ur behållaren och transporteras till en förvaringskassett, som finns uppställd i mottagningsbassängen. Varje element kan kontrolleras för eventuella kapslingskador och om det behövs kan positionerna i kassetten täckas med ett lock och anslutas till ett avsugningssystem.

Om insatsen i behållaren behöver bytas ut för en transport av annan elementtyp utföres följande moment:

- Insatsen lyftes upp med ett av hjälplyften på bockkranen och flyttas över till en sidodel av bassängen som innehåller utrustning för dekontaminering av hela insatsen.
- Ny insats monteras i behållaren.

När behållaren har tömts monteras locket på. Har behållaren varit placerad i bassängen tvättas den och skyddsmanteln utvändigt under lyftoperationerna för att undvika kontaminering av transportvägen över golvplanet. Om behållaren har varit placerad i urladdningspositionen under bassängen torde tvättning i samband med upptransport inte behövas.

Behållaren förs sedan över till en station för dekontaminering och kontroll innan den lämnar anläggningen. Denna station är placerad intill nedkylningsstationen och utgöres i likhet med denna av en cell under golvplanet. Skyddsmanteln demonteras och utvändiga delar tvättas så att behållarens ytaktivitet reduceras till normerade värden.

Efter transport till uppställningsplatsen och montage på transportvagnen är behållaren klar för uttransport och lastning på fartyget.

Mottagningskapaciteten har bedömts vara ca 1 behållare/dygn.

3.3.3 Förvaringsdel

Förvaringsdelen består av 6 st vattenfyllda bassänger förbundna med varandra och med mottagningsdelen genom en transportkanal. I varje bassäng finns en port till transportkanalen. Bassängerna är placerade fristående och på rad efter varandra i bergrummet, som här är ca 20 m brett och 25 m högt.

Varje bassäng innehåller normalt ca 500 ton bränsle och har en vattenvolym av ca 2 000 m³ och ett bassängdjup på 12 m.

Bassängerna är försedda med rostfri plåtinklädnad på ett sådant sätt att tätheten kan inspekteras. Vidare är bassängerna försedda med speciellt läckageövervakningssystem samt förses med täckning.

Bränslet förvaras stående i speciella kassetter i bassängerna. Kassetterna är flyttbara och användes även för transport av bränslet från mottagningsbassäng till förvaringsbassäng. En speciell kassetthanteringstravers, som löper på balkar upplagda på ömse sidor om bassängerna, användes för transport av kassetterna.

Kassetterna utförs med standarddimensioner. En kassett för BWR-bränsle avses rymma 25 element och motsvarande för PWR 9 element.

Antalet erforderliga kassetter för 3 000 ton uran med aktuell fördelning mellan BWR- och PWR-element är totalt 680 st.

De förbrukade hårdkomponenterna består i huvudsak av de plåtrör (boxar) som omsluter bränsleelementen i BWR-reaktorer, förbrukade styrstavar, neutronkällor och detektorutrustning från reaktorhårdarna. Förvaringen av detta material förutsättes ske i rostfria plåtlådor med samma yttre dimensioner som förvaringskassetterna för bränsle sedan materialvolymen reducerats genom kapning och kompaktering av skrymmande komponenter. Behovet av förvaringslådor fram till i början av 90-talet kan grovt uppskattat täckas av några 10-tal lådor.

I anslutning till mottagningsbassängdelen finns en speciell bassäng för hantering (kapning och kompaktering) av hårdkomponenterna.

Utanför traversbanorna finns gångplan längs mottagningsdelen. Under dessa plan är till- och avloppsrör för bassängkyllingen förlagda. Tillloppsrören ansluter till bassängerna på långsidorna medan avloppsrören leder vattnet från bräddavlopp längs bassängernas kortsidor.

3.3.4 Hjälpssystemdel

Hjälpssystemdelen är uppdelad i utrustningar som är placerade dels ovan dels under jord. Anläggningens radioaktiva system är förlagda under mark och placerade i nära anslutning till mottagningsdelen. Detta för att minska mängden aktiva rör och undvika långa aktiva rörkulvertar. Under jord finns även en icke radioaktiv, dvs "okontrollerad" enhet, som huvudsakligen består av elektrisk kraftmatnings- och kontrollutrustning för de under jord placerade systemen, och en driftledningscentral varifrån driftledning och anläggningsövervakning sker. De ovan jord förlagda systemen utgöres bland annat av saltvattenkylsystem, delar av mellankylsystem, tryckluftsystem, ventilationssystem, kraftmatning, ställverk, dieselaggregat etc.

Aktiva kyl- och reningssystem

I anslutning till förvaringsbassängerna och mellan dessa och bassängerna i mottagningsdelen ligger kylsystemen för bassängvatten. Avloppsledningarna från bassängerna leder till en nivåhållningsgrop under mottagningshallen. På planen under nivåhållningsgropen står bassängkylsystemens pumpar och värmeväxlare. Dessa värmeväxlare kyls via ett mellankylsystem. Mellankylsystemens värmeväxlare är placerade i ovanjordsbyggnaden och kyls i sin tur av havsvatten. Anslutningen till bassängkylsystemet sker via rörutrymmen i kommunikationsschaktet.

Vid sidan av intransportsslussen och i nära anslutning till mottagningsdelens behandlingspositioner för behållare ligger kyl- och reningssystemen för behållar- och bassängvatten. Ett aktivt rörutrymme är beläget mellan mottagningsdelens två behandlingsstråk.

På ömse sidor om detta rörutrymme och i strålskyddade celler är reningssystemens filter placerade. På planet ovanför filtercel-

lerna finns ett gemensamt serviceutrymme för dessa filter samt ett beskickningsutrymme varifrån filtren beläggs med filtermassor.

Under filtren finns rör- och ventilationsutrymmen och under dessa finns tankar för mottagning av använd filtermassa. Filtermassan pumpas härifrån via en aktiv rörkulvert till transportbehållare för använd filtermassa. Dessa står strålskyddat uppställda i mottagningsdelens avfallsdel invid transportslussen varifrån de kan transporteras ut via slussutrymme och transporttunneln.

Avfallssystemen består, förutom utrustning för använd filtermassa, av system för tillvaratagande, rening och utsläpp av vatten. Dessa system innehåller i huvudsak en indunstare och ett antal uppsamlingstankar för vatten av olika kvaliteter och i olika stadier av reningsprocessen. De är i huvudsak belägna under verkstadsdelen intill mottagningshallen. Rörkommunikationen sker via den aktiva rörkulverten.

Under transportslussen och i anslutning till avfallssystemen ligger ett manöverutrymme på kontrollerat område varifrån delar av processen kan övervakas och styras.

Elektriska system

Hela eldelen utgör okontrollerat, dvs inaktivt, område med undantag för vissa personal- och ventilationsutrymmen. Personaltillträde till eldelen sker vid bergrummets ena ände via kommunikationsschaktet.

Anläggningens driftledningscentral är placerad så att den ger möjlighet till direkt utblick över mottagnings- och lagringshallarna. I anslutning till driftledningscentralen ligger tillhörande personalutrymmen.

Eldelen är brandcellsuppdelad så att elutrustning tillhörande redundanta komponenter och delsystem är fysiskt och ventilationsmässigt separerade från varandra.

Hjälpsystem ovan jord

Ovanjordsbyggnaden innehåller eldel, dieselaggregat, kylsystem, ventilationssystem och kontors- och serviceutrymmen. Dieseldelen innehåller en extra ventilationsvåning och eldelen har en kabelvåning under mark.

Ovanjordsdelen utgör okontrollerat område med undantag av vissa utrymmen för ventilation av bergrumanläggningens kontrollerade delar.

Externt tillträde till ovanjordsbyggnaden sker via en entréhall i markplanet, vilken bevakas från ett vaktrum. Vaktrummet är dessutom placerat så att övervakning sker av entrén till kommunikationsschaktet. Kommunikationsschaktet omges av ett missilskydd av tjock betong. I anslutning till entrén ligger kontors- och personalutrymmena.

Ventilationssystemen är uppdelade i en kontrollerad del, som betjänar den bergförlagda kontrollerade mottagnings- och förvaringsdelen och i en okontrollerad del som betjänar den bergrumsförlagda eldelen och ovanjordsbyggnaden.

Tillträde till den kontrollerade ovanjordsdelen sker via ett omklädnings- och skobytesutrymme i personaldelen ovan mark.

Kylsystemet utgörs av pumpar och värmeväxlare tillhörande havsvattenkylkretsen och betjänar bl a mellankylsystemet för bassängkylnings- och reningssystem.

Kraftmatningssystemen är förlagda i markplanet över en kabelvåning som står i förbindelse med den bergrumsförlagda eldelens kabelvåningar via kabelkulvertar till kommunikationsschaktet.

3.4 LIVSLÄNGD OCH NEDLÄGGNING

Det centrala lagret beräknas få en ekonomisk livslängd av ca 60 år. Detta innebär inte att anläggningen kommer att vara obrukbar för sitt ändamål efter denna tid. Kontinuerligt underhåll och erforderliga ombyggnader av maskinell utrustning får naturligtvis utföras under dess livstid. Det är dock inte meningsfullt att i dagens läge räkna med längre livslängd.

När centrallagret tjänat ut underlättas nedläggning av att anläggningen är placerad i berg. Nedläggningen kan utföras på följande sätt:

- Bränsle bortföres till annat lagringsutrymme till upparbetning eller till direktdeponering.
- Högaktiva komponenter som inte utgöres av bränsle bortföres till slutdeponering.
- Anläggningen dekontamineras omsorgsfullt. Skrot och byggnadsdelar som utgör låg- och medelaktivt avfall bortföres för deponering.

Därefter kan bergrummen åter användas för kärnteknisk eller annan verksamhet. Om bergrummen inte skall utnyttjas för annan verksamhet utan förslutas blir arbetet med demontering och kontaminering mindre omfattande.

Nedläggning av ett centralt bränslelager bjuder på mindre problem än nedläggning av ett kärnkraftverk. Detta är främst beroende på att centrallagret inte innehåller tung utrustning eller fasta installationer som är starkt radioaktiva.

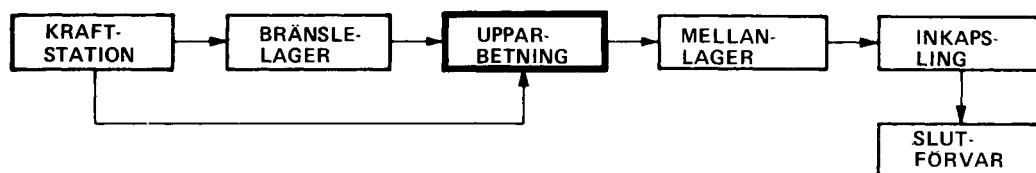
3.5 ANLÄGGNINGENS DRIFT

Det centrala lagret för använt kärnbränsle står under samma myndighetskontroll som ett kärnkraftverk, dvs statens kärnkraftinspektion, statens strålskyddsinstitut m fl myndigheter. Dessa myndigheter ger föreskrifter rörande såväl anläggningens utformning som dess drift.

Den administrativa kontrollen av bränslet kommer att genomföras under SKIs och internationella atomenergiorganets, IAEAs överinseende.

Driftpersonalen, som beräknas uppgå till ett 100-tal personer, kommer att få såväl teoretisk som praktisk utbildning i frågor som strålskydd, kriticitet, system- och komponentkännedom samt drift- och underhållsteknik. Personalens praktiska utbildning kommer bl a att omfatta tjänstgöring på i drift varande kärnkraftverk med speciell inriktning på bränslehantering.

4 UPPARBETNING OCH FÖRGLASNING



Det använda kärnbränsle som skall upparbetas skall antingen transporteras direkt eller via det centrala bränslelagret till en upparbetningsanläggning. Sådana anläggningar planeras för närvarande inte i Sverige, varför upparbetningstjänster måste köpas från utlandet. På grund av detta behandlas dessa anläggningars utformning och drift mer översiktligt än andra anläggningsdelar tillhörande kärnbränslecykeln. Huvudvikten i detta kapitel har lagts vid egenskaperna hos det förglasade avfall som planeras komma att återsändas till Sverige för slutlig förvaring.

4.1 UPPARBETNING

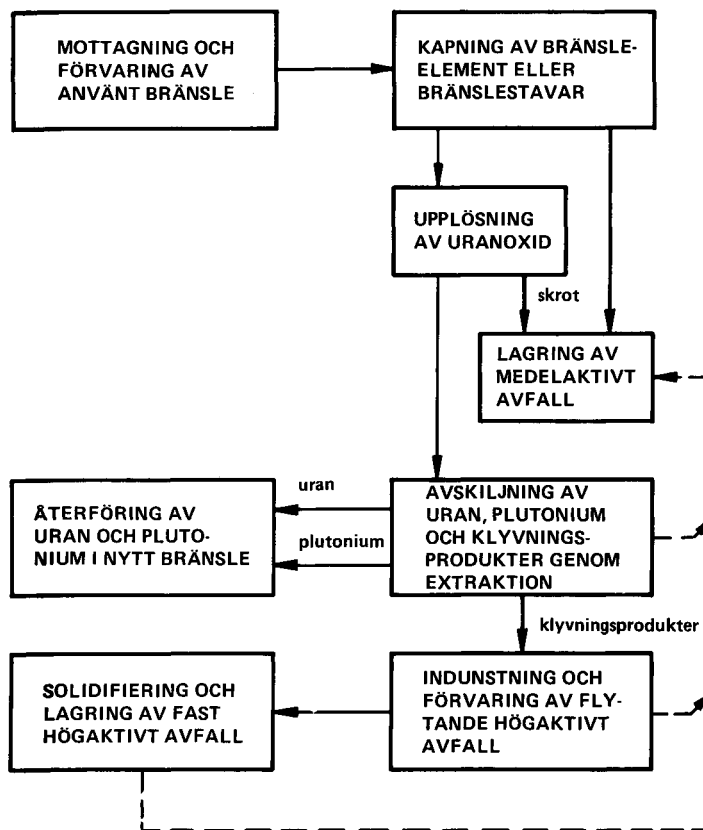
4.1.1 Processer

De anläggningar för upparbetning av använt kärnbränsle som nu är uppförda, under byggnad eller i planeringsskedet, bygger alla på varianter av den amerikanska Purexprocessen. I korthet omfattar denna process kapning av bränsleelementen, upplösning av bränslet i kokande salpetersyra, separation av uran och plutonium från klyvningsprodukter genom extraktion med ett organiskt lösningsmedel, separation av uran och plutonium från varandra samt slutrening av uran och plutonium.

Genom upparbetning av det använda bränslet uppdelas detta i fyra fraktioner innehållande uran, plutonium, kapslingsavfall och högaktivt avfall i lösning. Figur 4-1 visar ett schema över upparbetning av använt kärnbränsle från lättvattenreaktorer.

Lättvattenreaktorer som dominerar utbyggnaden av kärnkraft använder bränsleelement med uranet i form av oxid. Utbränningen i detta bränsle uppgår till ca 30 000 MW dygn per ton uran. Detta är mycket högre än i de engelska och franska gaskylda kraftreaktorerna och i de reaktorer som byggts för militära ändamål. Erfarenheterna från upparbetning är störst för bränsle från den senaste typen av reaktorer.

Tekniken att bearbeta detta bränsle visade sig ge besvärligare problem än väntat jämfört med bränsle med låg utbränning. Problemen var hänförliga till den mekaniska sönderdelningen av bränslet liksom till upplösning av uranoxid, separation av fasta partiklar från vätskan, och den högre strålningsnivån som ger viss sönderdelning av de organiska processvätskorna. Upparbetning av lättvattenreaktorbränsle har nu demonstrerats i fem anläggningar,



Figur 4-1. Processchema över uppberedning av använt bränsle från lättvattenreaktorer.

Eurochemic i Belgien, WAK i Västtyskland, Windscale i England, La Hague i Frankrike och Nuclear Fuel Services i USA.

Vid sidan av huvudprocessen finns en rad hjälpsystem för bl a behandling av lösningsmedlet för att det skall kunna användas på nytt, återvinning av salpetersyra samt behandling av gasburet och flytande avfall. För detta krävs en omfattande och avancerad teknik för processkontroll liksom för skydd av personalen.

Det till anläggningen inkommande bränslet förvaras kylt och strålskyddat i vattenbassänger. Från bassängerna transporteras bränslet efter en svalningstid om minst 1 år till förbehandling, där bränsleelementen befrias från yttre konstruktionsdetaljer och kapas till 5-8 cm långa bitar.

Det kapade materialet överförs i en korg till en upplösare, där uranoxiden med sitt innehåll av klyvningsprodukter och transuroner löses upp i kokande salpetersyra. Kapslingsskrotet blir kvar ouplöst och överförs till behållare för lagring. Detta skrot innehåller i zircaloykapslingen bildad aktivitet och spår av bränslerester. Gasformiga klyvningsprodukter, i första hand jod, krypton och tritium avgår. I avgassystemet separeras joden med alkalisk tvätt och med speciella filter. Metoder finns också utvecklade för att separera krypton från avgasen.

Lösningen innehållande det i salpetersyra upplösta bränslet matas in i ett system, där två i varandra olösliga vätskor - den salpetersura bränslelösningen, och ett organiskt lösningsmedel -

strömmar i motsatta riktningar under växelvis omblandning och avskiljning av vätskefaserna (motströmsextraktion). Uran och plutonium har under rådande betingelser hög löslighet i det organiska lösningsmedlet, medan lösligheten är mycket låg för klyvningsprodukterna. Den från systemet utströmmande vattenfasen innehåller 99,9% av klyvningsprodukterna. /4-21/ Denna innehåller det högaktiva avfallet.

Den högaktiva avfallslösningen går därefter till behandlingssteg för koncentrerings och förvaring. Efter separationen i det första extraktionssteget förs produktströmmen till ett nytt extraktionssteg. Där justeras betingelserna så att plutonium överförs till en kemisk form, som i stort sett är olöslig i den organiska fasen medan uranets löslighet är oförändrad. Härigenom separeras uran och plutonium från varandra. Genom ytterligare reningssteg uppnår såväl uran som plutonium åsyftad renhet.

Uran föreligger slutligen som uranyl-nitratlösning, som kalcineras till urantrioxid. Denna transporteras till en anläggning för omvandling till uranhexafluorid och för förnyad anrikning. Plutonium förvaras som plutoniumnitratlösning och överförs till plutoniumdioxid innan det kan användas för bränsletillverkning.

Den högaktiva avfallslösningen innehåller 99,9% av klyvningsprodukterna, ca 0,1% av den ursprungliga uranmängden, ca 0,5% av ursprunglig plutoniummängd och hela mängden övriga transuraner. Lösningen indunstas och förvaras vanligen en tid som flytande koncentrat i kyllda och övervakade rostfria tankar. Efter viss tids förvaring kalcineras och förglasas det högaktiva avfallet.

4.1.2 Upparbetningsanläggningar

De högaktiva processerna i en upparbetningsanläggning måste utföras bakom strålskärmar i celler med metertjocka väggar av betong. De delar där uran eller plutoniumhaltiga ämnen hanteras måste utformas för säkerhet mot kriticitet. Detta åstadkommes genom geometriska begränsningar av processutrustningen, begränsning av mängden fissilt material i lösningarna eller genom att man tillsätter neutronabsorberande ämnen.

Administrativt och processmässigt är en upparbetningsanläggning uppdelad i olika sektioner med hänsyn till strålnivåer och aktivitetsinnehåll. Flera skyddsbarriärer tillämpas. Så är till exempel det rostfria kärlet för upplösning av bränslet försett med speciell ventilation som håller undertryck i kärlet. Upplösaren står uppställd i en cell vars golv och väggar är inklädda med rostfri plåt. Cellen ventileras så att den har lägre tryck än omgivande utrymmen med lägre aktivitetsnivå.

Principerna för anläggningens underhåll spelar en stor roll för utformningen av en upparbetningsanläggning. För den komplexa mekaniska utrustningen i cellen för mekanisk sönderdelning av bränsleelement tillämpar man i regel sk fjärrstyrt underhåll. Detta betyder att cellen är försedd med manipulatorer och annan utrustning som gör det möjligt att utföra reparationer utan att gå in i cellen.

För att det skall vara möjligt att rengöra (dekontaminera) rör och kärl grundligt innan underhållsåtgärder genomförs är en hög

ytfinhet av stor betydelse. Ur dekontaminationssynpunkt försöker man också undvika alla fickor och skarpa hörn i rörledningar där aktivt slam skulle kunna ansamlas och bli svårt att tvätta bort.

Vid överföring av starkt aktiva vätskor mellan processkärl undviker man att använda utrustning med rörliga delar (mekaniska pumpar o dyl). Istället användes ångejektorer, gaslyftpumpar eller nivåskillnader mellan kärlen. Detta minskar risken för läckage och minimerar underhållsbehovet.

4.1.3 Drifterfarenheter

Upparbetningsindustrin har en 30-årig historia. Sedan 1940-talet har man upparbetat bränsle från militära produktionsreaktorer, forsknings- och experimentreaktorer samt gaskylda kraftreaktorer. Tekniken för detta har inom Europa demonstrerats i industriell skala under många år vid Windscale, Marcoule, La Hague och Eurochemic.

Erfarenheterna från det första steget i upparbetningen, mottagning och bassänglagring av bränsle, har medfört att man nu installerar effektivare system för rening av bassängvattnet. Utrustning för att isolera och täcka läckande bränsle är ett annat medel för att minska dosbelastningen på personal som arbetar i mottagningsdelen.

En hög driftsäkerhet vid enheten för sönderdelning av bränsleelement är av fundamental betydelse för drifttillgängligheten vid upparbetning. Man har vid anläggningen i Karlsruhe (WAK) inte beträtt cellen för mekanisk sönderdelning efter idrifttagningen för 4,5 år sedan. Vid La Hague där man kapar hela bränsleknippet har man haft vissa inledande svårigheter, som man nu tycks ha övervunnit.

Vid upplösningen av högutbränt oxidbränsle får man jämfört med bränsle från gaskylda reaktorer större mängd olösliga klyvningsprodukter. Detta utgörs av finfördelat fast stoff. Vidare bildas zirkaloyspån vid kapningen av bränslestavarna. De fasta partiklarna kan störa extraktionsprocessen och måste därför avskiljas. Det kan ske genom centrifugering eller filtrering.

Ett av huvudproblemen i extraktionsprocessen har för högutbränt bränsle visat sig vara radiolys av organisk lösning och åtföljande bildning av zirkoniumdibutylfosfatfällningar, som kan störa den fortsatta processen. Extraktionsapparaturen måste därför utformas för att ge en minimal kontakttid mellan det organiska lösningsmedlet och den aktiva lösningen. Pulskolonner och centrifugalkontakter kan ge kontakttider som är en faktor 10 lägre än för blandare-avsättare. Inom det franska atomenergikommissariatet har man utvecklat speciella flerstegs centrifugalkontakter som kommer att användas vid anläggningen för oxidbränsle i La Hague.

Zirkonium och rutenium är de klyvningsprodukter som är svårast att skilja från uran och plutonium i första extraktionscykeln. De kan därför bidra till en högre strålnivå i de efterföljande stegen för separation och rening av uran- och plutoniumlösningarna. Detta har varit ett av problemen för de anläggningar där utrustningen ursprungligen dimensionerats för bränsle med lägre utbränning.

Vid avgasreningen i en upparbetningsanläggning måste man effektivt kunna avskilja jodisotoperna I-131 och I-129. I-131 är kortlivad (halveringstid 8 dygn) och behöver beaktas endast vid upparbetning tidigare än 6 månader efter uttag av använt bränsle ur reaktorn. Detta fall är inte aktuellt för lättvattenbränsle. På grund av de sänkta gränserna för utsläpp av I-129 och på grund av problemen med att handha jodhaltiga, alkaliska tvättlösningar går man nu över till fasta filter med silverimpregnerade katalysatorer. Utprovning av sådana filter har visat sig minska utsläppen till mindre än en tusendel.

Driften av Eurochemic, WAK, Windscale och La Hague har demonstrerat upparbetning av oxidbränsle i industriell skala. För La Hague har förbättrad apparatur utvecklats och provats för kapning av oxidbränsle, för separering av fasta partiklar och för vätskeextraktion med korta kontakttider. Förutsättningarna bedömes därför goda för tillfredsställande drifttillgänglighet vid den fortsatta driften i stor skala.

4.1.4 Arbetsmiljö och säkerhet

Det som främst skiljer arbetsmiljön i en upparbetningsanläggning från arbetsmiljön i andra kemiska fabriker är naturligtvis radioaktiviteten. Genom att man effektivt kan mäta och övervaka strålnivåerna i en upparbetningsanläggning och registrera doserna till personalen har man kontroll över strålmiljön. En sådan direkt registrering och kontroll är ofta inte möjlig för kemiska miljöfaktorer. Rekommendationerna från den internationella strålskyddskommissionen (ICRP) innebär bl a att årsdosen för radiologiskt arbetande personal får vara högst 5 rem. Huvudregeln för strålskyddsarbetet skall vara att hålla doserna så låga som är praktiskt möjligt.

Inre miljön i La Hague

Den nya mottagningsanläggningen för bränsle från lättvattenreaktorer har varit i drift under kort tid. Erfarenheterna från bearbetning av bränsle från gaskylda reaktorer bedöms emellertid tillräckligt representativa för att ge en bild av den förväntade arbetsmiljösituationen inför drift med lättvattenbränsle.

Vid upparbetningsanläggningen finns en enhet för företagshälsövård (Service Médical de Travail; SMT) och ett medicinskt laboratorium (Laboratoire d'Analyse Médical; LAM), som utför löpande toxikologiska och radiotoxikologiska analyser. Tolv personer finns sysselsatta vid SMT-enheten och sexton personer vid LAM-enheten. /4-22/

Strålskyddet övervakas av Service Central de Protection de la Radiation Ionizée (SCPRI) inom hälsovårdsministeriet. Man följer ICRPs normer. Medeldosen per anställd i radiologiskt arbete var 1975 350 mrem/år. Anställda i avkapslingsdelen (ca 60 personer) och anställda sysselsatta med dekontaminering (ca 50 personer) hade erhållit en medeldos av 1600-1700 mrem per år. Dessa två grupper erhåller de högsta doserna i upparbetningsanläggningen.

Registrerade exponeringar och andra arbetsmiljöfrågor utvärderas

och diskuteras månatligen i en kommitté som innehåller företrädare för både COGEMA och fackföreningarna.

Vid La Hague finns sedan länge en hälso- och säkerhetskommitté med lokala representanter för de anställda och företagsledningen. Efter en strejk tillsattes i november 1976 en utökad hälso- och säkerhetskommitté med deltagare även från de anställdas centrala fackföreningar och företagsledningen i Paris. Denna kommitté avgav sin slutrapport /4-23/ i juni 1977. Kommitténs rekommendationer är enhälliga. De innehåller 47 punkter för att förbättra arbetsmiljön. Punkternas omfattning är skiftande. 11 av punkterna hade åtgärdats i juni 1977. För varje punkt finns en tidplan och samtliga åtgärder planeras vara genomförda 1981. COGEMAs styrelse har beslutat att genomföra 47-punktsprogrammet enligt kommitténs förslag.

47-punktsprogrammet indelas i följande avsnitt:

- arbeten och ändringar på kort och medellång sikt;
- betydande nyinvesteringar på medellång sikt;
- nyanställningar (bl a strålskyddspersonal);
- skyddsmaterial;
- organisation och metoder;
- utredningar;
- utbildning;
- tekniska problem;
- personalproblem;
- teknisk organisation och metoder.

Representanter för de anställda inom hälso- och säkerhetskommittén anser /4-24/ att säkerheten är god, men att 47-punktsprogrammet behöver genomföras för att få marginal i säkerhetsavseende.

Yttre miljön

Från anläggningen i La Hague sker utsläpp till luft och vatten som kontrolleras noga. För vattenutsläpp har de franska strålskyddsmyndigheterna fastställt följande gränsvärden:

β-strålning	40 000 curie/år
tritium	60 000 "
α-strålning	90 "

För år 1975 uppmättes vattenutsläppen till β = 32 000 curie, tritium = 11 000 curie och α = 13 curie. År 1976 kunde man reducera β = utsläppet till 19 000 curie. /4-25/

I La Hague finns ett omfattande nät av kontrollstationer för att dels mäta de utsläpp som görs till luft (huvudsakligen krypton) och vatten, dels analysera de halter av radioaktiva ämnen som uppträder i miljön. År 1975 togs 2 200 prov i miljön och på dessa utfördes 6 800 analyser. /4-26/ Bl a tas prov av luft, regnvatten, bäckar, grundvatten, växter, mjölk, havsvatten, sand och sediment, alger, skaldjur och fisk. Prov tas dels i närheten av området, dels även på större avstånd.

Sammanfattningsvis kan sägas, att utsläppet från La Hague till den mest utsatta gruppen människor beräknas till 1 mrem/år från förtäring av fisk och skaldjur samt 5 mrem/år från luftutsläpp,

huvudsakligen krypton-85. Kompletterande information ges i /4-26/. Dessa värden kan jämföras med den yttre naturliga strålningen vid La Hague som är 100 mrem, och den interna strålning från kalium-40 i människokroppen som ger 25 mrem /4-21/.

4.2 FÖRGLASNING

Metodutveckling för ingjutning av det högaktiva avfallet i glas pågår i en rad länder. Vid den franska pilotanläggningen PIVER i Marcoule har man producerat 15 ton högaktivt glas av borsilikat-typ. Man använder en diskontinuerlig process med en speciell ugn. Metoden innebär att man i samma apparat successivt indunstar, kalcinerar och smälter till glas. Ugnen som används är av inconel och värms genom induktion /4-27/.

Avfallslösningen blandas med en svag salpetersyralösning som tillsättes ugnen och som innehåller de glasbildande tillsatserna i form av mycket små partiklar. Temperaturen höjs med 100°C per timme upp till 1 150°C, varunder kalcineringen slutförs och glasbildningen börjar. Efter 3-4 timmar får glassmältan rinna ned i en behållare av kromnickelstål /4-20/.

En första industriell prototypanläggning, AVM (L'Atelier de Vitrification de Marcoule) är baserad på tidigare erfarenheter från PIVER-anläggningen och provkörs f n med inaktivt material. Anläggningen kommer att tas i aktiv drift kring årsskiftet 77/78 /4-28/. Den kommer att solidifiera det högaktiva avfallet huvudsakligen från upparbetning av relativt lågutbränt bränsle från gaskylda reaktorer och bränsle från forskningsreaktorer. Man planerar också att bygga en motsvarande anläggning i La Hague för solidifiering av avfall från upparbetning av oxidbränsle.

AVM-processen är kontinuerlig. Den inleds med att den högaktiva vätskan torkas till ett pulver (kalcinat) som sedan smälts ihop med borsilikatglas i en ugn vid ca 1 100°C. Ett homogent glas bildas genom att borsilikatglasmassan kan lösa alla de metalloxider som ingår i det högaktiva avfallet. Glaset gjuts sedan i behållare av kromnickelstål. När behållaren är fylld, svetsas ett lock på så att den blir hermetiskt tillsluten.

I Marcoule finns ett mellanlager för högaktivt avfall där f n 154 avfallscylinrar med en total aktivitet av 5 miljoner curie förvarats sedan 6-8 år. Lagringsanläggningen består av en betongkonstruktion under jord med vertikala runda hål i vilka glascylinrarna staplas ovanpå varandra. En 1 1/2 m tjock betongpropp isätts varje hål. Ovanför lagret kan man vistas obehindrat.

4.3 DET FÖRGLASADE AVFALLETS LÖSLIGHET

4.3.1 Utlakningsratens tidsberoende

Glaset är uppbyggt i form av ett nätverk med en sammanhängande, tredimensionell struktur som innehåller kisel-, bor- och aluminiumoxider. I detta nätverk binds sedan andra ämnen.

De ämnen som ingår i glas, utlakas på två olika sätt /4-1/. Ämnen, som ingår i nätverket, löses upp direkt från ytan. Denna me-

kanism gäller exempelvis för kisel, bor, aluminium och plutonium. För cesium och strontium sker utlakningen till en början genom att ämnena ersätts av vätejoner inne i glasgittret. Man får därvid en diffusionsstyrd utlakningshastighet, som sjunker med tiden. Efter en period på några veckor eller mindre kommer utlakningen också för dessa ämnen väsentligen att bestämmas genom en direkt avbetning av ytan /4-2/.

Utlakningskurvornas exakta form beror på strukturen hos det kiselsyrarika skikt, som bildas i kontakt med laklösningen. Man finner genom försök att även ämnen med i början stor skillnad i utlakningshastighet efter några månader kommer att ha utlakningshastigheter nära varandra. Detta medför att man kan räkna med att de utlakade kvantiteterna är proportionella mot halterna av olika ämnen i det avbetade glaset, och att man kan sätta avbetningshastigheten lika med lakningsraten.

För laboratorietillverkat franskt glas av lättvattenreaktortyp som innehåller 20% klyvningsprodukter har man efter ca 3 månader funnit att utlakningen per dygn är konstant vid försök med riklig vattenomsättning. Utlakningsraterna är då ca $2 \cdot 10^{-7}$ gram per cm^2 och dygn vid rumstemperatur. Detta motsvarar en avbetningshastighet på $3 \cdot 10^{-4}$ mm per år /4-3, 4-29/. Ännu lägre värden (ner till $5 \cdot 10^{-11}$ gram per cm^2 och dygn) har erhållits för strontium efter 15 år vid fältförsök med nedgrävda block av kanadensiskt nefelin-syenitglas /4-4/.

Om man vill beräkna utlakningen av ett radioaktivt ämne från en glaskropp multipliceras lakningsraten först med den tillgängliga ytan för utlakning och sedan med den bråkdel som det radioaktiva ämnet utgör av glaset.

I slutförvaret kommer vattenflödet kring det inkapslade glaset att vara mycket lågt, se II:5. Utlakningshastigheten blir därvid lägre än de som bestämts vid riklig vattenomsättning /4-30/. Frågan behandlas närmare i avsnitt IV:6.3.

4.3.2 Inverkan av grundvattnets sammansättning

Variationer i lakmedlets sammansättning kan påverka dess angrepp på glaset. Detta gäller speciellt halten av ämnen, som kan bryta upp Si-O-bindningarna i nätverket. Hydroxid- och fluoridjoner kan reagera på detta sätt, /4-5, 4-6/, vilket bl a innebär, att vattnets pH-värde kan vara en viktig faktor. Fluoridjonkoncentrationen är låg i de flesta grundvatten, och dess inverkan är störst vid låga pH-värden. Låga pH-värden behöver inte förutsättas vid lågt vattenflöde, då lakmekanismen för glas genererar en borat-silikat-buffert med pH ca 9. Även bentoniten stabiliserar pH-värdet vid denna nivå.

Lakningsresistensen kan teoretiskt också påverkas av de ämnen, som ingår i själva glaset och som vid långvarig kontakt mellan en liten mängd lakvätska och glas kan byggas upp till högre koncentrationer i vätskan, /4-7/. Vid glas av den typ, som skall användas vid förglasning av aktivt avfall kommer natrium-, borsyra- och kiselsyrakoncentrationer på några hundra ppm att kunna byggas upp. Natriumjonerna kommer genom återdiffusion in i glaset eventuellt att minska korrosionshastigheten något. Med utgångspunkt från franska försök med saltlösningar och lösningar innehållande

klyvningsprodukter är de utlösta ämnens inverkan på lakningsraten liten. /4-8/

Övriga i laklösningen förekommande ämnen kan åtminstone temporärt minska utlakningsraterna genom bildning av ett skyddande skikt av exempelvis karbonater eller sulfater på ytan vid nära stationära förhållanden. Vid de pH, som är aktuella i grundvatten, kan man dessutom få utfällningsreaktioner i vätskan exempelvis av karbonater liksom komplexbildning av uran och plutonium, vilket påverkar dessa ämnens vidare transport. Viktigt i detta avseende är vätekarbonathalten. Klorid, som spelar en stor roll vid korrosion av metalliska material, påverkar ej korrosionen av franskt glas. Detta framgår såväl av att den ej påverkar mekanismen för glasutlakning som av ovannämnda franska försök.

Det kan tilläggas att man vid engelska försök funnit 10-30 ggr högre utlakningsrater för jonfritt vatten jämfört med naturligt vatten. /4-9/ Jonfritt vatten har emellertid aldrig påträffats och kan ej förekomma i svensk berggrund.

4.3.3 Inverkan av pH på lakningshärdigheten

Experiment har utförts i Marcoule i Frankrike /4-8/ med glas innehållande aktiva klyvningsprodukter för att studera inverkan av pH på utlakningsraterna, framför allt för cesium-137 och strontium-90.

Försöken som gjordes på ett franskt grundglas visade, att glasets utlakningsresistens ej förändrades inom pH-intervallet 4-11. Vid pH 3 var utlakningen 10 och vid pH 14 20 ggr så stor som vid pH 8 /4-11/. Försöken innebär, att glas med inkorporerade fissionsprodukter är betydligt mindre pH-känsliga vad gäller utlakningsraten än vanligt sodaglas. Detta gäller speciellt inom det alkaliska området, där man för vanligt glas har ett väsentligt ökat angrepp vid pH 9-10. Syraresistensen är däremot sämre såväl enligt uppgifter från Eurochemic som Marcoule. pH-värden under 4 är emellertid utomordentligt osannolika vid de förhållanden, som råder runt glaskroppen vid slutlig förvaring.

För att bekräfta borsilikatglasets resistens mot måttligt alkaliska lösningar genomförs i Studsvik mätningar av utlakningen vid 70°C av ett inaktivt borsilikatglas vid pH 10,5 resp 8,5. Detta glas har en kemisk sammansättning, som överensstämmer med den som skall användas för slutlig förvaring, dvs med ca 9% klyvningsprodukter. Hittills erhållna resultat visar en fördubbling av utlakningsraten vid pH 10,5 i jämförelse med pH 8,5. Utlakningsraten vid pH 8,5 är jämförbar med den för aktivt franskt glas.

I förutsättningarna för val av lämpliga platser för slutlig förvaring av högaktivt avfall i Sverige ingår att lagringsplatserna skall ha ett mycket lågt grundvattenflöde (storleksordningen några deciliter per m² och år). Detta innebär att en liten mängd vatten kommer att stå i kontakt med en stor glasyta. Då mekanismen för reaktion mellan glas och vatten medför att alkali frigöres skulle man vänta sig att pH stiger.

Mätningar i Studsvik på ett borsilikatglas innehållande inaktiva simulerade fissionsprodukter visar dock att pH stadigvarande understiger 9,5 vid 70°C. Lakmedlets ursprungliga pH var därvid

8,5. Vid ett annat försök, där grundvatten under ca 9 mån stått i kontakt med glaspulver innehållande simulerade fissionsprodukter vid rumstemperatur uppmättes pH ca 8. Vid detta försök var förhållandet mellan glasyta och laktionsvolym ganska lika det som gäller för glaskropparna vid lågt vattenflöde. En förklaring till att man inte får en större pH-ökning är att glaset innehåller boroxyd, som vid utlösning neutraliserar utlöst alkali och stabiliserar pH via ett buffertsystem av borater.

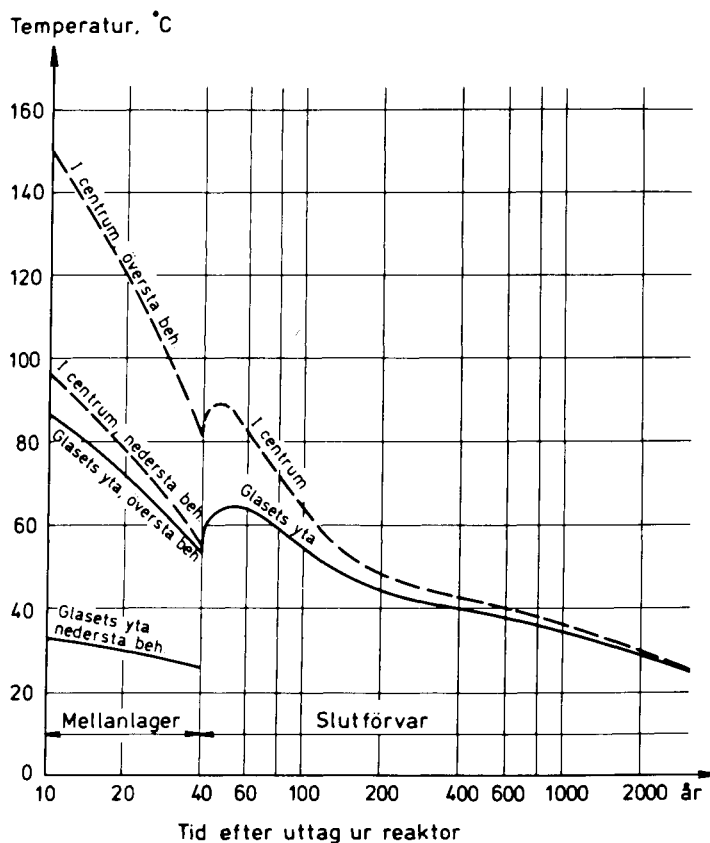
Även den stora mängden fyllnadsmaterial som omger avfallet har motsvarande stabiliserande effekt på pH-värdet till 8 à 9.

4.3.4 Inverkan av temperaturen

All erfarenhet från laktionsförsök med glas vid olika sammansättning visar, att laktionsraterna och därmed angreppet på glaset ökar starkt med temperaturen. Denna är en viktig parameter, eftersom avfallet kommer att uppvärma den omgivande berggrunden. Man har i Marcoule genomfört mätningar av ökningen av laktionshastigheterna för cesium och strontium och funnit att den vid 50°C är ca 4 gånger större, vid 70°C ca 10 gånger större /4-11/ och vid 100°C ca 35 gånger större än vid 25°C. Interpolation ger 3 gånger större laktionshastighet vid 40°C än vid rumstemperatur.

I Studsvik utförs försök vid rumstemperatur och vid 60°C.

Temperaturförhållandena i slutförvaret framgår av fig 4-2. Utlak-



Figur 4-2. Det förglasade avfallets temperatur i mellanlager och slutförvar.

ningen kan givetvis inte påbörjas förrän kapseln och kromnickelbehållaren har penetrerats.

4.3.5 Lakningsförsök med franskt glas i Studsvik

Experiment påbörjades juli 1977 med lakning av franskt glas med högaktiva fissionsprodukter. Syftet med dessa försök är förutom att vinna erfarenhet vid provning av aktivt glas att undersöka effekterna av de förhållanden, som kan förväntas råda vid förvaring i svenskt urberg. De variabler, som här är av störst intresse, är temperatur, pH och grundvattensammansättning. De aktiva glas med avfall från lättvattenbränsle som nu lakas, innehåller 20% fissionsprodukttoxider i jämförelse med de ca 9%, som planeras för slutlig förvaring av svenskt upparbetat avfall.

Det aktiva glaset lakas i en apparatur, som motsvarar den som används i Frankrike. /4-8/ I ett första skede tillämpades dynamisk lakning och i ett senare skede (vid högre temperatur) tillämpades statisk lakning.

Lakmedlets sammansättning var följande (pH 8,5)

HCO_3^- - 300 mg/l	F^- - 1,5 mg/l	K^+ - 2 mg/l
Cl^- - 27 mg/l	Na^+ - 125 mg/l	Mg^{2+} - 3 mg/l
SO_4^{2-} - 9 mg/l	Ca^{2+} - 6 mg/l	SiO_2 - 8 mg/l

Av de glas, som lakats, var två av den typ, som är mest aktuella för solidifiering av lättvattenreaktoravfall, dock med i detta fall ca 20% fissionsprodukter. Aktiviteten var ca 1 000 Ci, vilket innebär, att huvuddelen av fissionsproduktinnehållet bestod av simulerade fissionsprodukter. En annan cylinder bestod av lättvattenreaktorglas försett med simulerade fissionsprodukter och drygt 3% plutoniumdioxid.

Laklösningarna från de glas, som innehåller aktiva fissionsprodukter, mäts med avseende på strontium-90, cesium-137. Laklösningarna från det plutoniumhaltiga glaset mäts med avseende på plutonium och i några fall americium. Det bör i detta sammanhang påpekas, att normalt glas med fissionsprodukter endast innehåller ca 0,02% plutonium. Hundrafaldiga halten var nödvändig för att plutonium skulle kunna analyseras i laklösningen.

De franska glasen ger som nämnts lakningsrater på $2 \cdot 10^{-7}$ g per cm^2 och dygn efter ca 100 dygn vid rumstemperatur. Värdet för plutonium-glasen är ungefär detsamma.

Hittills erhållna resultat i Studsvik för strontium och cesium visar utlakningsrater vid 25°C av $6 \cdot 10^{-7}$ resp $2 \cdot 10^{-6}$ g per cm^2 och dygn efter 40 dygn.

Utlakningsraterna för strontium och cesium sjönk under försöksperioden som varade i 40 dygn. Om försöket fortsatts till 100 dygn bedöms att utlakningsraterna närmast sig samma värde som erhållits i Marcoule, nämligen $2 \cdot 10^{-7}$ g per cm^2 och dygn. För att även kunna mäta utlakningsrater vid högre temperatur höjdes denna efter 40 dygn till 60°C . De första värdena vid 60°C visar att utlakningshastigheten ökat med en faktor 10 /4-12/.

Utlakningsraten för plutonium vid 25°C har i Studsvik uppmätts till ca $3 \cdot 10^{-7}$ g per cm^2 och dygn efter 30 dygn. De första värdena från 60°C visar att ändringen av utlakningsraten med temperaturen är mindre än för strontium och cesium. /4-12/

När försöken i Studsvik bedöms är det viktigt att notera att de genomförts med ca 20% klyvningsprodukter i glas som innehåller 42,9 resp 46,0% SiO_2 . SKBF har dock i uppdragskontraktet med COGEMA valt ett glas med endast ca 9% klyvningsprodukter i glaset, vilket innebär att SiO_2 -halten kommer att ökas till över 50%. Därvid erhålles ett glas med lägre lagningshastighet för klyvningsprodukter och aktinider /4-18/.

4.4 AVFALLSGLASETS BESTÄNDIGHET

4.4.1 Allmänt om glas - ett amorft material

Glas besitter en viss flytformåga. Denna egenskap är värdefull för att klara de påfrestningar som uppstår under lång tids förvaring. Vissa iakttagelser bekräftar detta:

- a) Energiackumulering pga joniserande strålning är liten och utlösningen sker ej momentant. Dislokationer kan accepteras av den "plastiska" glasstrukturen bättre än av kristallina material.
- b) Heliumbildning i glas från alfastrålning under lång tid leder ej till försprödning. Den oordnade glasstrukturen innehåller hålrum som kan ta upp stora mängder av gaser i löst tillstånd. Diffusionen av dessa gaser kan ske lättare genom glasig struktur.
- c) Elektronbestrålning under längre tid ger inga påvisbara effekter, men samma energidos under kort tid leder ibland till bildning av små blåsor. Glasstrukturen har en viss "självläkande" förmåga.

Glas tycks ha en god förmåga att lösa upp den mycket varierande sammansättningen av radionuklider som förekommer i avfallet. Det förekommer totalt ca 40 olika grundämnen i avfallet och under tidens gång omvandlas många av dessa till nya grundämnen genom radioaktivt sönderfall, vilket bl a innebär ny atomstorlek och nya kemiska egenskaper. En oordnad struktur har lättare att ta upp dessa förändringar än en ordnad kristallstruktur. /4-18/

4.4.2 Franskt borsilikatglas beständighet mot strålning

Strålskador kan tänkas uppkomma genom gamma-, beta-, alfa- och neutronstrålning. Alfastrålningen som består av de tyngsta partiklarna och snabbt bromsas upp i glaset bedöms vara den största risken för strålningskador.

Gammastrålning kan endast tänkas skada glasstrukturen indirekt genom viss bildning av sekundära elektroner. Eventuella skador av gammastrålning täcks därför av försök med betastrålning /4-33/.

Betastrålning

För att studera effekten av den interna betastrålningen i högaktivt glas har prover bestrålats i franska laboratorier i Saclay. /4-11, 4-13, 4-14/

Betadosen för avfallsglas med 9% klyvningsprodukter olika tider efter förglasningen framgår nedan (förglasning 10 år efter uttag av använt bränsle från reaktorn).

År efter förglasning	Rad
1	$5.8 \cdot 10^9$
10	$5.2 \cdot 10^{10}$
30	$1.2 \cdot 10^{11}$
100	$2.2 \cdot 10^{11}$
300	$2.4 \cdot 10^{11}$
500	$2.4 \cdot 10^{11}$

Det ytterligare tillskottet av betastrålning efter 500 år är mycket litet.

Vid de franska proven har betastrålningen varat 12 dagar med en total dos av $1.2 \cdot 10^{11}$ rad. Sådana accelererade bestrålningsprov bedöms belasta glasprovet hårdare än försök vid normal dosrat, eftersom glasstrukturen då har längre tid på sig att anpassa sig till eventuella strukturförändringar.

När de bestrålade glasproven jämfördes med icke bestrålade prov framkom:

- att ingen ackumulering av energi (Wignereffekt) kunde påvisas;
- att utlakningshastigheten för cesium-137 och strontium-90 ej hade ändrats genom betastrålningen;
- att strukturundersökning med röntgendiffraktion inte visade någon kristallisation på grund av betastrålning. Undersökningar med infrarödsspektrometri och svepelektronmikroskop visade ej heller några strukturändringar.

Engelska försök /4-33/ med betastrålning i högvoltelektronmikroskop visade att borsilikatglas ej påverkades av en betastråldos som var 100 gånger högre än glasets förväntade totaldos. Försöken utfördes vid rumstemperatur.

Alfastrålning

Den största risken för strålningsskador kan väntas från alfastrålning /4-11, 4-13/. För att undersöka effekterna har glasprov framställts innehållande alfastrålare som ger en dos motsvarande 1 000 års förvaring under en tid av 1-2 år. Aktinidhalterna är då ca 100 gånger högre än i normalt avfallsglas. Möjliga effekter är bildning av helium, ackumulering av energi, strukturförändringar, inverkan på lakningsvärden och inverkan på mekaniska egenskaper.

Tyska försök /4-34/ med tillsats av curium-isotoper visar att ingen signifikant förändring av produkttegenskaperna hos borsilikatglas är att vänta ens efter 10 000 års lagring.

Tabell 4-1 visar den belastning alfa-strålningen ger vid avfallsglas med 9% klyvningsprodukter där det använda bränslet upparbetats 10 år efter uttag ur reaktorn. Denna sena upparbetning ger hög halt americium-241 i glaset. Om upparbetning istället sker 3 år efter uttag ur reaktorn och förglasning av högaktiv vätska 10 år efter uttag, kan samtliga siffror i tabellen divideras med ca en faktor 2,5.

Tabell 4-1. α -strålning för avfallsglas med 9% klyvningsprodukter. 0,5% av Pu till avfallet. 10 år från uttag ur reaktorn till upparbetning.

Tid efter uttag ur reaktorn	Antal α -partiklar per cylinder	Antal α -partiklar per g glas	Antal rad	Utvecklad energi kWh/l	Utvecklade He mm ³ /g glas	mol/cylinder
30	$6,9 \cdot 10^{22}$	$1,76 \cdot 10^{17}$	$1,4 \cdot 10^{10}$	103	6,5	0,119
100	$2,1 \cdot 10^{23}$	$5,4 \cdot 10^{17}$	$4,4 \cdot 10^{10}$	317	20	0,343
300	$4,8 \cdot 10^{23}$	$1,23 \cdot 10^{18}$	$9,7 \cdot 10^{10}$	695	46	0,797
1 000	$9,6 \cdot 10^{23}$	$2,5 \cdot 10^{18}$	$2,0 \cdot 10^{11}$	1 417	92	1,60
3 000	$1,24 \cdot 10^{24}$	$3,2 \cdot 10^{18}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	1 806	120	2,06
10 000	$1,42 \cdot 10^{24}$	$3,6 \cdot 10^{18}$	$2,9 \cdot 10^{11}$	2 083	140	2,36
30 000	$1,68 \cdot 10^{24}$	$4,3 \cdot 10^{18}$	$3,4 \cdot 10^{11}$	2 444	160	2,79
100 000	$2,11 \cdot 10^{24}$	$5,4 \cdot 10^{18}$	$4,3 \cdot 10^{11}$	3 111	200	3,50
300 000	$2,77 \cdot 10^{24}$	$7,1 \cdot 10^{18}$	$5,6 \cdot 10^{11}$	4 056	260	4,60
1 000 000	$5,71 \cdot 10^{24}$	$1,46 \cdot 10^{19}$	$1,18 \cdot 10^{12}$	8 528	540	9,48
3 000 000	$1,17 \cdot 10^{25}$	$3,0 \cdot 10^{19}$	$2,4 \cdot 10^{12}$	17 220	1 100	19,4
10 000 000	$1,76 \cdot 10^{25}$	$4,5 \cdot 10^{19}$	$3,6 \cdot 10^{12}$	26 110	1 700	29,2

För att simulera dessa effekter har följande prov framställts:

	Aktinid vikt	Glasblockets vikt	Energi kWh per liter och år
Americium-241	50 g	2 000 g	70
30% plutonium-238	50 g	2 000 g	100
Curium-244	0,6 g	50 g	810

Den utvecklade energin leds praktiskt taget helt bort i form av värme. I glaset ackumuleras en mindre mängd energi, som uppmätts till ca 40 joule per gram glas efter 1 års förvaring med hög aktinidhalt. Vid uppvärmning frigörs denna energi successivt. Detta innebär att någon plötslig snabb energifrigörelse med snabbt ökande temperatur inte inträffar.

Heliumbildning

Försöken med americium och plutonium har hittills gått i 597 resp 527 dygn. Beräkningar visar att 5 resp 5,2 mm³ He har bildats per gram glas. Försöket med curium är ännu ej avslutat. Man beräknar att 50 mm³ He/g glas redan bildats i detta prov.

Glaset oordnade struktur kan lösa helium, men om mängden blir för stor finns risk för att små bubblor bildas och att glaset blir sprött.

Resultatet från provet med americium visar ingen förändring av glasets mekaniska egenskaper efter 597 dygn, medan provet med plutonium var svårt att mäta redan från början. Hög plutoniumhalt ger nämligen fassetparation i glas, ett problem som ej finns med normala plutoniumhalter i avfallsglas.

För att få jämförande data från gasers löslighet i glas har naturligt vulkaniskt glas som är 400 000 år gammalt analyserats. Det innehåller 200 mm³ gas/g glas (varav 70% H₂) och visade sig ej vara sprött. Den inneslutna gasen avges vid värmning till 1 050°C /4-11/.

Tabell 4-1 visar att heliumbildningen vid försök med glas med hög aktinidhalt motsvarar relativt korta förvaringstider för vårt avfallsglas. Curiumförsöket motsvarar en lagringstid av ca 300 år. Det naturliga glaset med 200 mm³ He/g motsvarar däremot en lagringstid av 100 000 år /4-32/.

Helium som bildas inuti glaset kan antingen stanna på plats varvid mängden helium per g glas ökar, eller diffundera genom glaset till det öppna utrymmet upptill i cylindern. Diffusionshastigheten för helium ökar med ökande temperatur i glaset. Engelska försök /4-33/ visar en signifikant heliumdiffusion vid 170°C. Även om allt bildat helium skulle transporteras dit blir dock gastrycket inuti cylindern även efter 10 miljoner år endast ca 30 atö vilket är lägre än vattentrycket på utsidan.

Neutronstrålning

Neutronstrålningen i glas kommer främst från (α -n) reaktionen. Den maximalt beräknade neutronstrålningen är 2 neutroner per miljon alfapartiklar. Omkring 60% av neutronerna har en energi över 1 MeV. Neutronstrålningens inverkan är liten i jämförelse med alfastrålningen /4-32/.

4.4.3 Mekaniska egenskaper

När glaset gjutits i kromnickelstålcyldern svetsas ett lock på som ger en hermetiskt slutet behållare. Vid nedkylning av cylindern kommer stålet att krympa mer än glaset, vilket innebär att glaset utsätts för tryckspänning /4-16/. Detta är glaset mycket beständigt mot. Vid snabb nedkylning kan sprickor uppstå i glaset som ger en ytförstoring. Nedkylning kan ske vid dekontaminering av cylindern eller nedsänkning i vattenbassäng. COGEMA har i Marcoule utfört försök med extremt snabb nedkylning av inaktiva cylindrar och därefter undersökt glascylindrarna. När glaset gjuts binds det till kromnickelstålytan och det är därför svårt att av-

göra vilka sprickor som uppstod vid nedkylning resp när plåten bändes loss. Enligt dessa försök bedöms ytförstoringen bli 2-10 gånger. Om avsevärd ytförstoring kan befaras ha inträffat kan glaset smältas om i sin stålbehållare genom uppvärmning till ca 1 000°C och avsvälning utan värmechock.

4.4.4 Termisk stabilitet - kristallisation

De flesta uppgifterna om franskt borsilikatglas avser avfall från gaskylda reaktorer. Försök med borsilikatglas från lättvattenreaktorer har dock också gjorts. Dess sammansättning är:

SiO ₂	50,60%
Na ₂ O	8,60%
B ₂ O ₃	14,00%
NiO	1,00%
Klyvningsprodukter	25,80%

Detta glas har en smälttemperatur av ca 1 000°C, lägsta kristallisationstemperatur 640°C och högsta kristallisationstemperatur 930°C. Maximal kristallisationshastighet är 0,01 µm/minut vid ca 800°C.

Under transformationspunkten (ca 550°C) finns ingen risk för kristallisation för borsilikatglas med ca 50% kiseldioxidhalt även under lång tids förvaring.

Eftersom man ej har erfarenhet av lagring av borsilikatglas i 1 000-tals år har det dock ansetts intressant att studera dels vilka faktorer som påverkar kristalltillväxthastigheten, dels vad som skulle hända om kristallisation ändå skulle ske på lång sikt.

Försöken i Marcoule /4-11/ visar att kristallisationstendensen ökar med ökande halt klyvningsprodukter och ökande halt molybden. För glas med 9% klyvningsprodukter och ca 20% boroxid är kristallisationstendensen låg.

För att studera kristallisationens inverkan på borsilikatglas har provblock värmts i Marcoule under 1 år vid 500°C resp 600°C samt under 100 timmar vid 800°C /4-11/. Efter värmebehandlingen är proven intakta och har ej spruckit. Det är känt att när glas kristalliserar vid 800°C blir kristallstorleken relativt stor. Vid en eventuell kristallisation av borsilikatglas på lång sikt vid lägre temperatur än 550°C skulle kristallstorleken bli mindre. Sprickrisken blir då ännu mindre än vid kristallisation vid 800°C.

Lakningsprov har utförts på glasblock som värmebehandlats och därvid kristalliserat.

Utlakningshastigheten för dessa prov jämfördes med utlakningshastigheten för ej värmebehandlat prov. Det visade sig då att värmebehandlingen ökar utlakningshastigheten något för vissa ämnen, t ex cesium, medan den minskar utlakningshastigheten för andra ämnen, t ex strontium. Samma tendens har erhållits vid inaktiva

svenska försök /4-17/. Skillnaderna i utlakningshastighet är små, i storleksordningen 50%. Den sannolika förklaringen är att glas vid kristallisation bildar en glaskeram där vissa ämnen binds fastare i kristallerna, medan andra ämnen koncentreras till gränssytor mellan kristallerna och därmed lakas ut lättare.

Slutsatsen blir att

- risken för kristallisation är liten under 550°C;
- om ändå kristallisation skulle ske på lång sikt så spricker ej glaset och ändringar av utlakningshastigheter är små.

Vid Glasforskningsinstitutet i Växjö /4-17/ har glaskroppar tillverkats av borsilikatglas av fransk typ med 9% inaktiva simulerade klyvningsprodukter. Sammansättningen framgår av tabell 4-2.

Tabell 4-2. Det undersökta glasets sammansättning är:

Ämne	Vikts %	Ämne	Vikts %	Ämne	Vikts %
SiO ₂	53,0	BaO	0,46	CdO	0,026
Na ₂ O	11,3	Y ₂ O ₃	0,15	SnO	0,014
B ₂ O ₃	19,4	ZrO ₂	1,28	Sb ₂ O ₃	0,0036
Al ₂ O ₃	2,1	MoO ₃	1,63	CeO ₂	0,75
UO ₂	3,9	MnO ₂	0,77	La ₂ O ₃	0,71
Fe ₂ O ₃	1,3	CoO	0,21	Nd ₂ O ₃	1,21
Cs ₂ O	0,88	NiO	0,37	Pr ₂ O ₃	0,35
SrO	0,26	Ag ₂ O	0,011		

För att studera ev fysikaliska ändringar vid kristallisation har vissa av glaskropparna värmebehandlats vid 800°C i 14 dygn varvid en viss kristallisation har uppstått. Resultaten visar att kristallisation inte har någon effekt av betydelse på hållfasthet, utvidningskoefficient, transformationspunkt, mjukningspunkt eller densitet. Proven spricker ej. Lagningsraten efter kristallisation har för cesium ökat med ca 50% medan lagningsraten för strontium har minskat.

4.4.5 Molybdatfas

Klyvningsprodukterna innehåller bl a inaktiv molybden som efter kalcinering finns som molybdenoxid /4-17/. Vid 9% fissionsprodukter i glas är molybdenhalten ca 1,6% MoO₃. När glaset smälts ihop med fissionsprodukterna kan det ibland inträffa att en fas som i huvudsak består av natriummolybdat separerar från glaset. Under de mest ogynnsamma omständigheter har Bonniaud i Marcoule funnit att 0,5% av glaset skulle bestå av en separat molybdatfas /4-31/. Dess separation sker antagligen inom ett bestämt temperaturintervall, enligt engelska uppgifter 600-800°C, medan den blir upplöst på nytt i glasform vid högre temperaturer. Molybdatfasen

består av inaktiva huvudkomponenter men kan i sig uppta vissa mängder aktivt strontium och cesium. Det kan tänkas att den även löser små mängder aktinider. Molybdatfasen är löslig i vatten varvid även innehållet av strontium och cesium kommer ut i vattenet.

I utvecklingsarbetet på högaktivt glas har man hittills visat följande metoder för att motverka bildning av molybdatfas:

- Lägre halt klyvningsprodukter i glas (låg MoO_3 -halt).
- Höjd boroxidhalt minskar molybdatfasen enligt franska försök.
- Undvika förorening av sulfat - minskar molybdatfas enligt engelska försök /4-19/.

I Marcoule bedöms att högst 1% av glascylindrarna kommer att innehålla molybdatfas.

4.4.6 Viktiga parametrar för franskt borsilikatglas

Följande parametrar karakteriserar franskt borsilikatglas som erhålles vid förglasning av högaktivt avfall /4-15/:

- Utlakningshastighet vid 25°C - $2 \cdot 10^{-7}$ gram per cm^2 och dygn.
- Faktor för ökning av utlakningshastighet vid 70°C - 10 gånger.
- Ökning av ytans storlek vid hantering och transport - 2-10 gånger.
- Transformationspunkt (=temperatur under vilken kristallisation ej sker) - 550°C .
- Ökning av utlakningshastighet om kristallisation sker - 50%.
- Täthet - 2,8 g per cm^3 .
- Värmeledningsförmåga - 1,2 W per meter och grad Celsius.

Den kemiska sammansättningen i franskt avfallsglas från lättvattenreaktorer är:

	Vikts %	
SiO_2	54,9	
Na_2O	11,7	
B_2O_3	20,0	
Al_2O_3	2,2	
$\text{NiO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,1	(från konstruktionsdetaljer hos bränsleknippen)
Aktinidoxider	1,1	
Klyvningsprodukter	9,0	

En typisk sammansättning av aktinidoxiderna är:

	Vikts %
UO ₂	0,8
NpO ₂	0,19
PuO ₂	0,0074 x)
Am ₂ O ₃	0,14
Cm ₂ O ₃	0,003

x) COGEMA beräknar att 0,15% av plutonium i använt bränsle återfinns i avfallsglasets i La Hague vilket motsvarar en halt av 0,0074% PuO₂. I säkerhetsanalysen har emellertid använts en PuO₂-halt i glaset som motsvarar 0,5% av innehållet i använt bränsle.

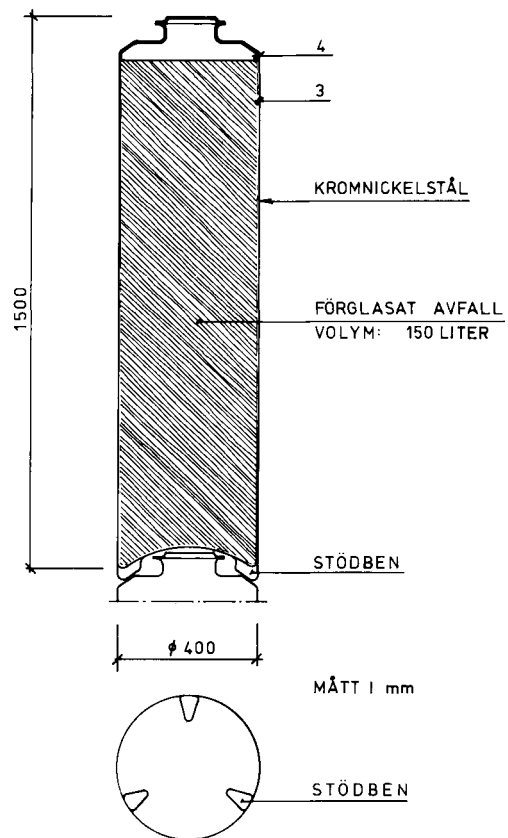
En typisk sammansättning av de viktigaste klyvningsprodukterna är:

	Vikts %		Vikts %
MoO ₃	1,63	Pr ₂ O ₃	0,40
Nd ₂ O ₃	1,21	PdO	0,40
ZrO ₂	1,15	Rb ₂ O	0,27
CeO ₂	0,66	Tc ₂ O ₃	0,27
RuO ₂	0,61	Sm ₂ O ₃ +Eu ₂ O ₃	0,27
BaO	0,55	Y ₂ O ₃	0,18
Cs ₂ O	0,54	Rh ₂ O ₃	0,18
Gd ₂ O ₃	0,54	SrO	0,14

Klyvningsprodukternas fördelning varierar med det använda bränslets utbränning och tiden efter uttag av använt bränsle.

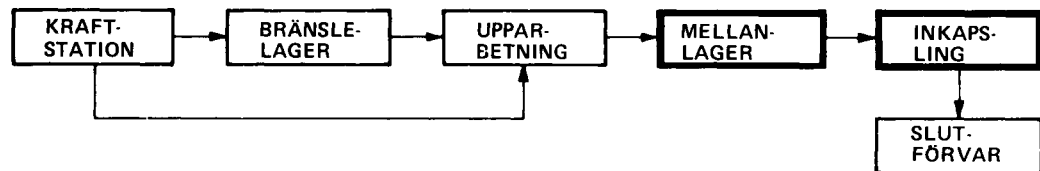
Den stålcyllinder avfallsglasets gjuts in i är tillverkad av ett värmebeständigt rostfritt stål (typ Z 15 CN 24-12: krom 24%, nickel 12-13%, kol 0,15%). Utseendet framgår av fig 4-3. Dimensioner och vikt framgår nedan:

Diameter	400 mm
Total höjd	1 500 mm
Tjocklek, rostfritt	3 mm cylinderyta 4 mm ändytor
Glasvolym	150 liter
Glasvikt	420 kg
Totalvikt ca	470 kg



Figur 4-3. Avfallscylinder. Det förglasade avfallet gjuts in i en behållare av kromnickelstål. Den tillsluts med ett påsvetsat lock. Stödbenen gör det möjligt att stapla avfallscylindrarna på varandra.

5 MELLANLAGRING OCH INKAPSLING



5.1 ALLMÄNT

I anslutning till slutförvaret anlägges ett mellanlager och en inkapslingsstation för de avfallscylinrar som anländer från upparbetningsanläggningen. (Möjligheter till alternativ lokalisering belyses under I:11).

I mellanlagret kommer avfallscylinrarna att förvaras under 30 år (det är emellertid möjligt att förlänga denna förvaringstid). Syftet med mellanlagringen är:

- att minska värmeavgivningen från avfallet i slutförvaret. Under en 30-årsperiod minskar värmeflödet från ca 1200 W till ca 525 W per avfallscylinrer /5-1/
- att senarelägga tidpunkten för inkapslingen och för byggandet av slutförvaret. Härigenom blir det möjligt att vidareutveckla och optimera inkapslingsförfarandet och utformningen av slutförvaret under den tid som avfallet förvaras i mellanlagret.

Innan avfallscylinrar placeras i mellanlagret passeras de genom en mottagningsanläggning där de lastas ut ur den transportbehållare i vilken de anländer till anläggningen och där insidan av transportbehållaren kontrolleras och, om så erfordras, dekontamineras.

När, efter förvaringsperiodens slut, avfallscylinrarna skall överföras till slutförvaret, passerar de genom en inkapslingsstation, där de förses med en bly-titan-kapsel. Syftet med denna inkapsling är att ge långtidsbeständighet mot korrosion och strålskärmning. Strålskärmningen minskar radiolysen av grundvattnet i slutförvaret till en försumbart låg nivå och förenklar dessutom hanteringen.

Anläggningen har sålunda tre huvuddelar: mottagning, mellanlager och inkapsling. Den är i huvudsak belägen under jord för att ge skydd mot yttre påverkan (krigshandlingar och sabotage). Anläggningen kan lagra 6000 avfallscylinrar och ta emot och kapsla in 300 per år. Utformningen av anläggningen är baserad på känd teknologi. Mellanlagret liknar det lager för förglasat avfall som nu är i drift i Marcoule i Frankrike. Marcoule-anläggningen har konstruerats av det franska företaget Saint Gobain Techniques Nouvelles som också har anlitats av KBS för detta projekt /5-2/.

För en mera detaljerad redovisning av anläggningen hänvisas till de ritningar som finns bilagda i slutet av detta kapitel.

5.2 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

5.2.1 Layout

Anläggningens layout framgår av fig 5-1, som också visar hur den är belägen i förhållande till slutförvaret.

De delar som är belägna ovan mark består i huvudsak av en entrébyggnad med administrations- och serviceutrymmen, av konventionell utformning, som inte beskrivs vidare i denna rapport. Återstående delar är förlagda under jord med ungefär 30 meters bergtäckning.

Underjordsdelen av anläggningen är belägen i två bergrum utlagda i form av ett T med mottagning och inkapsling i en linje och med mellanlagringen vinkelrätt däremot. De båda bergrummen är skilda från varandra (kommunikation sker genom två mindre tunnlar) för att undvika de stora spännvidder som man eljest skulle få i korsningspunkten. Bergrummen har en maximal spännvidd av 20 meter och en höjd av 30 meter, som inte är exceptionellt i förhållande till befintliga anläggningar i berg i Sverige och i andra länder. Bergrummets stabilitet säkerställs med användning av konventionella byggnadsmetoder.

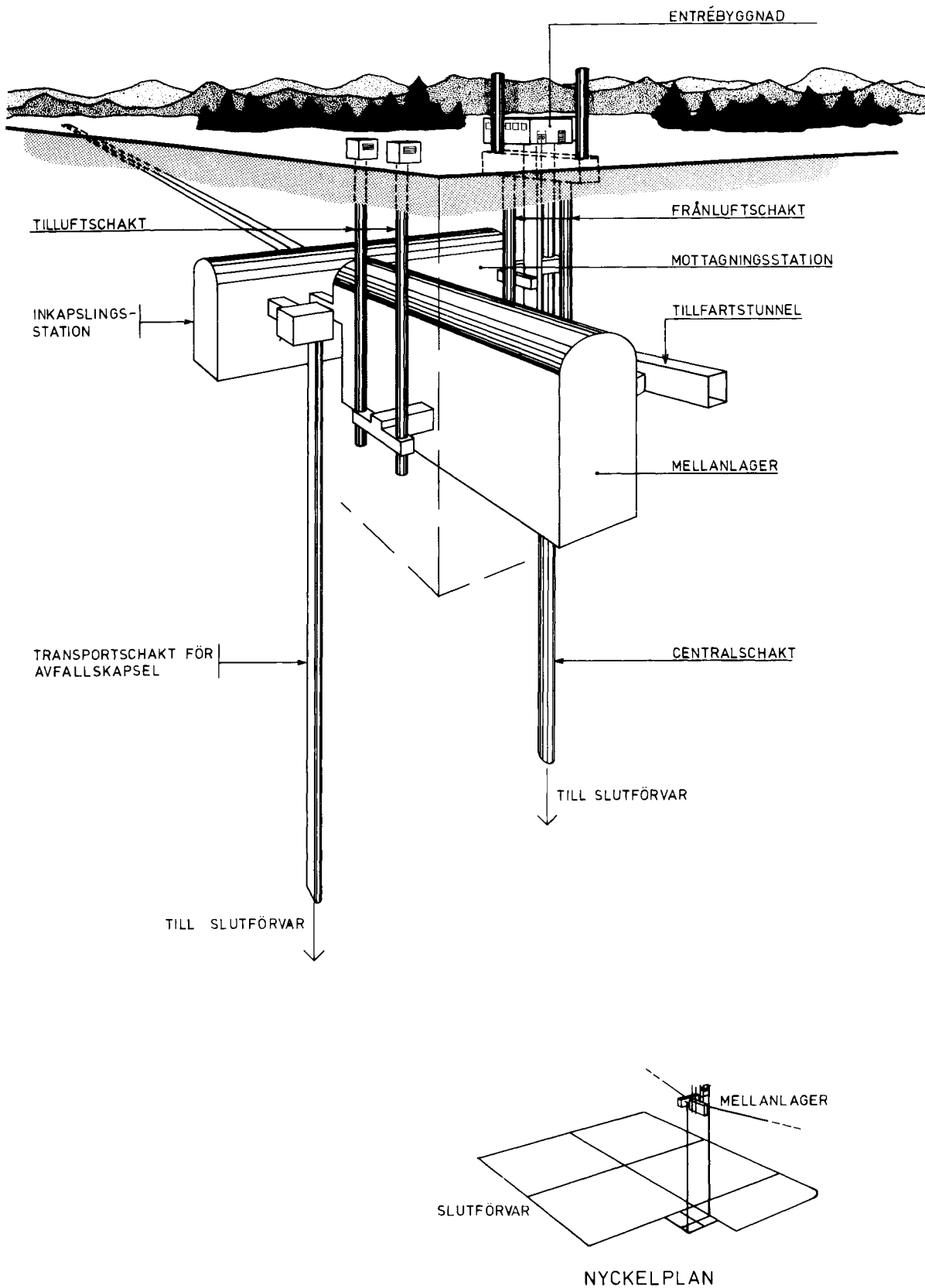
Tillträde till underjordsdelen av anläggningen sker via en tunnel genom vilken transportbehållaren med avfallscylindrarna anländer på sin trailer eller via ett vertikalt schakt för personal etc. Förbindelse med slutförvaret är ordnad genom en horisontell tunnel från anläggningens inkapslingsdel till ett vertikalt schakt, som leder ner till slutförvaret.

Beträffande tidplanen för utförandet av anläggningen hänvisas till I:14.

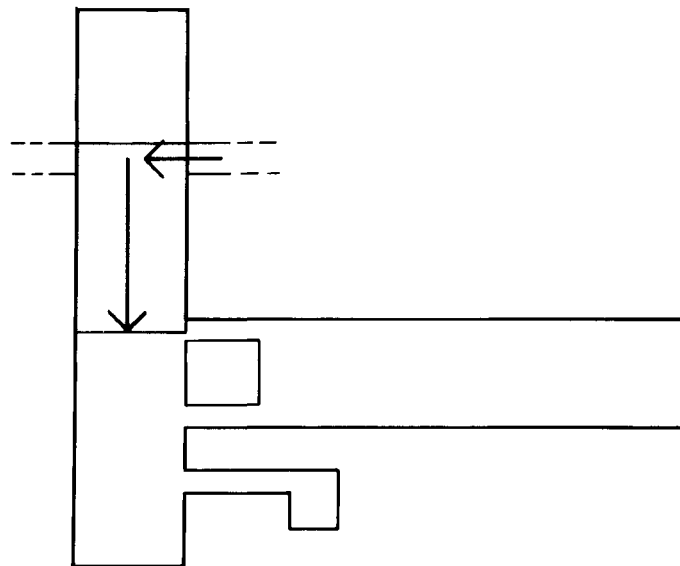
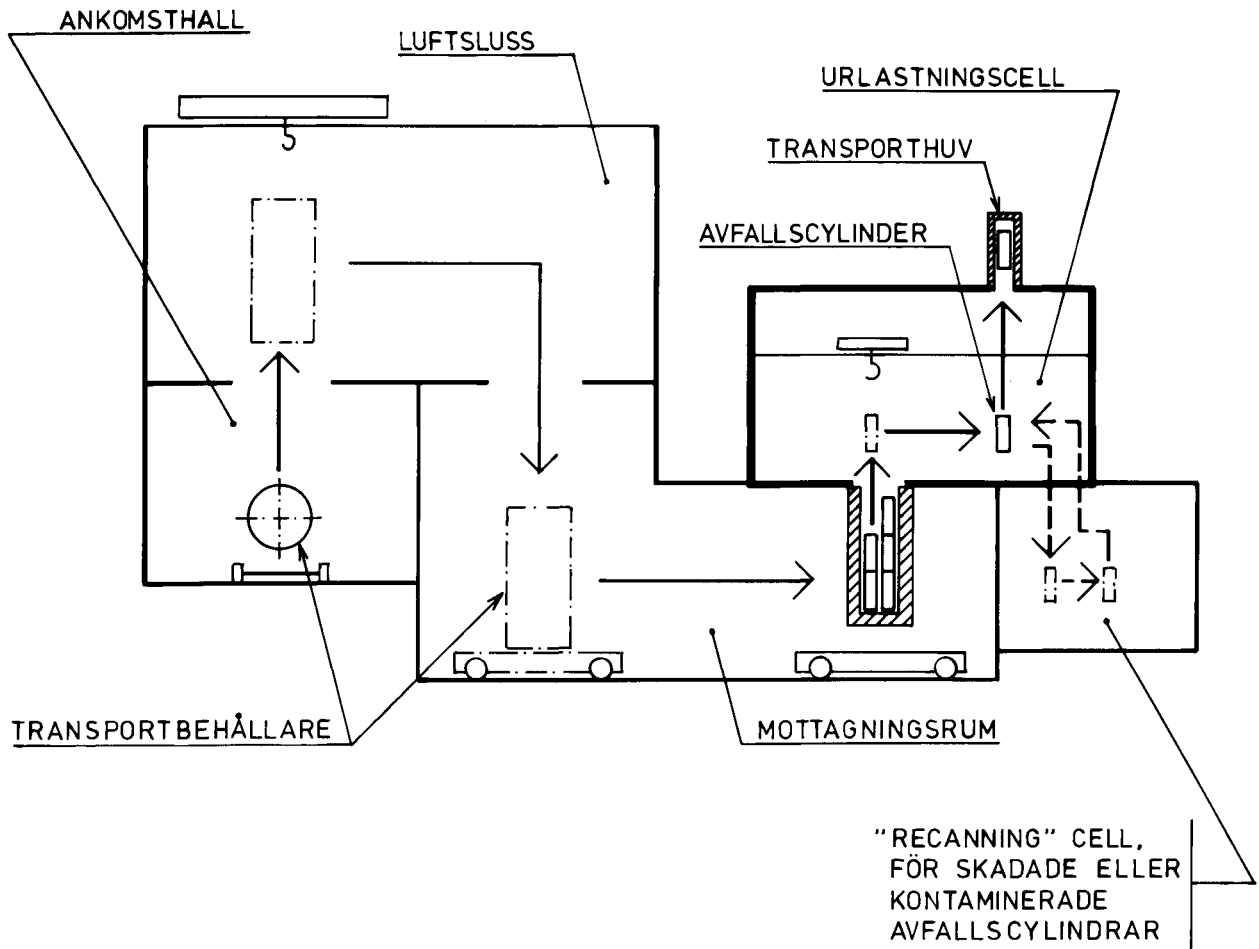
5.2.2 Mottagning

Avfallscylindrar från uppberedningsanläggningen kommer till anläggningen i en transportbehållare på en trailer, se kapitel 2. Cylindrarna har en diameter av 40 cm, en höjd av 150 cm och en volym av 150 liter. En transportbehållare av typ NTL 12 rymmer 15 avfallscylindrar.

Efter utvändigt tvättning i ankomsthallen lyfts transportbehållaren från trailern genom en luftsluss till mottagningsrummet (se fig 5-2) där den placeras på en vagn i vertikalt läge. Med aktivitetsmätning av luft som blåses genom behållaren kontrolleras om den är kontaminerad invändigt. Bultarna som håller behållarens lock lossas, varefter den överföres till ett läge under urlastningscellen och anslutes till en öppning i cellens golv. När alla glasbehållare har lyfts ut ur transportbehållaren in i urlastningscellen tvättas behållaren ren med vatten om kontrollen visade att insidan var kontaminerad. Transportbehållaren kan därefter återgå till uppberedningsanläggningen.



Figur 5-1. Perspektivskiss av anläggning för mellanlagring och inkapsling. Den är belägen under jord med ca 30 meters bergtäckning. Anläggningen är placerad ovanför slutförvaret.



NYCKELPLAN

Figur 5-2. Schema över mottagning. I denna del tar man emot transportbehållarna och lastar ut avfallscylindrarna. Skadade eller kontaminerade cylindrar förses med en ytterbehållare av kromnickelstål.

Urlastningen av transportbehållaren sker från urlastningscellen. Denna cell är innesluten i betong med tillräcklig tjocklek för att ge strålskärning för driftspersonalen. Cellen har fyra hanteringstationer, var och en utrustad med ett strålskärmat fönster och ett par s k master-slave telemanipulatorer, som gör det möjligt att utföra arbetsmoment inne i cellen från utsidan.

Förflyttningar inne i cellen utföres med en fjärrstyrd travers med 8 tons lyftkapacitet. När den inte används eller när den behöver underhåll överföres traversen till en reparationscell genom en öppning som kan stängas med en strålskärmad port.

Avfallscyldrarna föres in i urlastningscellen genom en öppning i golvet som är ansluten till transportbehållaren i mottagningsrummet. Öppningen stängs med en strålskärmad skjutlucka när den ej användes.

När transportbehållaren har anslutits lyftes dess lock bort med cellens travers och placeras i en förseglad låda för att undvika utspridning av lockets eventuella kontaminering.

Avfallscyldrarna lyftes ut ur transportbehållaren och placeras i ett temporärt förråd i cellen med traversen som är utrustad med ett speciellt gripverktyg.

När en avfallscylder skall överföras till mellanlagret placeras den med traversen i läge under en öppning i cellens tak. Denna öppning är försluten med en strålskärmad skjutlucka när den inte används.

Om kontrollen av transportbehållarens insida har visat att den är kontaminerad förutsättes alla avfallscyldrar från en sådan behållare vara kontaminerade och överföres till "recanning"-cellen. I denna cell förses dessa avfallscyldrar med en ytterbehållare, liknande den som de försetts med i uppberedningsanläggningen, för att undvika kontaminering av mellanlagret.

"Recanning"-cellen har två hanteringsstationer utrustade med ett strålskärmat fönster och ett par master-slave telemanipulatorer. Den står i förbindelse med urlastningscellen genom två öppningar i taket, en för att föra ned avfallscyldrarna i cellen, en för att lyfta ut dem. Öppningarna kan tillslutas med betongpluggar.

En strålskärmad anordning gör det möjligt att föra in tomma ytterbehållare och deras lock i cellen från underhållscellen. De placeras på en karusell, som för dem i ett läge så att de kan taga emot en avfallscylder som sänkes ned från urlastningscellen genom öppningen i taket. I nästa position lägges locket på den fyllda ytterbehållaren och svetsas fast. Därefter flyttas den i läge under den andra öppningen och lyftes upp i urlastningscellen med dess travers.

I urlastningscellen dekontamineras ytterbehållarnas utsida genom tvättning med vatten under högt tryck. De flyttas sedan med traversen i läge under öppningen i cellens tak för överföring till mellanlagret.

5.2.3 Mellanlagring

Avfallscyldrarna överförs till mellanlagret omgivna av en strålskärmande transporthuv.

Transporthuven är försedd med en blymantel som har en tjocklek av 25 cm och som är inklädd invändigt med rostfritt stål och utvändigt med ett 20 cm tjockt lager av polyetylen. Härigenom erhålles ett fullgott strålningsskydd för driftspersonalen. Huven har ett eget ventilationssystem med en fläkt och med filter vid luftintag och luftutsläpp. När en avfallscylder är inne i huven användes ventilationssystemet dels för kylning (när så erfordras) dels för att kontrollera om avfallscylinderns utsida är kontaminerad, genom aktivitetmätning på filtret vid luftutsläppet.

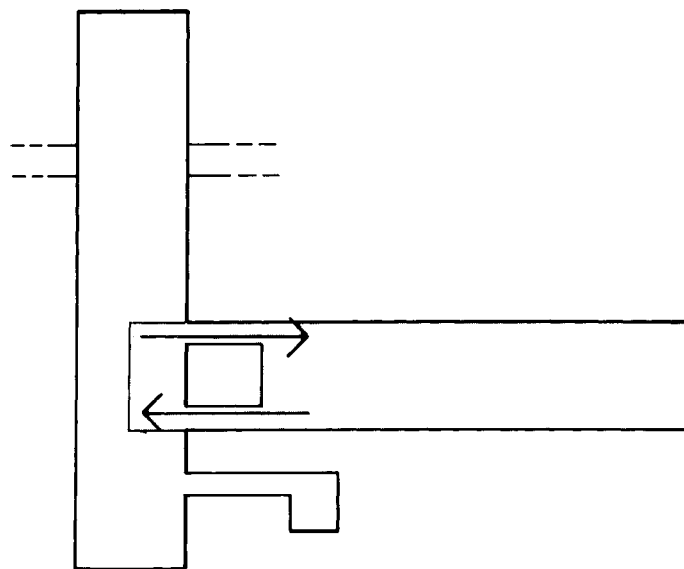
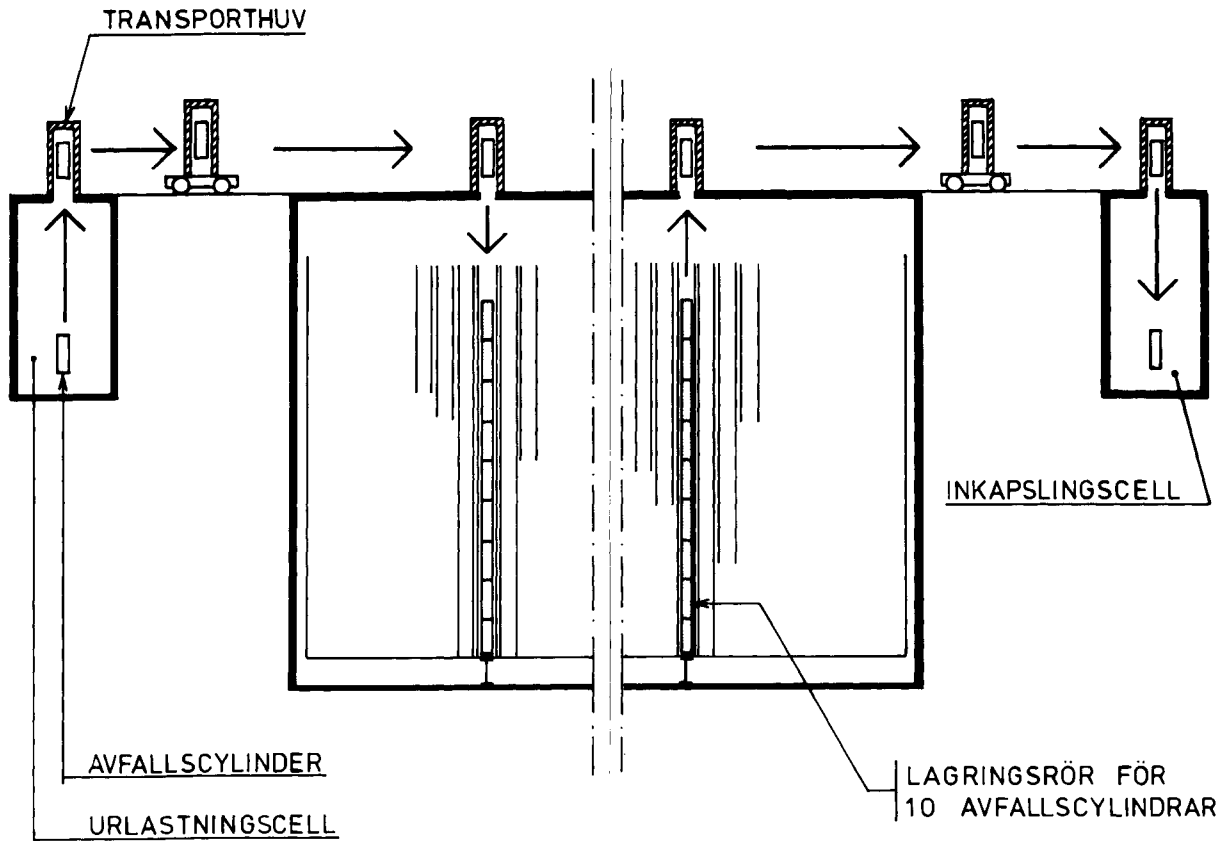
Transporthuven placeras över öppningen i urlastningscellens tak, som är täckt av en strålskärmad skjutlucka. I botten på transporthuven finns en liknande lucka och båda luckorna öppnas samtidigt. Avfallscyldern, som är placerad under öppningen i urlastningscellen, lyfts sedan in i transporthuven med den hissordning som huven är utrustad med. När avfallscyldern är inne i huven stängs båda skjutluckorna och huven överförs till mellanlagerhallen med en rälsbunden portalkran till ett läge där den kan nås av mellanlagerhallens travers.

I mellanlagret förvaras avfallscyldrarna i stålrör som sitter i en stålram i ett betongfack, se fig 5-3. Varje fack har 150 stålrör med ett centrumavstånd av något mindre än en meter och med utrymme för tio avfallscyldrar ovanpå varandra. Varje fack rymmer sålunda 1 500 avfallscyldrar. Lagret har fyra fack i två grupper med rum för dess ventilationsutrustning mellan grupperna. Varje grupp har sitt eget ventilationssystem. Den totala lagringskapaciteten är således 6 000 avfallscyldrar.

Lagerfacken täcks av en betongplatta med en sådan tjocklek att den ger strålskärmning för mellanlagerhallen ovanför. Dessutom hålles lufttrycket i hallen på en högre nivå än i facken, så att luft från facken inte kan tränga in i hallen. Över varje lagringsrör är betongplattan försedd med ett hål som tillslutes med en borttagbar betongplugg.

Avfallscyldrarna kyles genom att lagrets ventilationssystem cirkulerar luft genom lagringsrören. Ventilationssystemen kommunicerar med atmosfären genom ventilationsschakt och skorstenar ovan mark, se vidare under 5.2.5.

När en avfallscylder skall deponeras i ett lagringsrör placeras en flyttbar, strålskärmad skjutlucka och en huv för att ta bort betongpluggen över röret. Efter det att pluggen lyfts in i huven, stängs skjutluckan och huven med pluggen lyfts bort. Transporthuven, med avfallscyldern inuti, ställs sedan ovanpå skjutluckan, som öppnas samtidigt med transporthuvens lucka. Avfallscyldern sänkes sedan ned i lagringsröret med huvens hissordning. Därefter stängs luckorna, transporthuven lyfts bort och pluggen återställs med omvänd procedur mot när den avlägsnades. All hantering utföres med hjälp av mellanlagerhallens travers, som har en lyftkapacitet av 35 ton.



NYCKELPLAN

Figur 5-3. Schema över mellanlagring. När avfallscylindrarna överförs från mottagningen till mellanlagret förses de med en transporthuv. Efter minst 30 års lagring överförs cylindrarna till inkapslingscellen.

5.2.4 Inkapsling

När avfallscylindrarna skall överföras till slutförvaret efter 30 år (eller mer) i mellanlagret flyttas de till inkapslingscellen med omvänd procedur mot när de överfördes från urlastningscellen till mellanlagret.

Liksom övriga celler är inkapslingscellen innesluten i betong med tillräcklig tjocklek för att ge strålskärmning för driftspersonalen.

Cellen har fem hanteringsstationer, var och en utrustad med ett strålskärmad fönster och ett par master-slave telemanipulatorer, se fig 5-4.

Inne i cellen utföres förflyttningar med en fjärrmanövrerad travers med 8 ton lyftkapacitet. När den inte användes eller när den behöver underhåll överföres traversen till reparationscellen genom en öppning som kan stängas med en strålskärmad port.

Avfallscylindern föres in i cellen från transporthuven genom en öppning i cellens tak (som är stängd med en strålskärmad skjutlucka när den inte används) och placeras på en vagn som betjänar de fem hanteringsstationerna.

Vid den första stationen placeras en förtillverkad del av en blytitan kapsel över avfallscylindern. Denna del av kapseln (som tillverkas utanför anläggningen) föres in i cellen genom en öppning i taket. Öppningen är tillsluten med en betongplugg, när den inte användes.

Vid den andra stationen vändes kapseln med avfallscylindern upp och ned och smält bly hälls in i kapseln, varvid utrymmet mellan den förtillverkade delen och avfallscylindern samt ovanför avfallscylindern fylles ut. Blyet föres in i cellen från en ugn belägen i ett rum ovanför cellen.

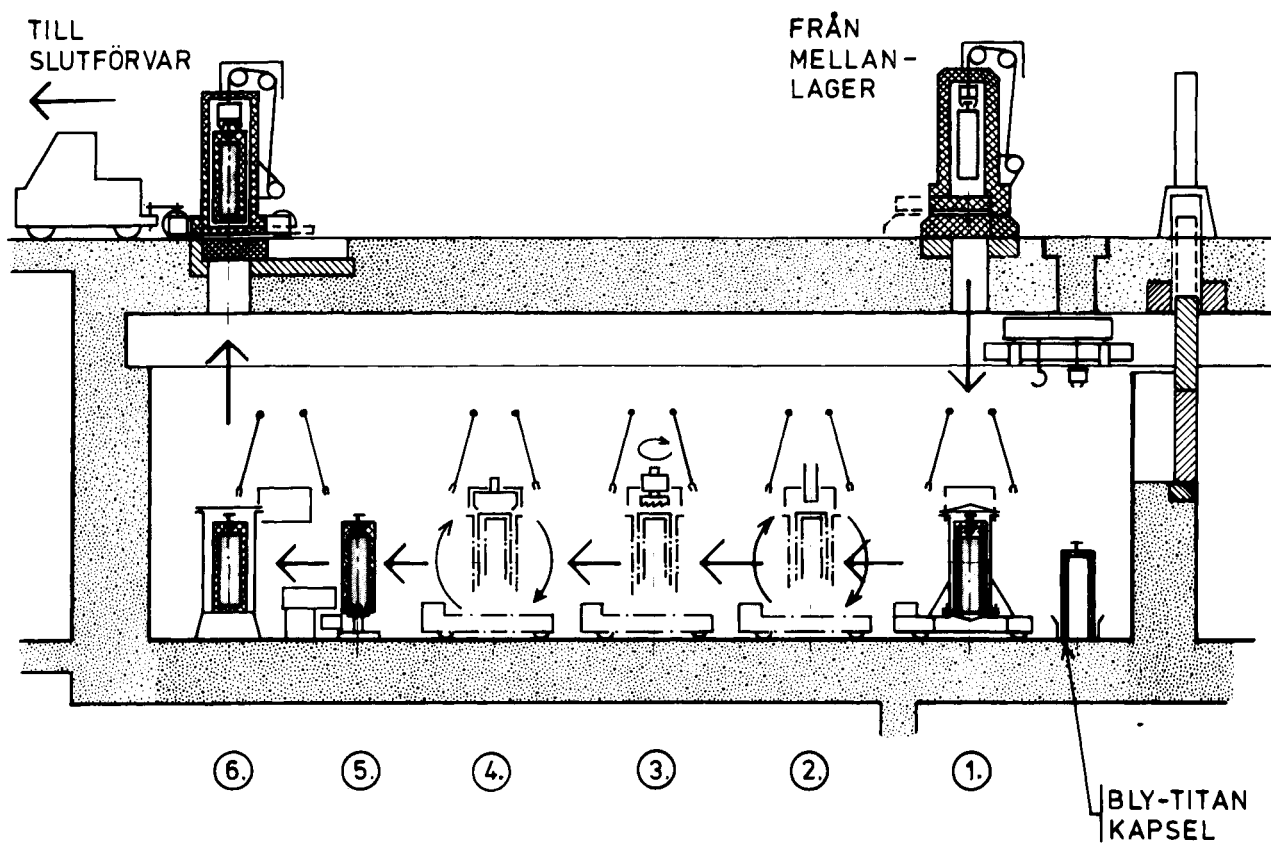
Vid den tredje stationen maskinbearbetas överytan av det bly som gjutits vid den föregående stationen (efter avsvälning) för att underlätta fastsättningen av ett titanlock.

Vid den fjärde stationen placeras ett titanlock på kapseln med en fjärrstyrd hanteringsutrustning och svetsas fast vid den prefabricerade delens titanmantel med en automatiserad svetsutrustning. Efter det att svetsningen avslutats vänds kapseln tillbaka i upprätt läge.

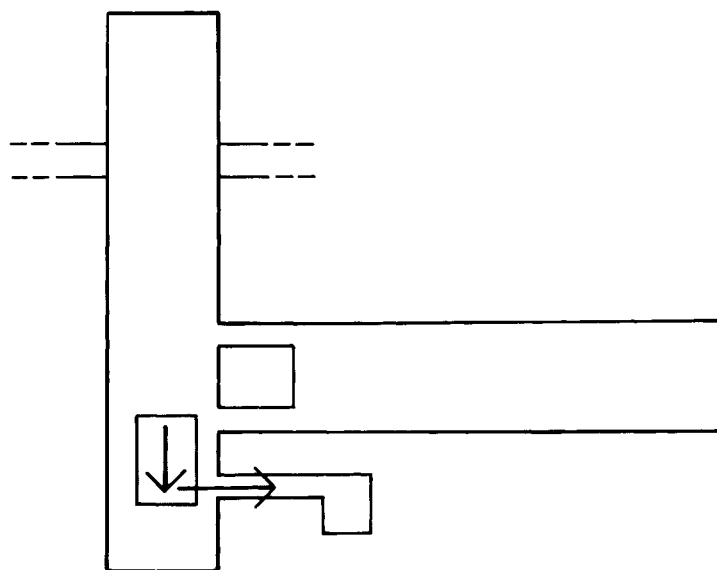
Vid den femte stationen roteras kapseln så att lockets svets passerar framför en sändare för röntgenstrålar, som påverkar en film i en anordning med vilken utbyte av film kan göras från cellens utsida. Därefter placeras kapseln i en box i vilken kapselns täthet kontrolleras med helium i vakuum.

Den färdigställda kapseln (se fig 5-5) placeras sedan i läge under en öppning i cellens tak och är redo att överföras till slutförvar.

Den förtillverkade delen av kapseln tillverkas med en blygjutningsteknik som användes för tillverkning av transportbehållare.

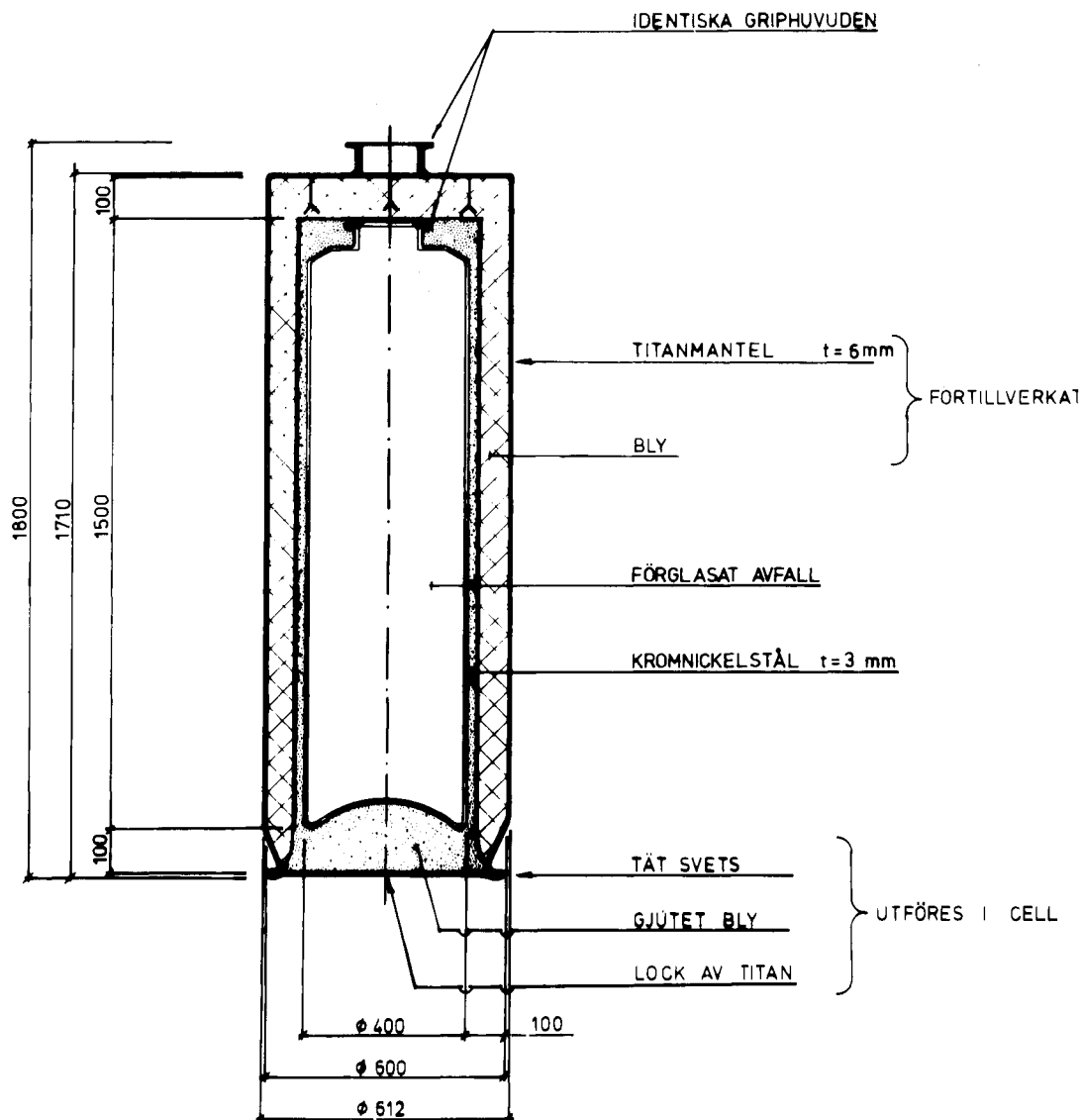


- 1 En förtillverkad bly-titankapsel placeras över avfallscylindern
- 2 Gjutning av bly i kapseln
- 3 Maskinbearbetning av den gjutna bly-ytan
- 4 Svetsning av titanlock på kapseln
- 5 Kontroll av locksvetsen
- 6 Täthetsprovning av kapseln



NYCKELPLAN

Figur 5-4. Schema över inkapsling.



Figur 5-5. Bly-titankapsel för avfallscylindrar med förglasat avfall. Totalvikten är ca 3,9 ton.

Alternativt kan pressgjutning, som tillämpas vid kabeltillverkning, användas /5-3/. Ett blylock fogas därvid medelst pressning till den förtillverkade delen i cellen varigenom en homogen blybehållare erhålles. Även vid detta utförande är den förtillverkade delen inklädd i titan och ett titanlock påsvetsas och kapseln kontrolleras i enlighet med vad som ovan beskrivits. Gjutning av bly i cellen ingår således inte i detta alternativ. Det slutgiltiga valet av tillverkningsmetod kommer att göras på grundval av en teknisk-ekonomisk utvärdering.

5.2.5 Hjälpssystem

I anläggningen kommer att ingå system för dekontaminering av transportbehållare och avfallscylindrar, för golv och grundvattendränering etc. Dessa system liknar de som finns i en kärnkraftstation. "Eget" låg- och medelaktivt avfall (vatten, filtermassor, fast avfall etc) kommer att uppsamlas och bortföras till

de anläggningar som kan ta emot och behandla sådant material.

Dieseldrivna elverk säkerställer elförsörjningen för system som är av väsentlig betydelse för anläggningens drift (ventilation, dränering etc), i fall av externt strömavbrott. Vid fel på pumparna för dräneringssystemet för grundvatten samlas vattnet i en bassäng som har en sådan volym att anläggningen ej kan över-svämmas, inte ens vid ett långvarigt driftavbrott.

För rumsventilationen i anläggningens underjordsdel kommer en kaskad av över- och undertryck att upprätthållas i enlighet med den potentiella risken för kontaminering i de olika utrymmena. Den ingående luften filtreras och konditioneras för att ge behagliga arbetsförhållanden.

Luft för urlastningscellen och inkapslingscellen tillföres med en skruvanordning utrustad med spjäll och backventil på ett sådant sätt att övertryck ej kan uppkomma i cellen.

Ventilationssystemet för mellanlagret är utformat så att undertryck upprätthålles i lagerfacken. Det har en kapacitet av $150.000 \text{ m}^3/\text{h}$ för varje grupp av två fack. Luften föres in genom en undertryckskammare ovan mark och passerar ett filterstråk innan den går in i lagerfacken.

All utgående ventilationsluft från anläggningens underjordsdel släpps ut i atmosfären. (En vidarebearbetning av anläggningens utformning kan emellertid komma att visa att sådana filter kan undvaras i en del av ventilationssystemen).

I lagerfacken cirkuleras luften med två fläktar med en tredje fläkt i reserv. Dessa tre fläktar står i ett rum intill lagerfacken. En fjärde fläkt, även den med samma kapacitet, men belägen ovan mark för bättre åtkomlighet i nödsituationer, ger ytterligare reservkapacitet.

Om endast en fläkt är i drift, kan 65% av det luftflöde, som två fläktar ger, upprätthållas. I fall av driftavbrott för alla fläktarna tillåter en förbiledning med ett automatiskt spjäll luften att cirkulera med naturlig konvektion, utan att passera filtersystemen.

Vid normal drift kommer den utgående luftens temperatur att vara 80°C , /5-2/, när den ingående luften är 20°C och när den sammanlagda värmeavgivningen från avfallscyldrarna är maximal (3 000 kW). Med endast en fläkt i drift ökar denna temperatur till 112°C efter 40 timmar. Om alla fläktarna är ur drift och lagret kyles enbart med naturlig luftkonvektion, blir den utgående luftens temperatur 336°C , likaledes efter 40 timmar. Yttemperaturen för den varmaste behållaren kommer att vara endast några grader högre än den utgående luftens och glasets centrumtemperatur endast några 10-tal grader högre än yttemperaturen. Eftersom glaset inte kristalliserar vid temperaturer under 550°C (se kap 4) kommer således avfallscyldrarna inte att skadas, även om samtliga fläktar är ur drift.

Anläggningen har utformats på ett sådant sätt att den heta luften ej skall förorsaka någon skada på byggnadskonstruktioner och installationer. Sålunda är lagerfackens och ventilations-

rummens insida klädd med stålplåt med ett luftmellanrum mellan plåten och betongen.

5.3 INKAPSLINGSMATERIALETS EGENSKAPER

5.3.1 Allmänt

I slutförvaret utsättes avfallskapslarna för påverkan av grundvattnet i berget. Inkapslingsmaterialet bör därför ha god beständighet mot sådan påverkan.

Avfallsglaset har en mycket låg utlakningshastighet i vatten (se kap 4) varigenom ett väsentligt skydd mot spridning av de radioaktiva ämnena erhålles. Lösligheten ökar dock med temperaturen och glasets bör därför inte komma i kontakt med grundvattnet under den tid dess temperatur är avsevärt förhöjd p g a avfallets värmeutveckling. Vidare är en ytterligare barriär mot spridning av radioaktiva ämnen till biosfären motiverad under den tid avfallets toxicitet är mycket hög, se fig 5-6.

Den behållare av kromnickelstål i vilken det förglasade avfallet inneslutes i upparbetningsanläggningen tillmättes emellertid inte någon nämnvärd livslängd i kloridhaltigt grundvatten /5-4/. En inkapsling med korrosionsbeständigt material är därför nödvändig för att förhindra att glasets kommer i kontakt med grundvattnet under en längre tid efter deponeringen.

För denna inkapsling förutses en kombination av bly och titan komma till användning. Blyet tjänstgör därvid även som stålskärm.

5.3.2 Titans korrosionsegenskaper

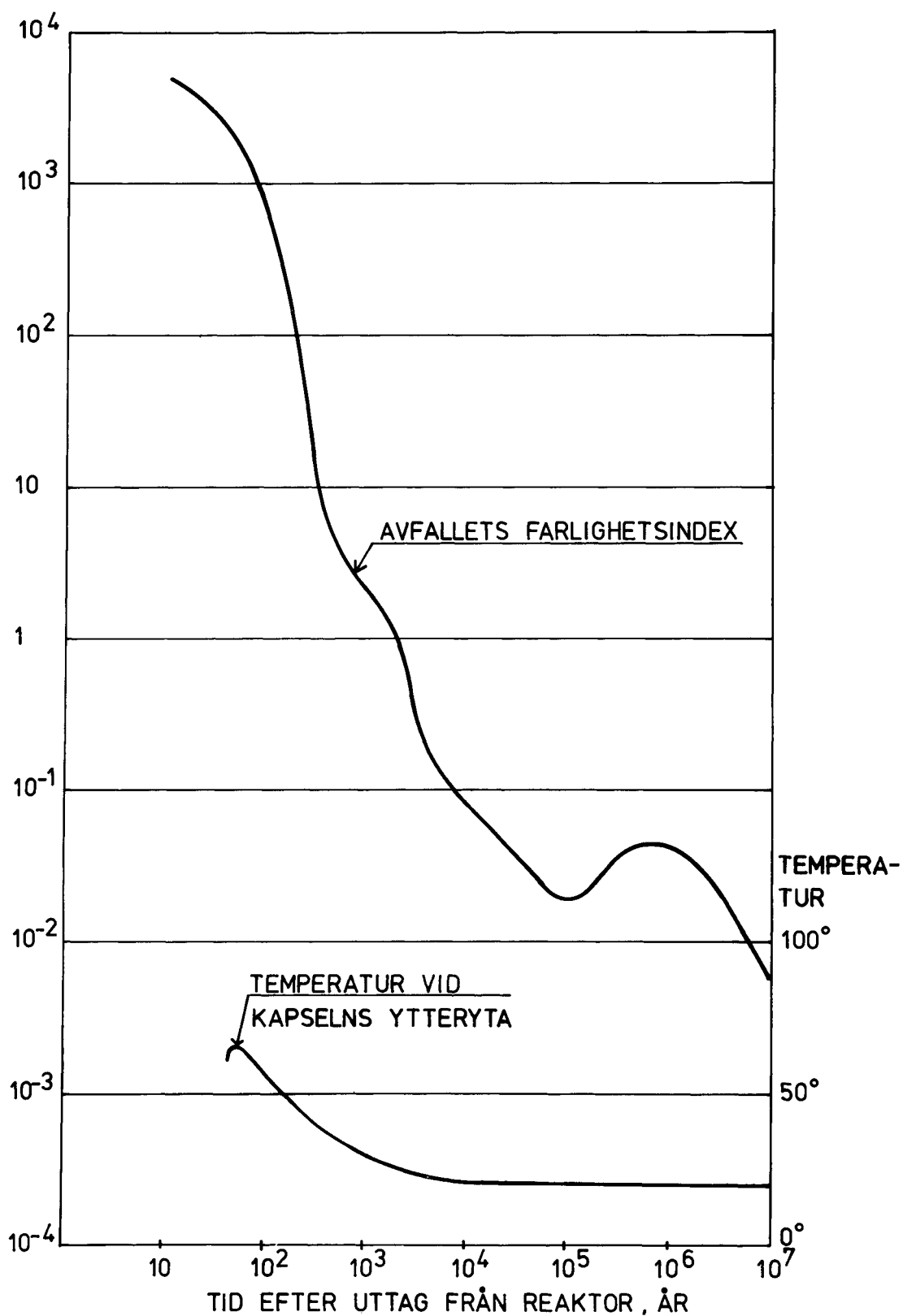
En detaljerad utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för förglasat högaktivt avfall har utförts /5-5/. Utredningen baseras inte enbart på litteraturuppgifter om titans korrosionsbeteende i ifrågavarande korrosionsmiljö, som vid utredningstillfället bedömdes motsvara östersjövatten vid pH 4 - 10 och 100°C, utan även på information från framstående titanforskare i England, Japan, USA och Tyskland. De korrosionstyper som behandlas i utredningen är följande:

- allmän korrosion motsvarande ett likformigt fördelat angrepp på titanytan orsakat antingen av oxidation eller av en långsam upplösning av den passivfilm av titandioxid som skyddar titanet
- lokal korrosion i form av punktfrätning, spaltkorrosion, spänningskorrosion eller korrosionsutmattning
- vättesprödhet som en följd av en eventuell indiffusion av väte bildat genom korrosion eller radiolys av vattnet

Allmän korrosion

Av pH-potentialdiagram framgår att den termodynamiskt stabila formen av titan under de aktuella deponeringsbetingelserna är titandioxid (TiO₂). Denna oxid, som har samma kemiska sammansättning som det i naturen förekommande stabila titanmineralet

FARLIGHETSINDEX



Figur 5-6. Diagram över det förglasade avfallets toxicitet, farlighetsindex, (se IV:3) och kapselns yttemperatur som funktion av tiden. Lägg märke till att farlighetsindex och tid är i logaritmisk skala.

rutil, bildas alltså spontant på titanytan (titanet passiveras) i kontakt med vatten och skyddar metallen mot fortsatt korrosion. Tjockleken hos denna passivfilm är vid rumstemperatur ca 30 Å. Passivfilmen motstår korrosion vid pH 2-14 oberoende av vattnets syrehalt /5-13/.

I litteraturen finns, av det skälet att man normalt inte behöver ta hänsyn till allmänkorrosion i vatten, ytterst få värden på oxidations- eller korrosionshastigheter under 200°C. I ett fall har emellertid en korrosionshastighet av 0,25 µm/år uppmätts i såväl luftmättad som argonmättad 3,5%-ig NaCl-lösning vid 60°C. Detta värde, som erhållits vid betingelser som ganska väl motsvarar dem som förväntas råda vid avfallsdeponeringen, ger alltså vid linjär extrapolation ett korrosionsdjup av 0,25 mm på 1 000 år. Ett annat värde erhållet vid nio månaders exponering i vatten från Stilla Havet ger korrosionshastigheten 0,1 mm på 1 000 år och resultat från pågående autoklavexponeringar hos AB Atomenergi vid 100 och 130°C maximalt 0,5 mm på 1 000 år /5-6 och 5-7/. Korrosionsmiljön vid sistnämnda experiment, som hittills pågått i 100 dygn, är östersjövatten surgjort till pH 4,5 och tillsatt med 10 ppm F .

Ovannämnda korrosionsdata är följaktligen mycket låga och begränsar inte den 6 mm tjocka titankapslingens livslängd under tusentals år. De är också att betrakta som mycket konservativa, eftersom de uträknats under antagande av en konstant korrosionshastighet under denna långa tid. I själva verket avtar oxidationen av titan med tiden.

Lokal korrosion

Av de inledningsvis nämnda formerna av lokal korrosion kan korrosionsutmattningen uteslutas emedan cykliska dragpåkänningar inte kan förekomma i kapslingen. Spänningskorrosion i havsvatten är teoretiskt möjlig men kräver så kraftiga sprickanvisningar och spänningsintensiteter att även denna typ av lokal korrosion med säkerhet kan undvikas om kapseln tillverkas med betryggande kontroll.

Punktfrätning och spaltkorrosion hos titan behandlas av vissa forskare som två skilda korrosionsformer. Den utredning som utförts visar emellertid att i praktiken uppträdande lokal korrosion huvudsakligen utgöres av spaltkorrosion. Följande huvudsakliga kriterier gäller för spaltkorrosion i titan:

- 1 Mycket trånga spalter och en tillräckligt stor fri titanyta för initiering av spaltkorrosion via en syrekonzentrationscell med spalten som anod och omgivande titanytor som katod.
- 2 En viss kritisk temperatur som avtar med stigande kloridhalt och sjunkande pH i lösningen. Spaltkorrosion i olegerat titan har sålunda inte iakttagits under 120°C i kontakt med kloridlösningar upp till atlantvattnets koncentration (3,5% NaCl).
- 3 En mekanisk uppruggning eller kallbearbetning av ytan, exempelvis genom repning, slipning etc, verkar påskyndande. Troligtvis beror detta på mikrosplattverkan.

- 4 Kontaminering med oädla metaller, speciellt järn, är inget absolut villkor men befrämjar initieringen av spaltkorrosion. Motsvarande behandling med halogenidsalter, dock med undantag för fluorider, uppges ha en liknande effekt /5-8/.

Ovan angivna förutsättningar för spaltkorrosion på titan bygger givetvis på relativt kortvariga laboratorieförsök. En snart 25 års erfarenhet av titan som konstruktionsmaterial för havsvattenberörda komponenter, t ex värmväxlare, rörledningar och pumpar, visar emellertid att benägenheten för spaltkorrosion inte tilltar med tiden inom nyssnämnda tidsintervall. Både svenska /5-9/ och utländska försök /5-10/ tyder på att längre inkubationstider än ca 500 timmar är osannolika, troligtvis beroende på en utjämnning av syregradienten mellan spalt och omgivande titanytor.

Ingen lokal korrosion har iakttagits efter 100 dygns provning vid 100 - 130°C i surgjort (pH 4,5) östersjövatten trots trånga spalter och repning av ytorna med järn /5-8/.

Man har av ovan anförda skäl anledning att vänta sig en mycket lång livslängd (åtminstone tusentals år) hos olegerat titan även med hänsyn till lokal korrosion. Vid valet av förläggingsplats och vid utformningen av förvaringssättet kommer vederbörlig hänsyn att tagas till att extremt höga kloridhalter i grundvattnet måste undvikas. Det system för vattenpåfyllning i deponeringshålen som närmare beskrives under 6.2.3 bedöms ha undanröjt risken för saltanrikning under tiden närmast efter deponeringen (p g a avdunstning) och håller dessutom kapselns temperatur på en betryggande låg nivå (ca 65°C).

Väteförsprödning

Risken för väteförsprödning till följd av att väte, som kan tänkas uppstå genom radiolys av vatten eller genom korrosion, diffunderar in i titanet under hydridbildning, har utretts ingående.

Den genom radiolys av vatten under 10 000 år alstrade totala vätemängden har beräknats till storleksordningen 10^{-5} g/cm², motsvarande ett tillskott av endast ca 4 ppm väte till titanets ursprungliga vätehalt av 10 - 20 ppm. Genom korrosion kan väte bildas först efter det att spaltkorrosion initierats och börjat tillväxa. Om denna ytterst osannolika situation uppstår är en lokal hydrering av underordnad betydelse jämfört med den redan skedda skadan.

Tillgången på väte bedöms alltså som försumbar och även om väte i tillräcklig mängd skulle komma i beröring med titanytan visar diffusionsdata att det tar flera hundra år innan titanet hydreras till sprödhet.

För att även erhålla garantier mot att titanets ursprungliga väteinhåll inte kan anrikas till spänningskoncentrationer, och där på sikt orsaka fördröjt brott, har en vätehalt av max 20 ppm specificerats för titan avsett för inkapsling. Detta värde motsvarar väteets löslighet i titan vid rumstemperatur och omöjliggör således varje hydridutskiljning.

5.3.3 Blys korrosionsegenskaper

Bly är liksom titan för sin korrosionshårdighet beroende av att ett skyddande skikt bildas på ytan vilket försvårar eller förhindrar vidare korrosion. Skyddsskiktets sammansättning och egenskaper är beroende av det omgivande mediet. I lämplig miljö kan det uppvisa avsevärd korrosionshårdighet. Korrosion av bly blir givetvis inte aktuell förrän titanhöljet har penetrerats.

Förutom sin korrosionshårdighet har blyet i kapseln en funktion som strålskärm i syfte att reducera strålningsnivån utanför kapseln till en sådan låg nivå att den saknar praktisk betydelse för titanets korrosionsbeteende. Utförda beräkningar visar att av strålningen inducerade koncentrationer av t ex oxiderande ämnen är mycket låga /5-11/.

Eftersom blyet skyddas av titanhöljet kan man bortse från allmän korrosion.

Om titanhöljet penetreras får man däremot räkna med en viss lokal korrosion på den yta av bly som då frilägges.

Korrosionen kommer därvid att bli starkt lokaliserad och utvecklas som en frätgrop. Om reaktionen kan förutses bli begränsad av tillförseln av oxidanter, syre i tillströmmande vatten, radiolysprodukter etc, uppskattas den mängd bly som då kan gå i lösning till 1,24 kg på 1 000 år och meter kapsellängd, dvs drygt 2 kg för en kapsel (vars totalvikt är 3,9 ton). Angreppet kommer att tränga ned i blyet med en avtagande hastighet. Preliminärt uppskattas att blyinfodringen blir penetrerad efter ca 500 år men denna siffra är sannolikt kraftigt underskattad /5-11/.

5.3.4 Sammanfattning

Korrosionsinstitutet har på uppdrag av KBS granskat korrosionsbeständigheten hos de föreslagna inkapslingsmaterialen. För fullföljandet av detta åtagande har institutet utsett en referensgrupp av specialister från i huvudsak korrosions- och materialområdet.

I en lägesrapport 1977-09-27 återgiven i KBS Tekniska Rapport nr 31 /5-12/ har institutet och dess referensgrupp redovisat följande bedömning av bly-titan-kapselns livslängd:

"Titanhöljets korrosionsbeständighet är helt grundad på förekomsten av ett skyddande passiveringsskikt. Detta har under rådande förhållanden förmåga att självläka vid tillfälliga skador. Under de angivna förutsättningarna och med de kunskaper som f n står till buds, skulle titanhöljet ha en livslängd på över 1 000. Denna prognos påverkas dock av en viss osäkerhet vid bedömningen som grundas på att hittillsvarande erfarenheter om gropfrätning och spaltkorrosion i titan har framkommit vid - i detta sammanhang - relativt kortvariga experiment och tillämpningar. För att minska risken för lokal korrosion bör förvaringsplatsen och förvaringssättet väljas så att extremt höga halter av Cl^- i grundvattnet ej behöver befaras.

Om titanhöljet penetreras till följd av mekanisk åverkan eller lokal korrosion kan den sålunda frilagda blyinfodringen angripas av galvanisk korrosion. Hastigheten för denna korrosion bestäms av tillgången på syre och andra oxidanter som finns i grundvattnet eller uppstår genom radiolys samt av korrosionshämmande beståndsdelar i vattnet, exempelvis bikarbonat. I kontakt med den förutsatta deponeringsmiljön bedöms blyinfodringen avsevärt förlänga kapslingens livslängd.

F n bedöms den blyinfodrade titankapselns livslängd av vissa ledamöter till minst 1 000 år medan andra ledamöter bedömer livslängden till minst 500 år. Innan slutlig bedömning sker bör fördjupad utredning företas."

Bakom Korrosionsinstitutets slutsatser står enhälligt de specialister som ingår i dess referensgrupp. Kompletterande yttranden från medlemmar i referensgruppen har även fogats till institutets lägesredovisning.

I ett av de kompletterande yttrandena framhålles att de redovisade bedömningarna är konservativa och representerar en lägsta gräns för kapslingsmaterialets hållbarhet. På grund av den kunskap som föreligger, säges i yttrandet, är sannolikheten stor för att en fortsatt utredning skall visa på betydligt längre livslängder hos kapslingsmaterialet. KBS delar denna uppfattning.

5.4 DRIFT AV ANLÄGGNINGEN

Endast några tiotal personer kommer att erfordras för anläggningens drift.

Hela underjordsdelen av anläggningen klassificeras som kontrollerat område och delas in i zoner i enlighet med den potentiella risken för kontaminering, på liknande sätt som i en kärnkraftstation.

All hantering av avfallscylinrar sker med fjärrmanövrering när de är i strålskärmda celler eller med hjälp av en strålskärmd transporthuv. I fall av driftavbrott för motordriven utrustning kan arbetsmomenten genomföras för hand.

Alla celler är förbundna med en reparationscell till vilken all utrustning i cellerna kan överföras med fjärrkontroll och i vilken mindre reparationer kan utföras. Om större reparationer erfordras kan utrustningen dekontamineras och föras ut ur reparationscellen in i ett plåtinklätt rum beläget ovanför cellen. Därifrån kan sedan utrustningen sändas i väg för reparation.

Anläggningens driftsystem är baserade på känd teknik och på erfarenheter från liknande system i befintliga anläggningar.

Anläggningen kommer att kontrolleras av myndigheter som statens kärnkraftinspektion och statens strålskyddsinstitut på liknande sätt som en kärnkraftsstation. Den kommer att utformas i enlighet med de föreskrifter som dessa myndigheter utfärdar och i samråd med berörda personanlorganisationer.

Beträffande arbetsmiljö och skyddsfrågor hänvisas till III:7.

5.5 KVALITETSKONTROLL

För att tillgodose de höga krav på säkerhet och drifttillgänglighet som gäller för den här beskrivna verksamheten samt för att den slutliga förvaringen skall bli betryggande fordras att kvaliteten hos anläggning och produkter har tillräckligt hög nivå. Härför krävs en effektiv kvalitetsövervakning, Quality Assurance, som bl a innebär att alla åtgärder för att uppnå och bibehålla erforderlig kvalitetsnivå skall vara planerade, systematiska och dokumenterade.

Den organisation som kommer att vara huvudman för verksamheten skall också svara för att kontrollverksamhet och kvalitetsövervakning organiseras och utföres på ett tillfredsställande sätt. Utförandet och dokumentationen av olika kvalitetsgaranterade åtgärder bör fördelas mellan huvudmannen och en officiell institution, t ex Svensk Anläggningsprovning, på liknande sätt som nu sker vid kärnkraftverken. Fördelningen baseras på en kompetens- och säkerhetsbedömning och skall godkännas av tillsynsmyndigheten SKI. Ansvaret för sammanställning av både egna och officiella insatser åvilar huvudmannen som också svarar för fortlöpande redovisning till SKI.

Huvudmannen skall, i god tid före byggstart, redovisa till SKI ett program angående organisation och uppgifter för kontrollverksamhet och kvalitetsövervakning. Programmet kompletteras efterhand med instruktioner i nödvändig omfattning och underkastas en fortlöpande uppföljning av SKI. Programmet skall omfatta bl a följande punkter:

- Definition av programmets tillämpning på olika byggnadsdelar och utrustningar efter säkerhetsklasser.
- Beskrivning av huvudmannens organisation och med honom samarbetande organisationer, med angivande av ansvarsområden och kontaktvägar.
- Föreskrifter för konstruktionsgranskning. Granskningen bör utföras av oberoende instans.
- Upphandlingsföreskrifter med avseende på nödvändiga kvalitetsbestämmelser.
- Kontroll och identifiering av inköpt material.
- Tillverknings- och montagekontroll avpassad till konstruktionens betydelse ur säkerhets- och drifttillgänglighets synpunkt.
- Program för återkommande kontroll och besiktning av vissa anläggningsdelar.
- Föreskrifter för drift och underhåll av anläggningen, även omfattande instruktioner för onormala driftfall och händelser.
- Rutiner för rapportering till tillsynsmyndigheten.

En kontrollplan för det förglasade avfallet och kapseln bör innehålla följande punkter:

Glasmassa:

- Analysbestämning
- Hårdhetsprovning
- Lagningsprov

Krom-nickel-kärl:

- Analysbestämning av grundmaterial
- Dragprovning av grundmaterial
- Materialidentifiering av grundmaterial
- Dimensionskontroll av grundmaterial
- Kontroll av svetsprocedurprov
- Övervakning av svetsarbete
- Okulär- och dimensionskontroll av svetsar
- Penetrantprovning av svetsar före och efter fyllning
- Identifiering av material i behållare före fyllning
- Okulär- och dimensionskontroll av behållare före fyllning
- Märkning och utförande av provningsintyg

Titan-bly-kapsel:

- Analysbestämning av titanmaterial och bly
- Dragprovning av titanmaterial
- Dimensionskontroll efter första blygjutning
- Okulärkontroll av slutlig yta
- Tryckprovning av cylinder efter första blygjutning
- Kontroll av svetsprocedurprov
- Renhetsk kontroll före svetsning
- Övervakning av svetsarbete
- Penetrantprovning av svetsar
- Täthetsprovning med He efter förslutning
- Märkning och utfärdande av provningsintyg

Vissa av de angivna kontrollmomenten utföres som stickprov varvid frekvensen bestämmas med hänsyn till sannolikheten för fel.

Arbeten som hänför sig till glasmassan och krom-nickel kärlet kommer att utföras vid utländsk uppberedningsanläggning. I vilken utsträckning kontroll och kvalitetsövervakning skall utföras av tillverkaren, fristående kontrollinstitution eller huvudmannen avgöres av parterna och tillsynsmyndigheten i samråd. I viss utsträckning förutsättes att tillverkaren tillhandahåller provmaterial så att egna provningar kan utföras av huvudmannen i Sverige

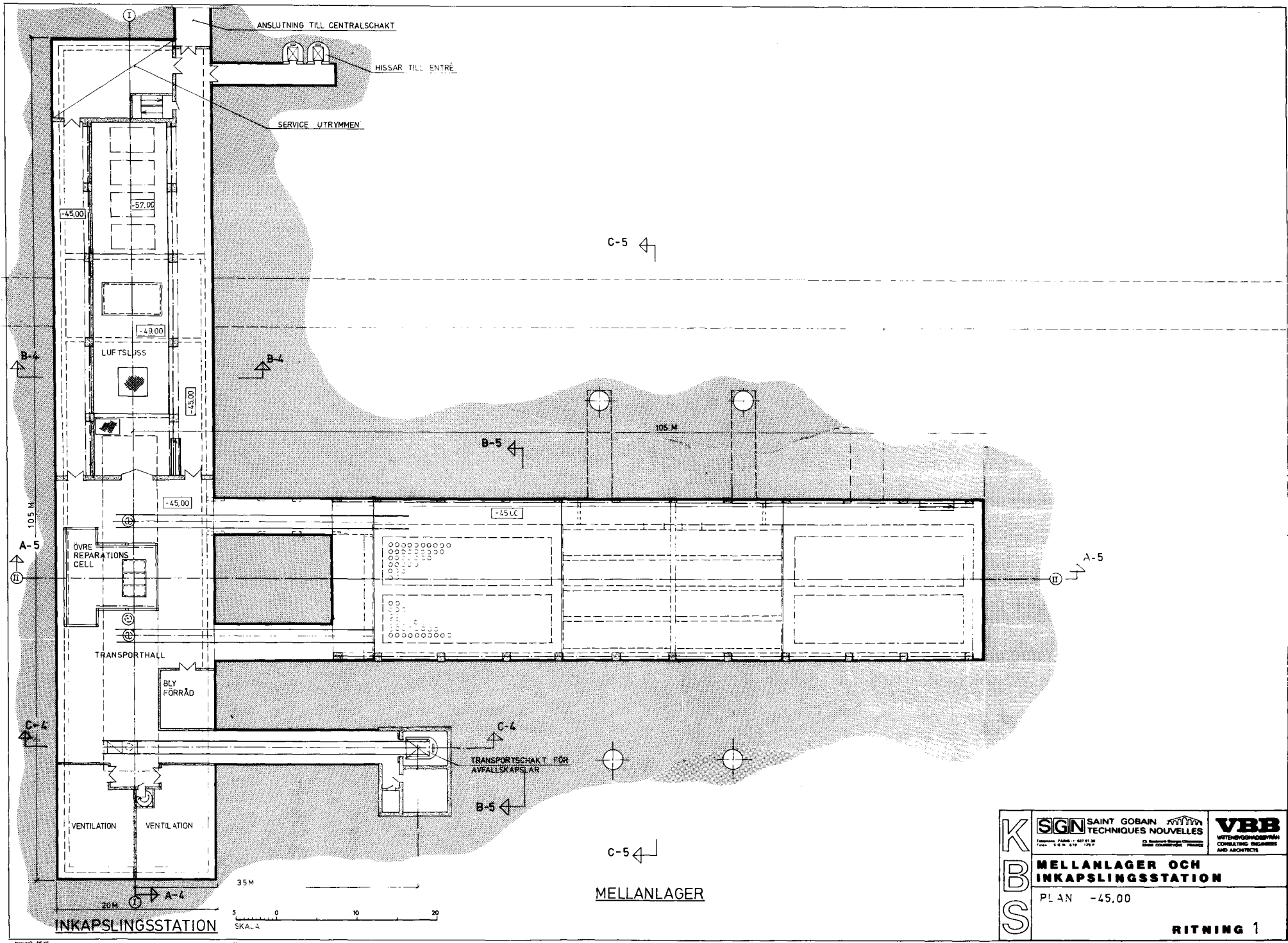
5.6 NEDLÄGGNING AV ANLÄGGNINGEN

När anläggningen ej längre behövs och inga avfallscylinrar eller kapslar finns kvar i den skall anläggningen dekontamineras och allt "eget" aktivt avfall, kontaminerat skrot och byggnadsmaterial föras bort till de anläggningar, som kan ta emot och behandla sådant material. Anläggningen kan sedan byggas om för annan användning eller förseglas genom fyllning med bergkross, betong etc.

Allmänt gäller att anläggningen endast i ringa utsträckning kan förväntas vara kontaminerad varför nedläggningen ej bör erbjuda svårare problem.

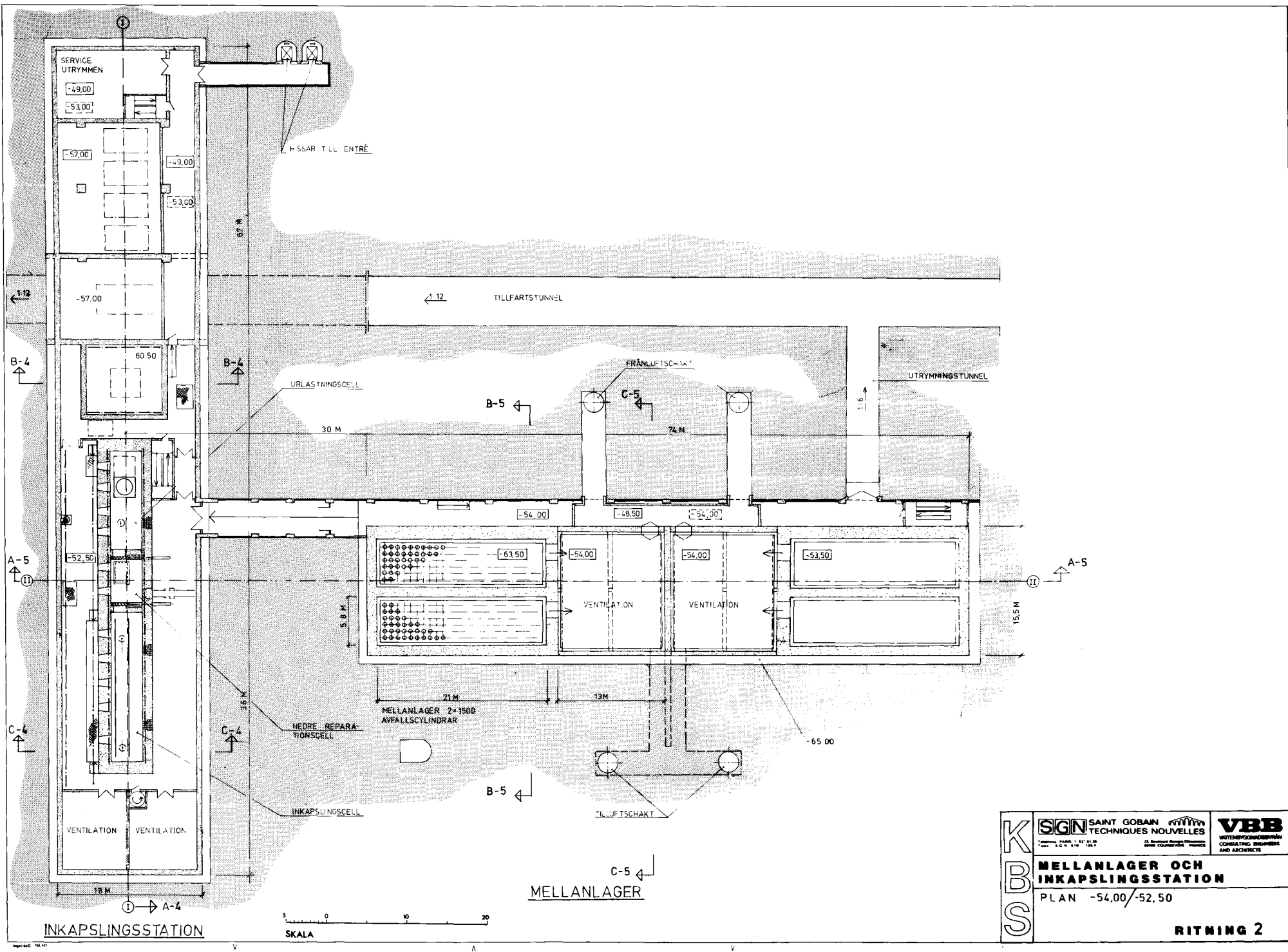
5.7 RITNINGSFÖRTECKNING FÖR MELLANLAGER OCH INKAPSLINGSSTATION

RITNING	1	PLAN -45,0
"	2	PLAN -54,0/-52,5
"	3	PLAN -60/-59,5
"	4	LÄNGDSEKTION I-I OCH TVÄRSEKTIONER
"	5	LÄNGDSEKTION II-II OCH TVÄRSEKTIONER
"	6	PROCESSFLÖDESSCHEMA



MELLANLAGER

K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>19000 PARIS - FRANCE</small>	 VBB <small>VITENSKAPSBYGGGEMÅN CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS</small>
	MELLANLAGER OCH INKAPSLINGSSTATION	
	PLAN -45,00	
RITNING 1		

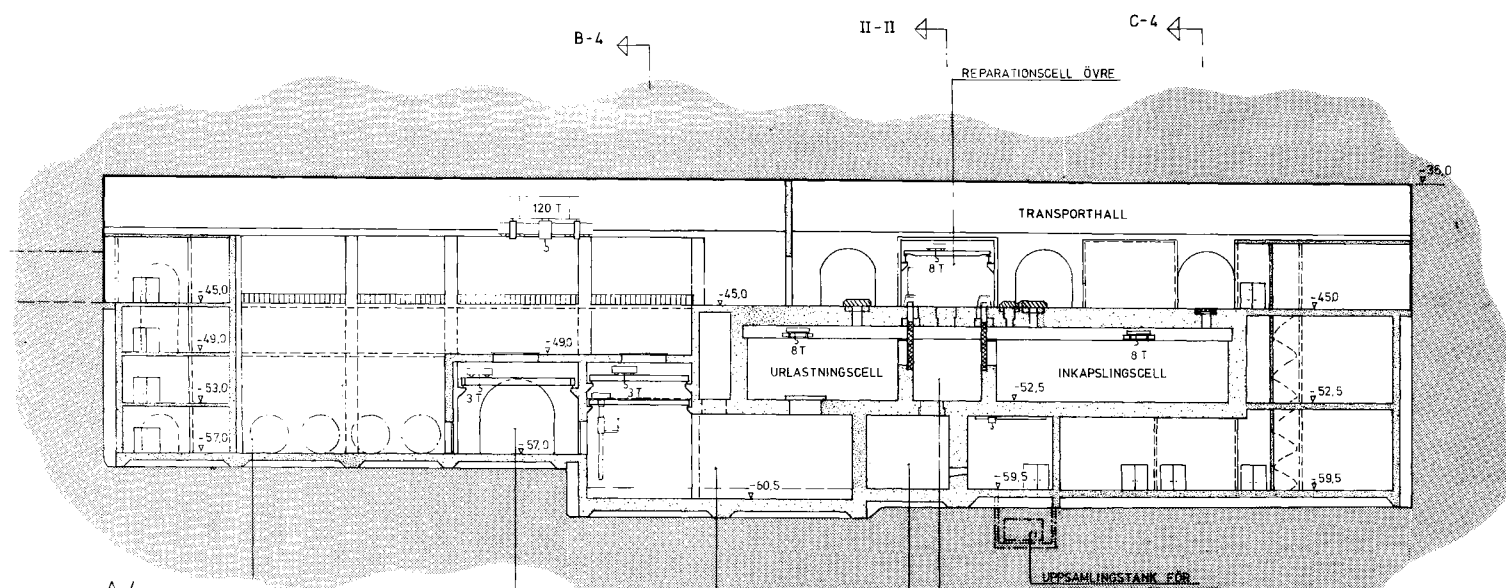


INKAPSLINGSSTATION

SKALA
0 10 20

MELLANLAGER

K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>1 rue de la République - 92100 Nanterre - France</small>	VBB WITENBERGERBERG CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS
	MELLANLAGER OCH INKAPSLINGSSTATION	
	PLAN -54,00/-52,50	
RITNING 2		



A-4

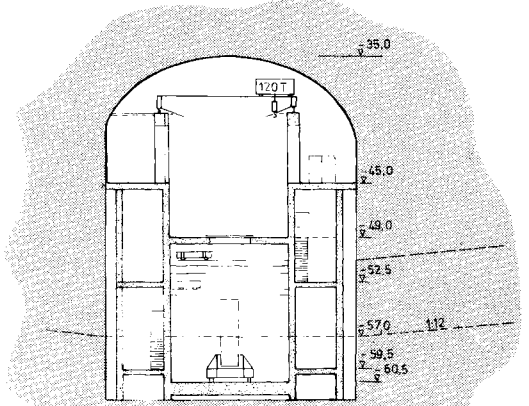
VANTHALL FÖR TRANSPORTBEHÄLLARE

ANKOMSTHALL FÖR TRANSPORTBEHÄLLARE

MOTTAGNINGSRUM

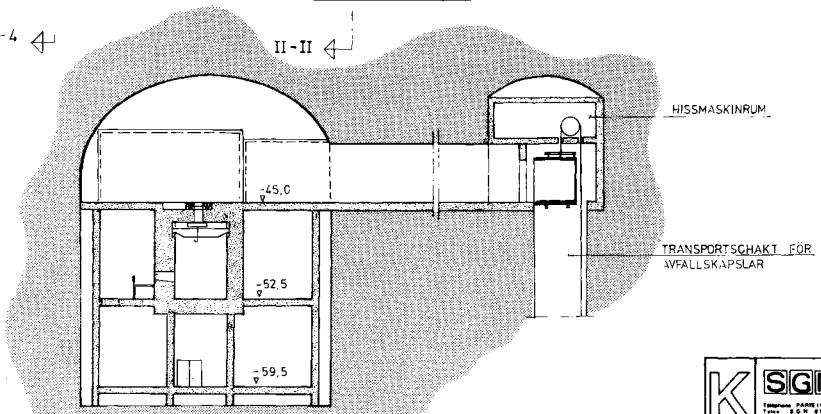
REPARATIONSCELL NEDRE

ÅTERINKAPSLINGSCELL



B-4

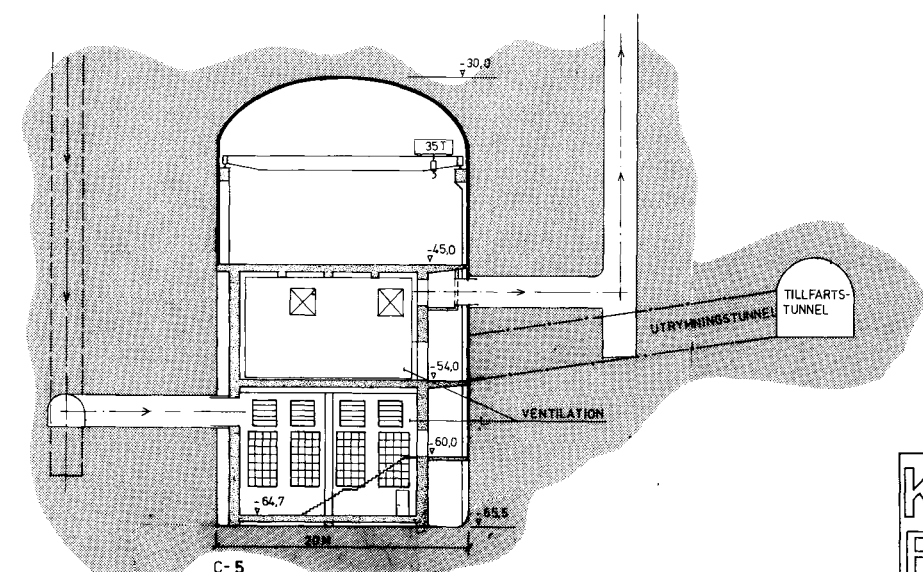
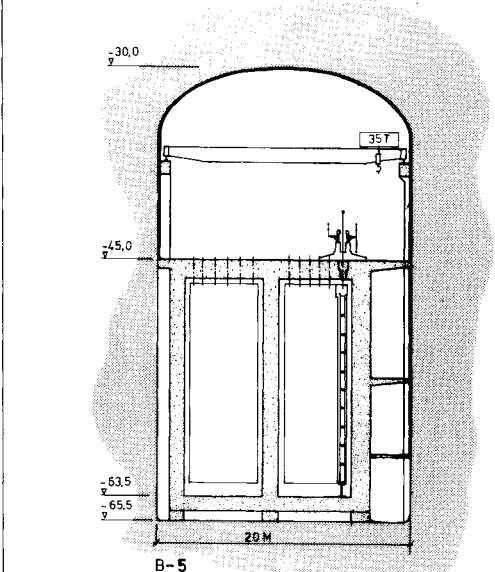
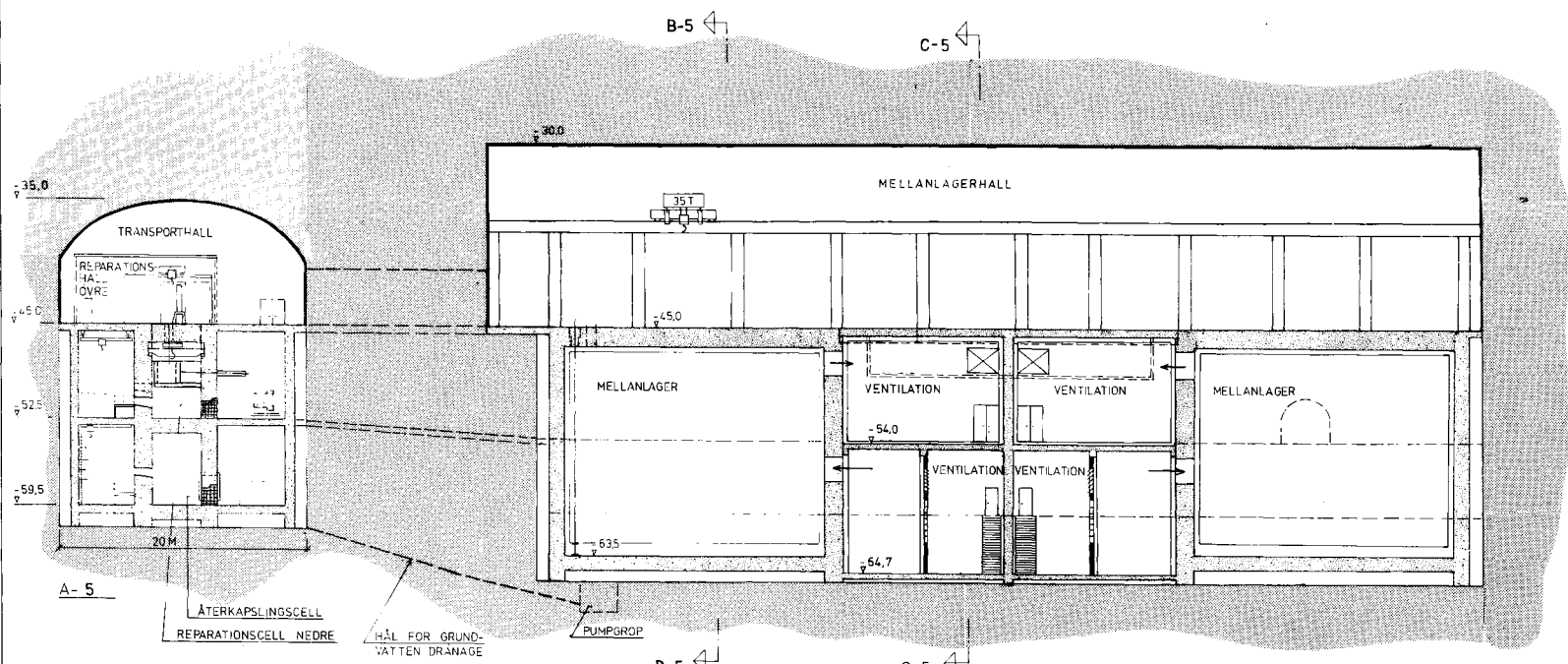
B-4



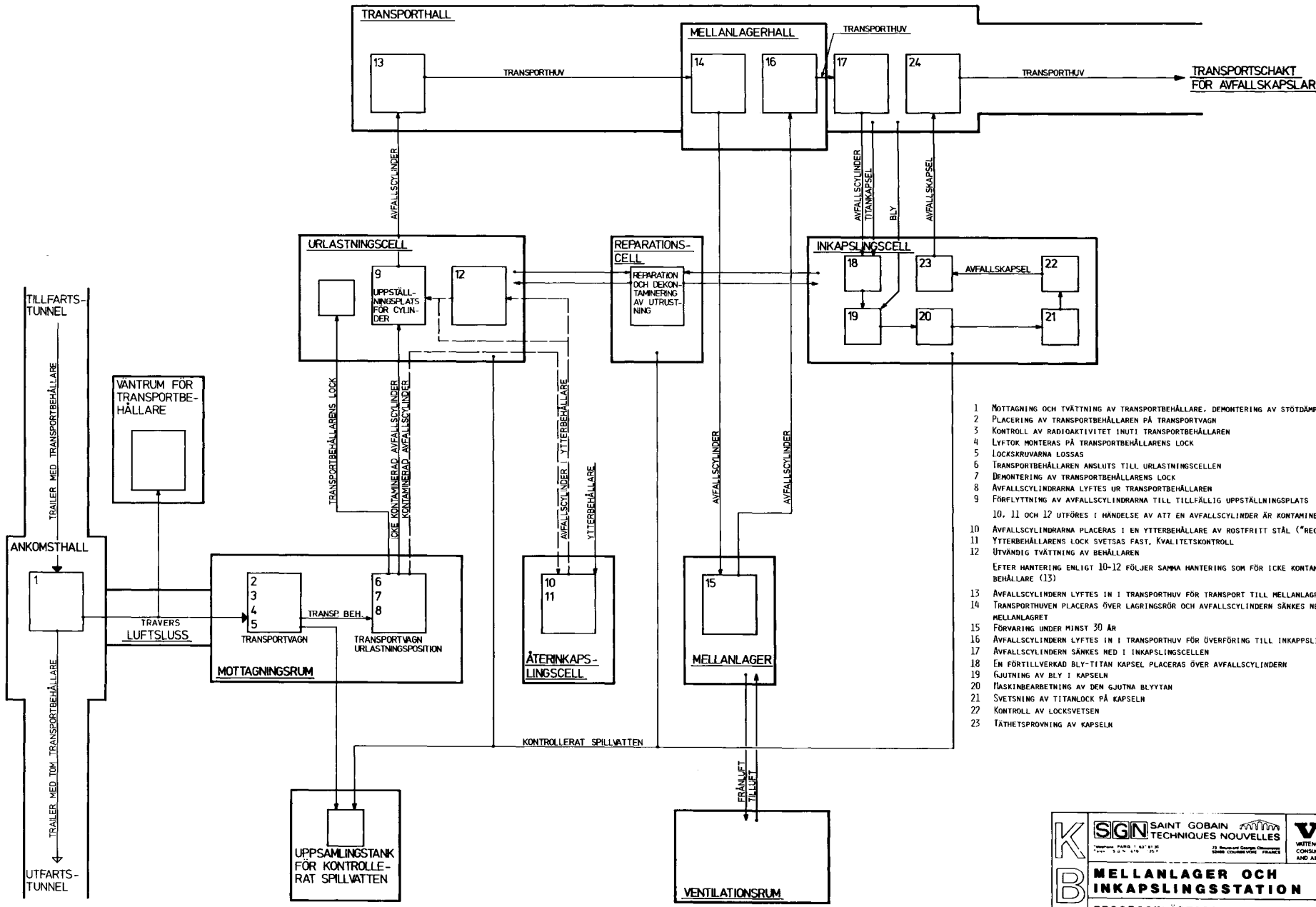
C-4



K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>TECHNIQUE SAINT GOBAIN 1911 - 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100</small>	VBB WITENBERGERSTRASSE CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS
	MELLANLAGER OCH INKAPSLINGSSTATION	
	LÄNGDSEKTION I-I OCH TVÄRSEKTIONER RITNING 4	



K B S	SGN	SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES	VBB	WITENBORGHEDESTRÅM CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS	
	Téléphone: PARIS (1) 857 61 30 Telex: S.G.S. 810 188 F			25 Boulevard de la République 92000 COLOMBES - FRANCE	
	MELLANLAGER OCH INKAPSLINGSSTATION LÅNGDSEKTION II-II OCH TVÄRSEKTIONER RITNING 5				

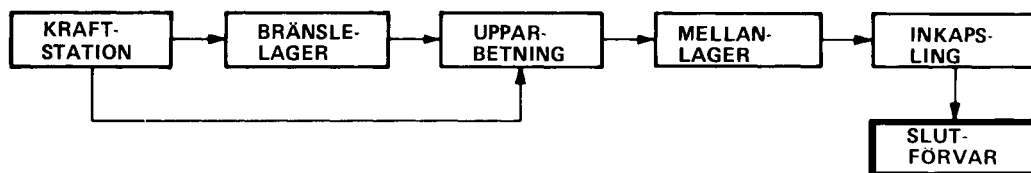


- 1 MOTTAGNING OCH TVÄTTNING AV TRANSPORTBEHÅLLARE. DEMONTERING AV STÖTDÄMPARE
- 2 PLACERING AV TRANSPORTBEHÅLLAREN PÅ TRANSPORTVAGN
- 3 KONTROLL AV RADIOAKTIVITET INUTI TRANSPORTBEHÅLLAREN
- 4 LYFTOK MONTERAS PÅ TRANSPORTBEHÅLLARENS LOCK
- 5 LOCKSKRUVARNA LOSSAS
- 6 TRANSPORTBEHÅLLAREN ANSLUTS TILL URLASTNINGSCELLEN
- 7 DEMONTERING AV TRANSPORTBEHÅLLARENS LOCK
- 8 AVFALLSCYLINDRARNAS LYFTES UR TRANSPORTBEHÅLLAREN
- 9 FÖRFLYTTNING AV AVFALLSCYLINDRARNAS TILL TILLFÄLLIG UPPSTÄLLNINGSPÅS
- 10, 11 OCH 12 UTFÖRES I HÄNDELSE AV ATT EN AVFALLSCYLINDER ÄR KONTAMINERAD
- 10 AVFALLSCYLINDRARNAS PLACERAS I EN YTTREBEHÅLLARE AV ROSTFRITT STÅL ("RECANING")
- 11 YTTREBEHÅLLARENS LOCK SVETSAS FAST, KVALITETSKONTROLL
- 12 UTVÄNDIG TVÄTTNING AV BEHÅLLAREN
- EFTER HANTERING ENLIGT 10-12 FÖLJER SAMMA HANTERING SOM FÖR ICKE KONTAMINERADE BEHÅLLARE (13)
- 13 AVFALLSCYLINDERN LYFTES IN I TRANSPORTHUV FÖR TRANSPORT TILL MELLANLAGRET
- 14 TRANSPORTHUVEN PLACERAS ÖVER LAGRINGSRÖR OCH AVFALLSCYLINDERN SÄNKES NED I MELLANLAGRET
- 15 FÖRVARING UNDER MINST 30 ÅR
- 16 AVFALLSCYLINDERN LYFTES IN I TRANSPORTHUV FÖR ÖVERFÖRING TILL INKAPSLINGSCELLEN
- 17 AVFALLSCYLINDERN SÄNKES NED I INKAPSLINGSCELLEN
- 18 EN FÖRTILLVERKAD BLY-TITAN KAPSEL PLACERAS ÖVER AVFALLSCYLINDERN
- 19 GJUTNING AV BLY I KAPSELN
- 20 MASKINBEARBETNING AV DEN GJUTNA BLYTTAN
- 21 SVETSNING AV TITANLOCK PÅ KAPSELN
- 22 KONTROLL AV LOCKSVETSEN
- 23 TÄTHETSPROVNING AV KAPSELN

K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>100 Avenue de la République - 93000 PARIS 13^e - FRANCE</small>	VBB WITENBERGSHANDSRYM CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS
	MELLANLAGER OCH INKAPSLINGSTATION	
	PROCESSFLÖDESSHEMA	

RITNING 6

6 SLUTFÖRVAR



6.1 ALLMÄNT

Slutförvaret är beläget i berg under anläggningen för mellanlagring och inkapsling på en nivå ungefär 500 meter under markytan.

Huvudkriteriet för utformningen av slutförvaret är att det skall vara möjligt att försegla och till slut överge anläggningen och ändå behålla dess grundläggande funktion: att förhindra spridning av radioaktiva ämnen till biosfären.

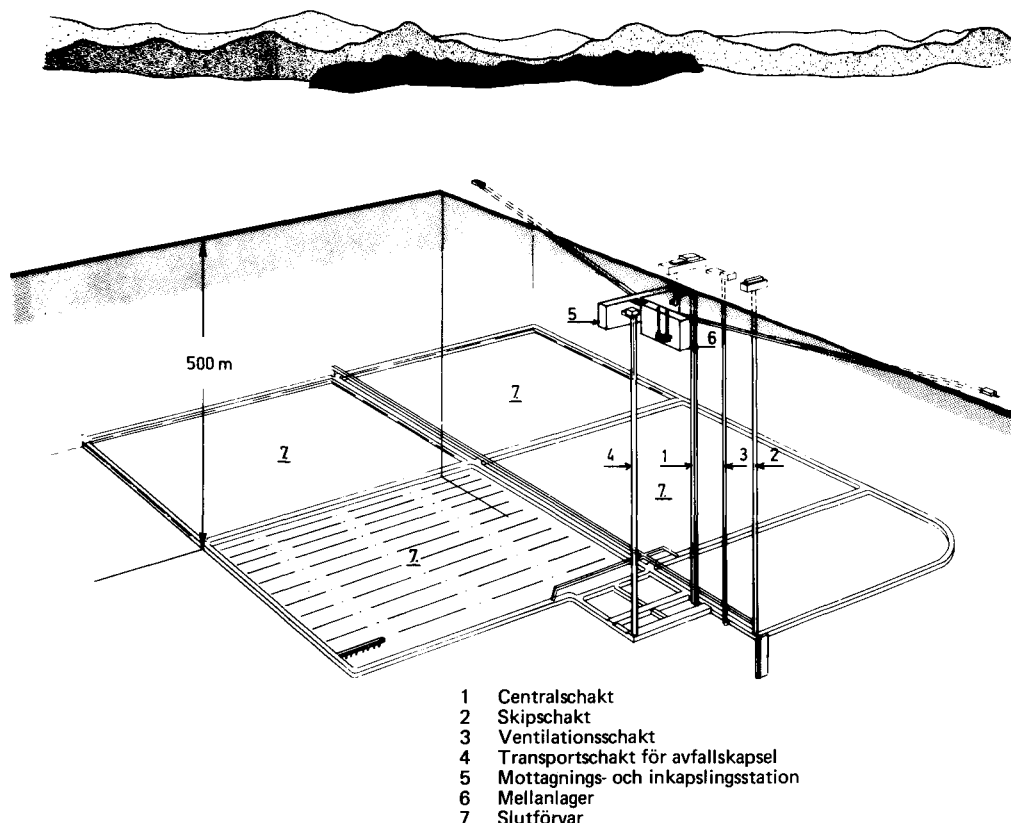
De undersökningar och studier som utförts av tänkbara lägen för ett slutförvar (se del II, Geologi) har indikerat att det är möjligt att uppfylla detta kriterium. Berggrunds- och grundvattenförhållandena på de undersökta platserna har visat sig vara sådana att berget kommer att utgöra en barriär mot radioaktiva ämnens vandring från avfallet till biosfären. Det förglasade avfallet, med dess låga utlakningshastighet, kapselns höga korrosionsbeständighet och egenskaperna hos det buffertmaterial, med vilket slutförvarets deponeringshål, tunnlar och schakt återfylls, utgör ytterligare barriärer mot en sådan vandring. Berget ger också ett skydd mot yttre påverkan, såsom krigshandlingar, sabotage, meteoritnedslag etc. En utvärdering av de olika barriärernas funktion redovisas i del IV, Säkerhetsanalys.

Slutförvaret har utformats för en deponering av 9 000 avfallskapslar och med förutsättningen att 300 kapslar per år överföres till förvaret från mellanlagret och inkapslingsstationen. Anläggningens utformning är baserad på känd teknik. För en mera detaljerad redovisning av anläggningen hänvisas till de ritningar som finnes bilagda i slutet av detta kapitel.

6.2 ANLÄGGNINGSBESKRIVNING

6.2.1 Layout

Slutförvaret består i huvudsak av ett system parallella förvaringstunnlar belägna ca 500 meter under markytan med tillhörande transporttunnlar och schakt för kommunikationen med markytan och med anläggningen för mellanlagring och inkapsling. I tunnelsystemet ingår också diverse serviceutrymmen, se fig. 6-1. Det kapslade avfallet deponeras i vertikala, borrarade hål i förvaringstunnlarnas golv.



Figur 6-1. Perspektivskiss av slutförvar med anläggningen för mellanlager och inkapsling. Slutförvaret består av ett system av parallella förvaringstunnlar belägna ca 500 m under markytan.

6.2.2 Utförandet och utformningen av bergrumsanläggningen

Efter inledande konstruktionsarbete och förundersökningar, i vilket en pilotanläggning kan komma att ingå, påbörjas arbetena för bergrumsanläggningen med att ett schakt sänkes från markytan ner till förvarets nivå. Från detta schakt drivs orter som gör det möjligt att utföra övriga schakt med stigortsmetoder /6-1/.

Intill förvaret anläggs tunnlar för serviceutrymmen. Utsprängt berg transporteras till markytan med en skip. Materialet krossas emellertid först eftersom storleken på de block en skip kan ta emot är begränsad.

Utsprängningen av förvarets tunnelsystem börjar med transporttunnlarna i periferien och i mitten samt med den över mitt-tunneln belägna ventilationstunneln. Härigenom erhålles en god översikt av bergförhållandena varigenom förvaringstunnlarnas layout kan modifieras, om så erfordras, för att undvika sådana partier med dåligt berg, som förundersökningarna inte har påvisat.

Utsprängningen av förvaringstunnlarna påbörjas därefter med försiktig sprängning för att störa det omgivande berget så litet som möjligt. I dessa tunnlers golv borrar vertikala deponeringshål för avfallskapslarna. Innan ett sådant hål uppborras till full storlek borrar ett mindre hål i vilket det omgivande bergets permeabilitet bestäms med täthetsprov. Om permeabiliteten befinnes vara tillräckligt låg borrar därefter deponeringshålet till full storlek. Om permeabiliteten är för hög injekteras berget och

hålet provas igen. Visar sig permeabiliteten då fortfarande vara för hög pluggas hålet med en blandning av sand och bentonit och platsen användes inte för deponering av en avfallskapsel. Är permeabiliteten tillräckligt låg borras deponeringshålet till full storlek. Inga hål kommer att placeras nära förkastningar och andra svaghetszoner i berget.

Elektrisk utrustning kommer att användas för byggandet av tunnarna för att minska föroreningen av luften. Dieseldrivna servicefordon kan emellertid komma till användning. Arbetet utföres med de metoder som konventionellt tillämpas inom gruv- och anläggningsindustrien.

Avståndet mellan förvaringstunnarna (c/c 25 meter) och mellan deponeringshålerna i tunnarna (c/c 4 meter) har bestämts på grundval av bergmekaniska hänsynstaganden inklusive effekten av värmeavgivningen från kapslarna. Deponeringshålerna har en diameter av 1 m och ett djup av 5 m. Varje hål är avsett för en kapsel. Med de valda avstånden blir i initialskedet den specifika värmebelastningen (Gross Thermal Loading) 5,25 watt per kvadratmeter, vilket ger en tämligen moderat temperaturökning i den omgivande bergformationen, se fig 6-2. I markytan torde dess effekt på klimatet, markhöjningen etc inte bli märkbar /6-2/.

Beträffande tidplanen för utförandet av anläggningen hänvisas till I:14.

6.2.3 Deponering av avfallskapslar

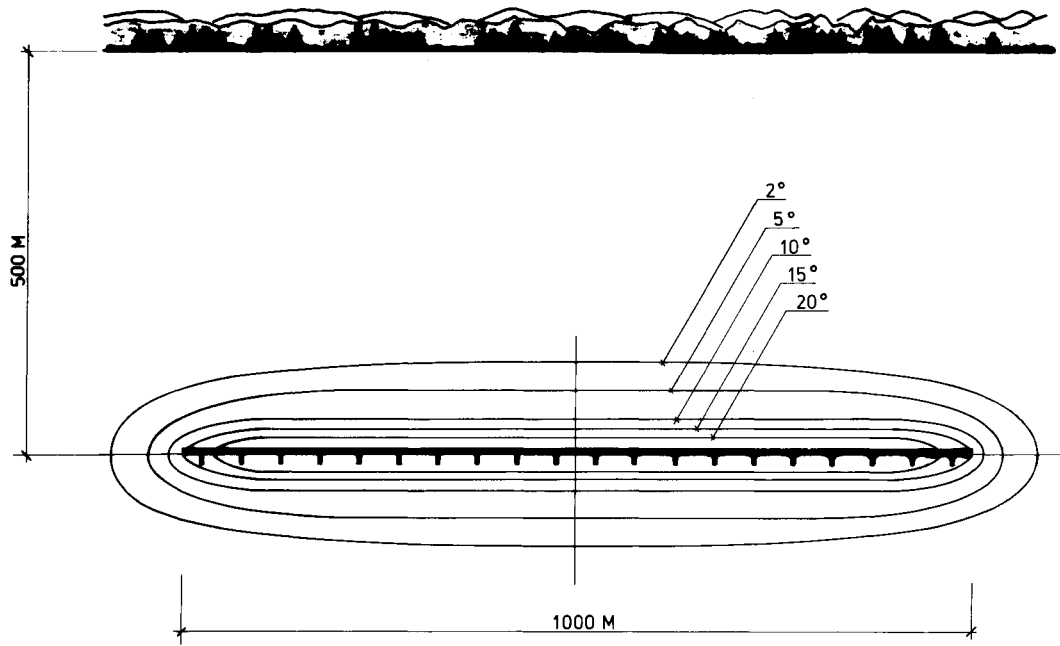
När en avfallskapsel skall överföras från anläggningen för mellanlagring och inkapsling till slutförvaret, lyfts den först ut ur inkapslingscellen in i en strålskärmad transporthuv med en liknande procedur som den som användes för hanteringen av avfallscylindrarna i anläggningen för mellanlagring och inkapsling. Huvens utformning är liknande den som beskrivs under 5.2.3 men blymanteln är endast 10 cm tjock eftersom avfallets aktivitet är lägre efter lagringen och dessutom blyet i kapseln ger det ytterligare strålskydd som erfordras. Transporthuven är monterad på en rälsbunden vagn, som drages av en elektrisk traktor /6-3/.

Transporthuven överföres via en horisontell tunnel från inkapslingscellen till en hiss, som löper i ett vertikalt schakt i berget. Hissen för ned transporthuven till förvaringstunnarnas nivå, se fig 6-3.

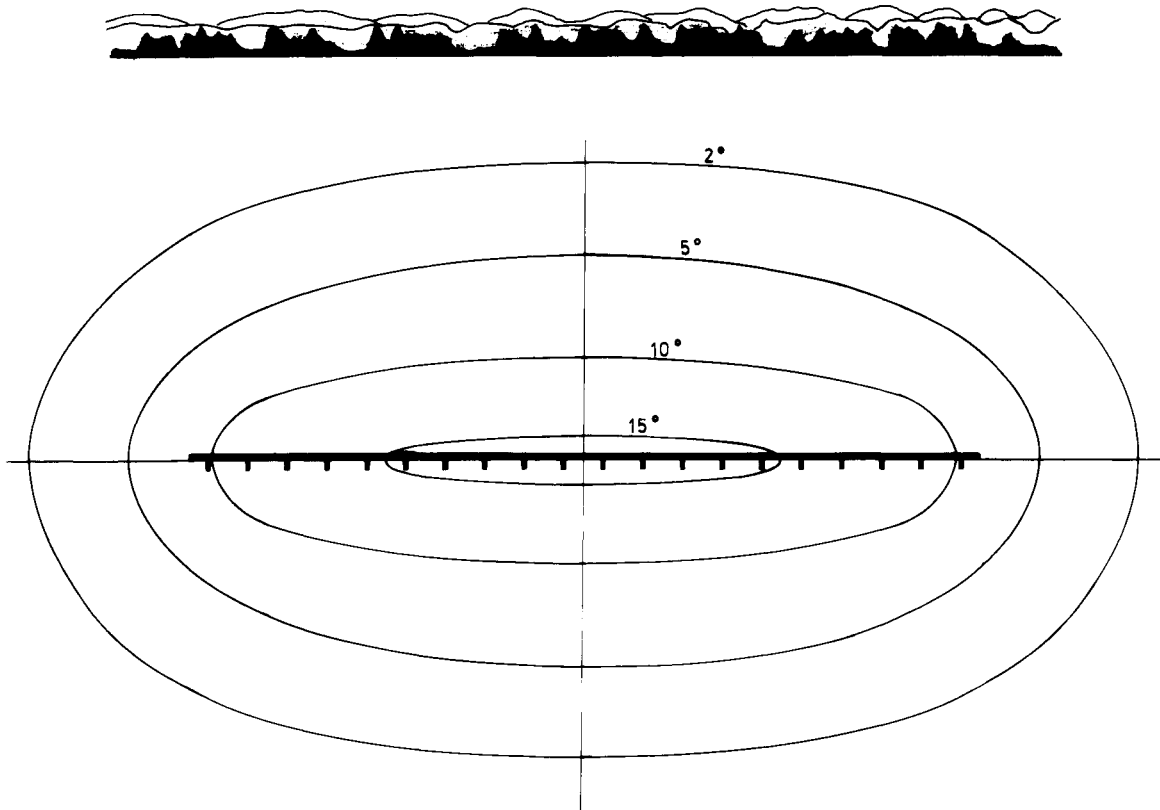
Hissen har samma utförande som en konventionell, gejdtrad gruvhiss med drivskivespel, med ett stort antal av varandra oberoende bromssystem. Hisskorgen är upphängd i ett flertal linor så dimensionerade att några enstaka linor med god marginal kan bära lasten (10-faldig säkerhet). Som en ytterligare säkerhetsåtgärd finns en vattenbassäng i hisschaktets botten, som dämpar stöten från en fallande hiss och som ger strålskärmning, om en kapsel skulle skadas.

När hissen är nere vid förvarets nivå, flyttas transporthuven på sin vagn genom tunnelsystemet och placeras ovanför det hål i vilket avfallskapseln skall deponeras.

Innan transporthuven är på plats har deponeringshålet dränerats

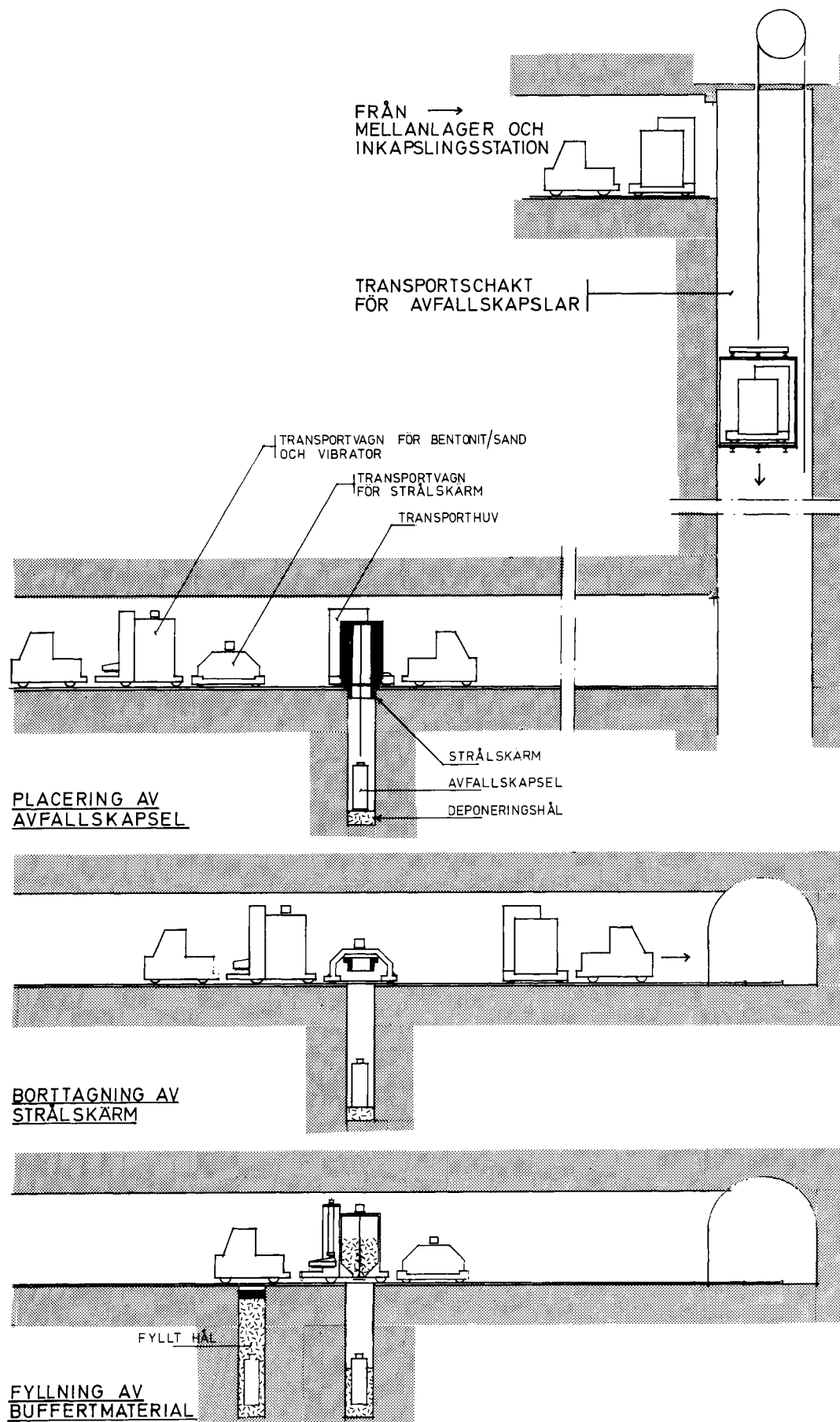


50 ÅR EFTER DEPONERING



600 ÅR EFTER DEPONERING

Figur 6-2. Temperaturförhöjningen i bergformationen kring slutförvaret 50 år och 600 år efter deponeringen.



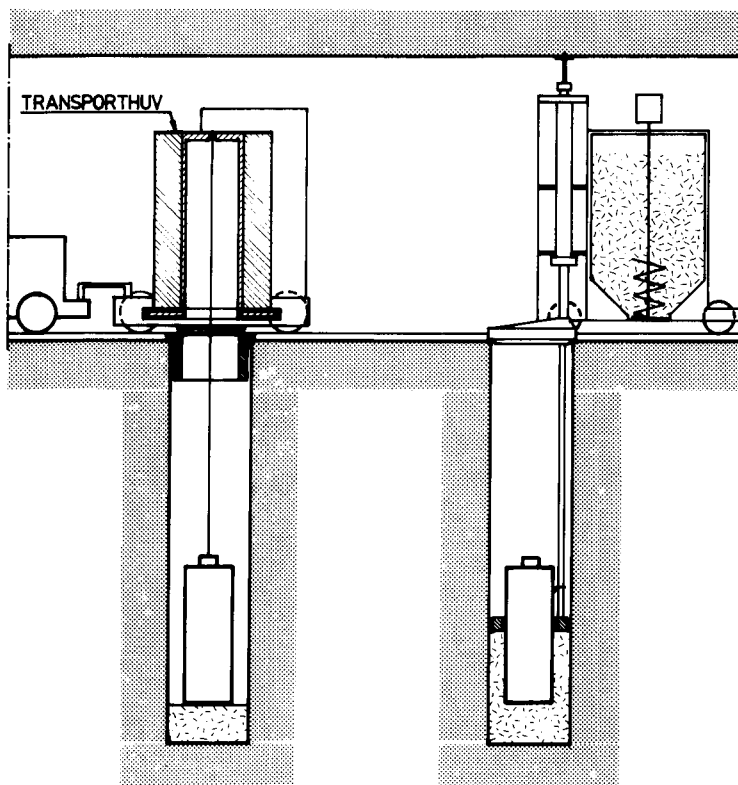
Figur 6-3. Hanteringsschema för deponering i slutförvaret.

på det vatten, som kan ha kommit in i hålet, och rör (av titan) för vattenpåfyllning (se nedan) monterats. Därefter utlägges en bädd av sand (90%) och bentonit (10%) i botten av hålet. Bädden packas med en hydrauliskt manövrerad vibratorplatta. Slutligen förses hålets öppning med ett flyttbart strålskydd, som skyddar personalen vid kapselns nedsänkning i hålet.

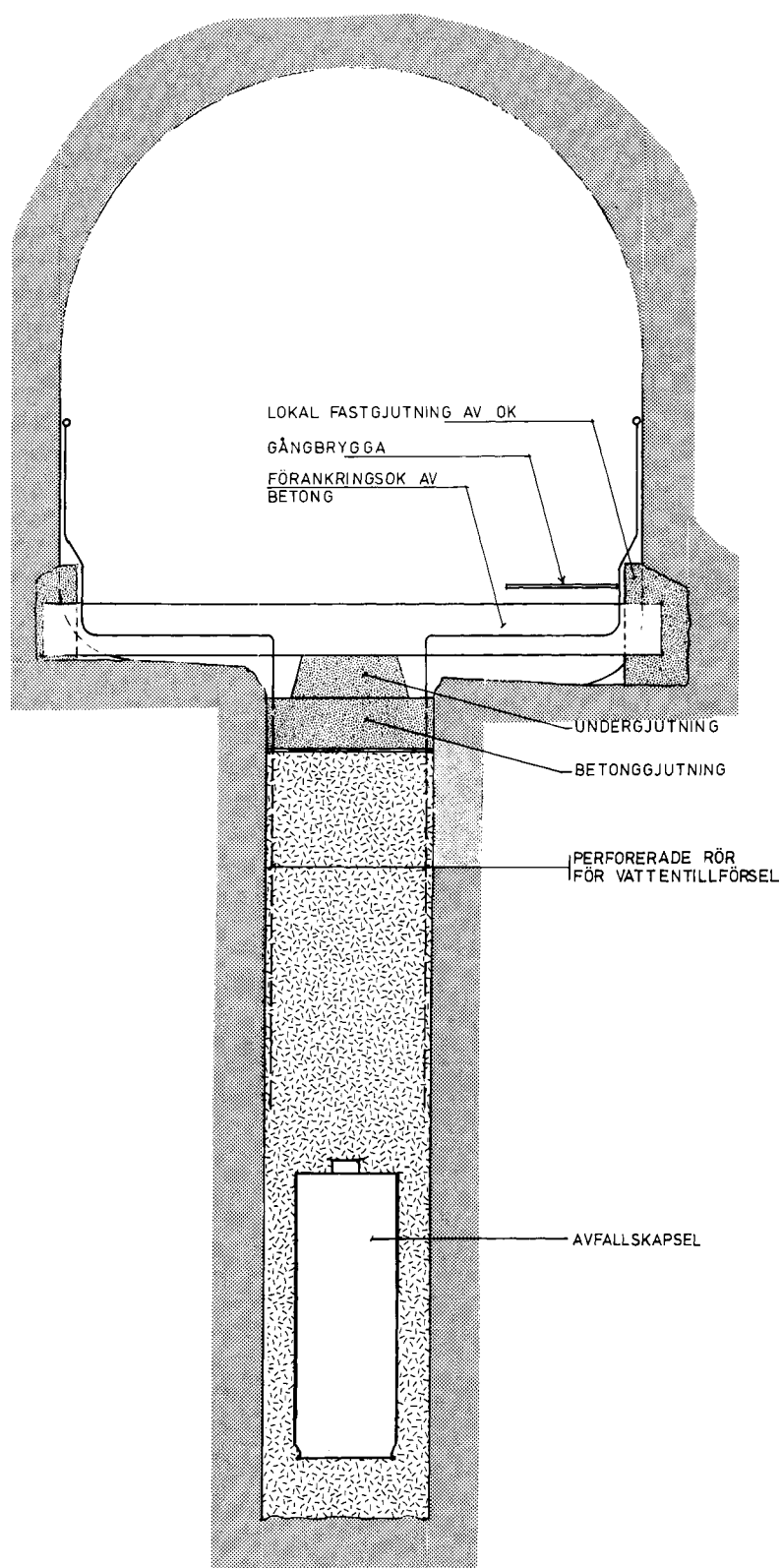
Kapseln föres nu ned i hålet med transporthuvens hissanordning och placeras på sand/bentonit-bädden. Huven föres sedan åt sidan, det flyttbara strålskyddet avlägsnas och hålet fylls med en blandning av sand (85%) och bentonit (15%). Fyllningen läggs ut och packas i lager med en tjocklek av 10-20 cm med en hydrauliskt manövrerad utrustning, se fig 6-4 och /6-4/.

Proportionerna mellan sand och bentonit bestäms bl a av att en högre bentonithalt ger lägre permeabilitet men också lägre bärighet. Bottenbädden måste kunna bära kapselns tyngd och bör därför ha lägre bentonithalt än den övriga fyllningen, för vilken lägsta möjliga permeabilitet är det primära. Se vidare under 6.3 nedan.

Efter avslutad återfyllning tillslutes deponeringshålet med ett lock av platsgjuten betong. Över locket placeras ett förtillverkat betongok, som fastgjøtes i nischer i tunnelväggarna, se fig 6-5. Rören för vattenpåfyllning anslutas till ett rörsystem varigenom vatten pressas ned i hålet. Locketts uppgift är att förhindra att vatten tränger ut ur eller avdunstar från hålet. Det skall också hindra att fyllningen sväller när bentoniten tar upp vatten. Genom att svällningen förhindras ökar fyllningens packnings-



Figur 6-4. Deponering av kapseln (till vänster) och uppfyllning av deponeringshålet (till höger). Fyllnadsmaterialet består av en blandning av kvartssand och bentonit.



Figur 6-5. Efter återfyllning med en blandning av kvartssand och bentonit tillsluter man deponeringshålet med ett lock av platsgjuten betong. Över locket späns ett betongok.

grad och täthet (se 6.3). Fyllnadsmaterialet ger erforderligt strålskydd för den personal som arbetar i förvaringstunnlarna.

Systemet för vattenpåfyllning i deponeringshålen upprätthålles under hela den tid som förvaret är öppet. Anläggningen är då dränerad och ventilerad och vattenpåfyllningen och locket förhindrar en uttorkning av fyllnadsmaterialet i hålen på grund av kapselns värmeutveckling. En sådan uttorkning skulle försämra fyllnadsmaterialets värmeledningsförmåga och därigenom öka kapselns temperatur (som är ca 65°C vid vattenmättad fyllning, /6-2/). Uttorkningen skulle även kunna leda till en anrikning av det salt som finns i grundvattnet. Temperaturförhöjningen och saltanrikningen skulle ha en negativ effekt på kapselns korrosionsbeständighet, se III:5.3. Det är emellertid möjligt, att en vidare bearbetning och analys av värmeutvecklingens inverkan på fyllnadsmaterialet och grundvattnet kommer att visa att det här beskrivna systemet för vattenpåfyllning kan förenklas eller helt avvaras.

6.2.4 Hjälpssystem

I anläggningen kommer att ingå hjälpssystem för vatten och avlopp, elförsörjning, tryckluft, brandskydd, telekommunikationer, transport av personal och material etc. Dessa system liknar de som ingår i en konventionell gruvanläggning.

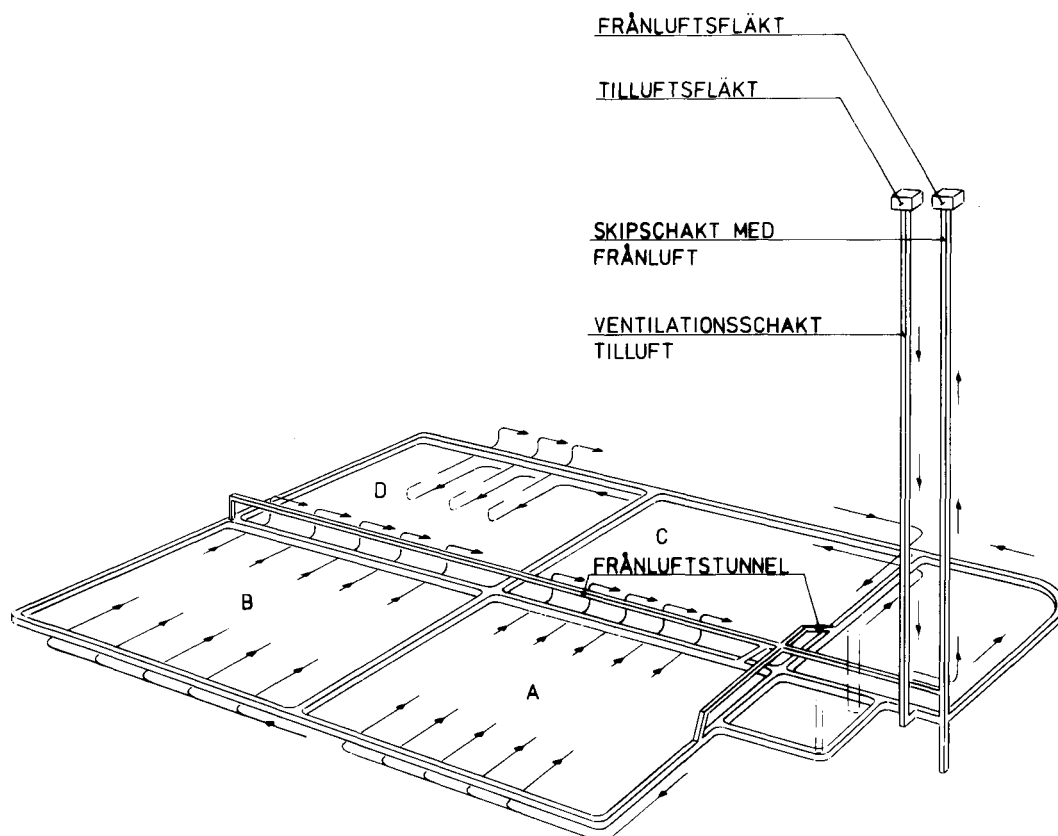
Ventilationssystemet är utformat på grundval av en fri luftcirkulation i tunnlar och schakt /6-1/. Det skall förse anläggningen med frisk luft och föra bort damm, rök och avgaser från sprängning och från fordon. Lufttemperaturen skall hållas på en angenäm nivå i alla utrymmen där personal uppehåller sig.

Någon radioaktiv kontaminering av luften förutsättes inte uppkomma. Även vid ett hanteringsmissöde är det mycket osannolikt att den inkapslade avfallscylintern skulle skadas på ett sådant sätt att det förglasade avfallet splittras i så små partiklar att de blir luftburna.

Ventilationssystemets uppgift är således att skapa goda arbetsförhållanden i slutförvaret. Det har inget direkt samband med avfallskapslarnas funktion. Principerna för systemets utformning framgår av fig 6-6.

Fläktar i marknivån blåser ner luft genom ett ventilationsschakt och denna luft distribueras sedan till tunnelsystemet och transportschakten. Varje förvaringstunnel ventileras, sedan den sprängts ut i hela sin längd, genom fri genomströmning från de yttre transporttunnlarna till den i mitten. Därifrån evakueras luften via vertikala schakt till en frånluftstunnel belägen ovanför mitt-tunneln och som också tjänstgör som evakueringsstunnel för rökgaser i händelse av brand i någon del av tunnelsystemet. Genom frånluftstunneln leds luften till bergtransportschaktet, vilket alltså tjänstgör även som luftevakueringsschakt. Här mynnar också evakueringskanaler från serviceutrymmena. Även på frånluftssidan drivs luften med fläktar placerade dels vid schaktmyningen på marken, dels i de tunnlar som leder till utloppsschaktet.

I varje förvaringstunnel samt mellan serviceutrymmena och trans-



Figur 6-6. Perspektivskiss av ventilationssystemet i slutförvaret. Deponeringen är avslutad inom område A och pågår inom område B. Utsprängningen är avslutad inom område C och pågår inom område D.

portvägarna finns spjällförsedda portavstängningar, med vars hjälp luftdistributionen till de olika utrymmena regleras efter det aktuella behovet, vilket är beroende av arbetets art och temperaturtillstånden i olika delar av anläggningen.

Avgörande för ventilationssystemets utformning och dimensionering är dels friskluftbehovet under utbyggnadstiden, dels behovet att hålla temperaturen under ca 25°C i de tunnlar där arbeten pågår.

I första hand räknas med att elektrisk drift kommer att tillämpas för såväl fordon som maskiner, men ventilationssystemet har utformats så att kapaciteten kan göras tillräcklig även för dieseldrift. Behovet av temperatursänkning inom delar av tunnelsystemet tillgodoses genom reglering av ventilationsspjällens öppningar.

Även vid bortfall av samtliga fläktar ger den naturliga luftkonvektionen tillräcklig luftomsättning för att arbetet i slutförvaret skall kunna fortgå under en kortare tid, eventuellt med mindre inskränkningar.

Inom slutlagret anordnas ett dränagesystem för samling och bortledning av inläckande grundvatten och spillvatten från vattenspolning o d. Förorenat vatten från verkstäder, personalutrymmena etc omhändertas i ett särskilt avloppssystem.

Tunnlarnas bottnar utformas så att inläckande vatten samlas i en ränna och leds till pumpgropar belägna i transporttunnlarna. Groparna är försedda med särskilda kamrar för avskiljning av slam.

Också i serviceutrymmena samt vid schakten anordnas pumpgropar. Från samtliga gropar pumpas vattnet i rörledningar till central-schaktet och vidare till närmaste lämpliga recipient på marken. Pumpningen genom schaktet sker i två etapper via en pumpanläggning på halva schakthöjden.

Pumpgroparnas antal och storlek bestäms slutgiltigt med ledning av observerat inläckage i samband med påbörjad utbyggnad av anläggningen. Groparna jämte tillgängliga schaktutrymmen under förrådets bottenivå skall ha tillräcklig kapacitet för att förhindra översvämning av tunnlarna vid extrema flöden och vid driftstörningar. Pumparna manövreras automatiskt. Larm utlöses vid onormala vattenstånd.

System som är speciellt betydelsefulla för driften (ventilation, dränering, hissar, nödsystem etc) dieselsäkras.

6.3 SAND/BENTONIT-FYLLNINGENS EGENSKAPER

Materialet för återfyllnad av deponeringshålen och för försegling av tunnlar och schakt (se 6.6) bör ha följande egenskaper:

- bärighet; för att hålla kapslarna i läge i deponeringshålen och för att hålla tillbaka bergstycken, som kan spaltas av från bergytan.
- plasticitet; för att bibehålla materialets homogenitet vid eventuella mindre rörelser i berggrunden.
- låg permeabilitet; för att minimera grundvattenflödet i deponeringshål samt i återfyllda tunnlar och schakt.
- god värmeledningsförmåga; för att till berget överföra den värme som utvecklas av avfallskapseln utan att kapseln får alltför hög temperatur.
- hög jonbyteskapacitet; för att fördröja vandringen av radioaktiva nuklider som kan komma att läcka ut från kapseln.
- långtidsstabilitet mot vittring, cementering eller andra förändringar; för att materialet skall bibehålla ovan nämnda egenskaper under förvarets livslängd.

Materialet skall dessutom inte ha en negativ inverkan på kapselns korrosionsbeständighet.

Utförda prov och undersökningar /6-5 till 6-13/ har visat att en blandning av kvartssand och bentonit i stort sett har de ovan angivna egenskaperna. Båda materielen finnes tillgängliga i de erforderliga kvantiteterna. De kan utan svårighet blandas till ett homogent material t ex i en vanlig betongblandare.

För att blandningen skall ha en god bärighet och värmeledningsförmåga och en låg permeabilitet är det önskvärt att sandfraktionerna och bentoniten blandas i sådana proportioner att en god (moränliknande) kornstorleksfördelning erhålles.

Karakteristiskt för bentoniten är att den har en ovanligt stor svällningsförmåga när den tar upp vatten. Den har dessutom en hög jonbyteskapacitet.

En hög bentonithalt ökar blandningens plasticitet och dess jonbytesförmåga. Den förbättrar också materialets täthet genom att dess svällning fyller porerna i materialet. Samtidigt minskar

emellertid blandningens bärighet och värmeledningsförmåga och den blir svårare att hantera.

Prov har visat att blandningar av 80-90% kvartssand och kvartsfiller och 10-20% bentonit ger en god avvägning av de önskade egenskaperna.

Den bentonit som används är natriumbentonit (Volclay Mx 80 eller likvärdigt) i granulerad form med en kornstorleksfördelning av 0,07 - 0,8 mm. Den har goda svällegenskaper även efter uppvärmning till 300°C.

Sanden är ren kvartssand (98% SiO₂) med en kornstorleksfördelning av 0,063 - 2 mm. Den har en sintringspunkt (1 400°C) långt över här aktuella temperaturer.

Resultaten från utförda fält- och laboratorieprov med blandmaterialet kan sammanfattas på följande sätt:

- Hållfasthet och deformationsegenskaperna är ungefär samma som för en lerig morän. Materialets bärighet är uppbyggd av en kohesionsdel och en friktionsdel. En ökning av bentonithalten ökar kohesionen och minskar friktionen.
- Permeabiliteten varierar mellan 10⁻⁸ och 10⁻¹¹ m/s vid förhindrad svällning. Vid fri svällning blir permeabiliteten högre.
- Värmeledningsförmågan ligger mellan 0,3 och 1,7 W/m°C när vattenhalten varierar mellan 5 och 25%.
- Den maximala torrdensiteten är 1,90 - 2,00 t/m³ vid en optimal vattenhalt av 8-12%.
- Den fria svällningen när materialet är i kontakt med vatten ger en ökning av den ursprungliga volymen av 5-20%. Svällningstrycket vid förhindrad svällning är i storleksordningen 30-150 kPa.

Utredningar som utförts för KBS räkning har visat, att de egenskaper som har betydelse för bärighet, täthet, värmeledningsförmåga och jonbyte inte kommer att förändras i någon väsentlig grad under mycket långa tidsperioder /6-8 och 6-12/.

Fyllnadsmaterialet av sand och bentonit kan påverka grundvattnet kemiskt genom att fungera som buffert för pH och en stabilisering till ett värde mellan 8 och 9 kan, enligt pågående utredningar, förutses vid aktuella temperaturer (jfr avsnitt 4.3.3).

6.4 DRIFT AV ANLÄGGNINGEN

Deponering av kapslar börjar när ungefär en fjärdedel av det totala antalet förvaringstunnlar har färdigställts. Anläggningen har utformats på ett sådant sätt att de fortsatta byggnadsarbetena utföres helt åtskilda från transporten och deponeringen av kapslar. Intill mitt-tunneln är förvaringstunnlarna avstängda med en betongvägg, som är försedd med en port och med spjäll för reglering av ventilationen i förvaringstunneln.

Utrustningen för transport och hantering av kapslar och för återfyllning av deponeringshålerna är rälsbunden. Den flyttas med en elektrisk traktor. Efter det att deponeringen har avslutats i en tunnel flyttas rälsen till nästa tunnel.

Endast några tiotal personer kommer att erfordras för anläggningens drift (exklusive byggnadsarbetena).

Ända tills det att slutförvaret skall förseglas kan de förvaringstunnlar, i vilka kapslar har deponerats, inspekteras och kontrolleras och mätningar av bergspänningar, temperaturer, inläckningen av grundvatten etc utföras.

Anläggningen kommer att kontrolleras av myndigheter som Statens Kärnkraftinspektion och Statens Strålskyddsinstitut på liknande sätt som en kärnkraftstation. Den kommer att utformas i enlighet med de föreskrifter som dessa myndigheter utfärdar och i samråd med berörda personalorganisationer.

Beträffande arbetsmiljö och skyddsfrågor hänvisas till III:7.

6.5 KVALITETSKONTROLL

Förutom den kontroll av berget och av grundvattnet, som utföres under byggnads- och driftperioden, kommer kvalitetskontrollen i huvudsak att inrikta sig på att verifiera sand/bentonit-fyllningens egenskaper. Detta sker genom provtagning och analys av levererade material, av den färdiga blandningen vid blandstationen och av den utförda fyllningen. Kontrollförfarandet liknar det som användes bl a för tätkärnan i en jorddamm. Utrustningen för kompaktering av fyllnadsmaterialet i deponeringshålen utrustas även med instrument som anger och registrerar den uppnådda packningsgraden.

För övrig kvalitetskontroll hänvisas till vad som redovisats under 5.5.

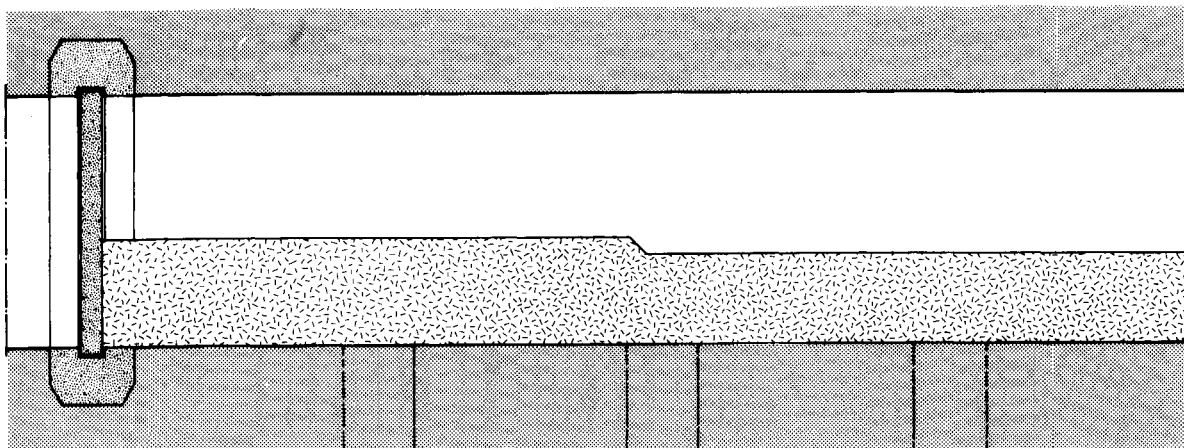
6.6 PERMANENT TILLSLUTNING

När alla kapslar, för vilka slutförvaret utformats, har blivit deponerade, kan anläggningen hållas öppen och kontrollerad så länge som övervakning samt underhåll av dränerings- och ventilationssystem och andra väsentliga hjälpsystem anses önskvärt. Anläggningen kan därefter förseglas och till slut överges.

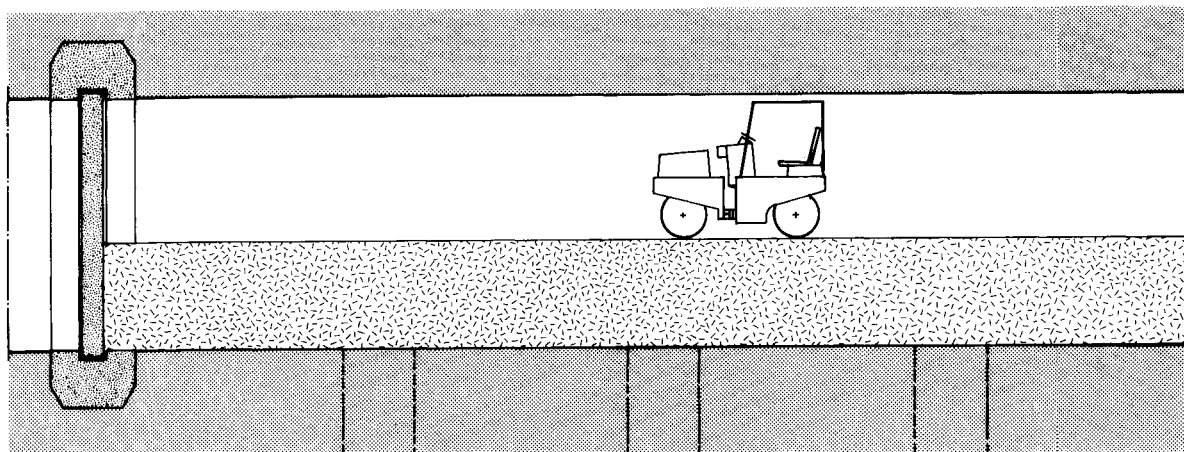
Vid förseglingen fylles tunnlar, schakt och borrhål med en blandning av sand och bentonit liknande den som använts för att fylla deponeringshålen.

I tunnarna utlägges fyllningen i lager och packas med vibrovältar. Materialet tillföres med transportband och sprides med traktorer. Innan arbetet påbörjas rengöres tunnelgolvet. Om så önskas kan därvid också locken över deponeringshålen med tillhörande ok avlägsnas.

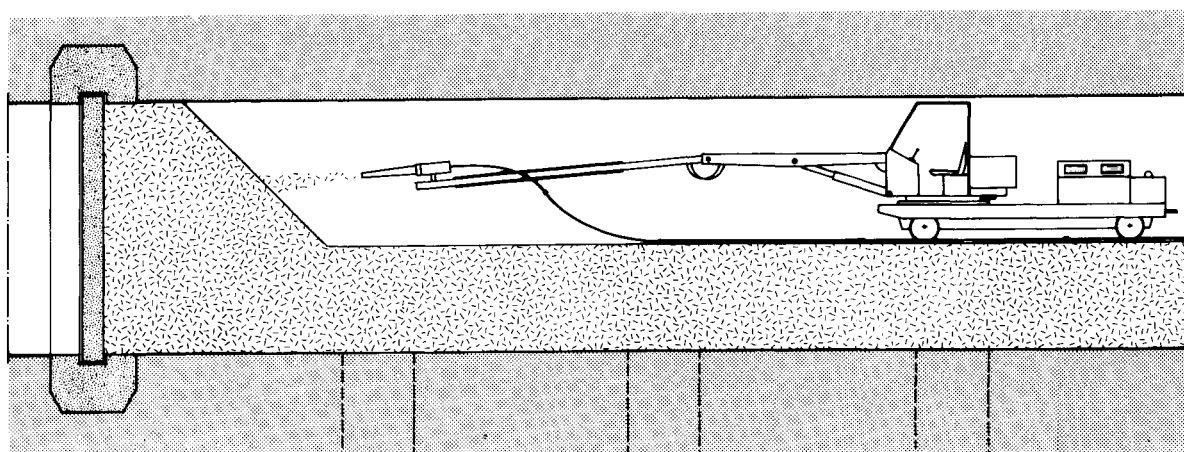
I den övre delen av tunnarna appliceras fyllningen med en sprutteknik som liknar den som sedan länge används för inklädnad av tunneltak med betong. Utförda prov /6-4/ har visat att denna teknik är väl tillämpbar för sprutning av sand/bentonit. Spruttekniken och bentonitens svällförmåga gör det möjligt att uppnå en fullständig uppfyllnad av tunnelsektionen med en hög (70-80%) packningsgrad. Se fig 6-7 och 6-8.



UTLÄGGNING

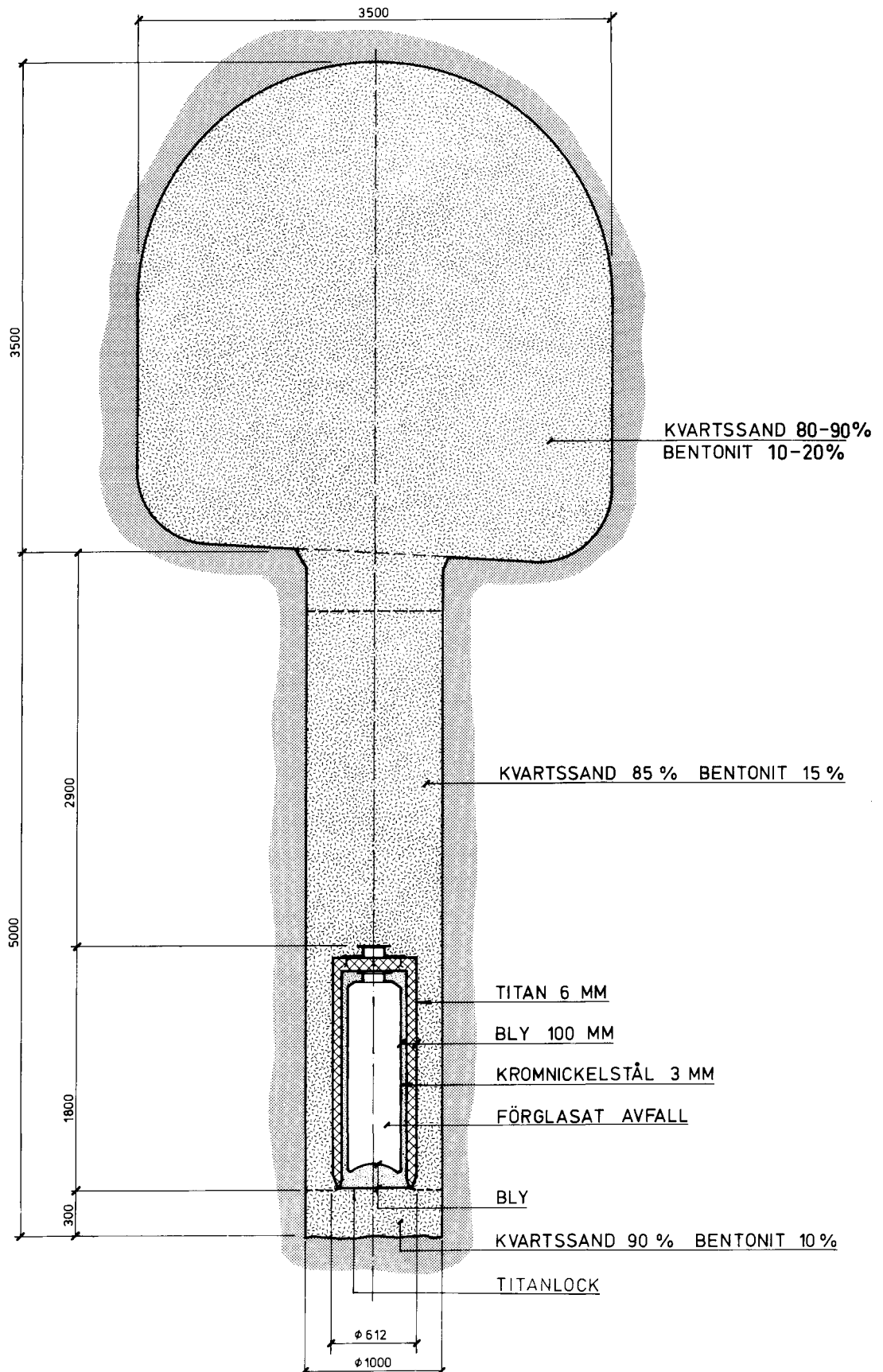


KOMPaktering



SPRUTNING

Figur 6-7. Vid försegling av slutförvaret fyller man tunnarna med en blandning av kvartssand och bentonit. Det undre lagret utläggs med traktorer och vibrovältas. Den övre delen av tunneln fylls med sprutning.



Figur 6-8. Förseglat slutförvar.

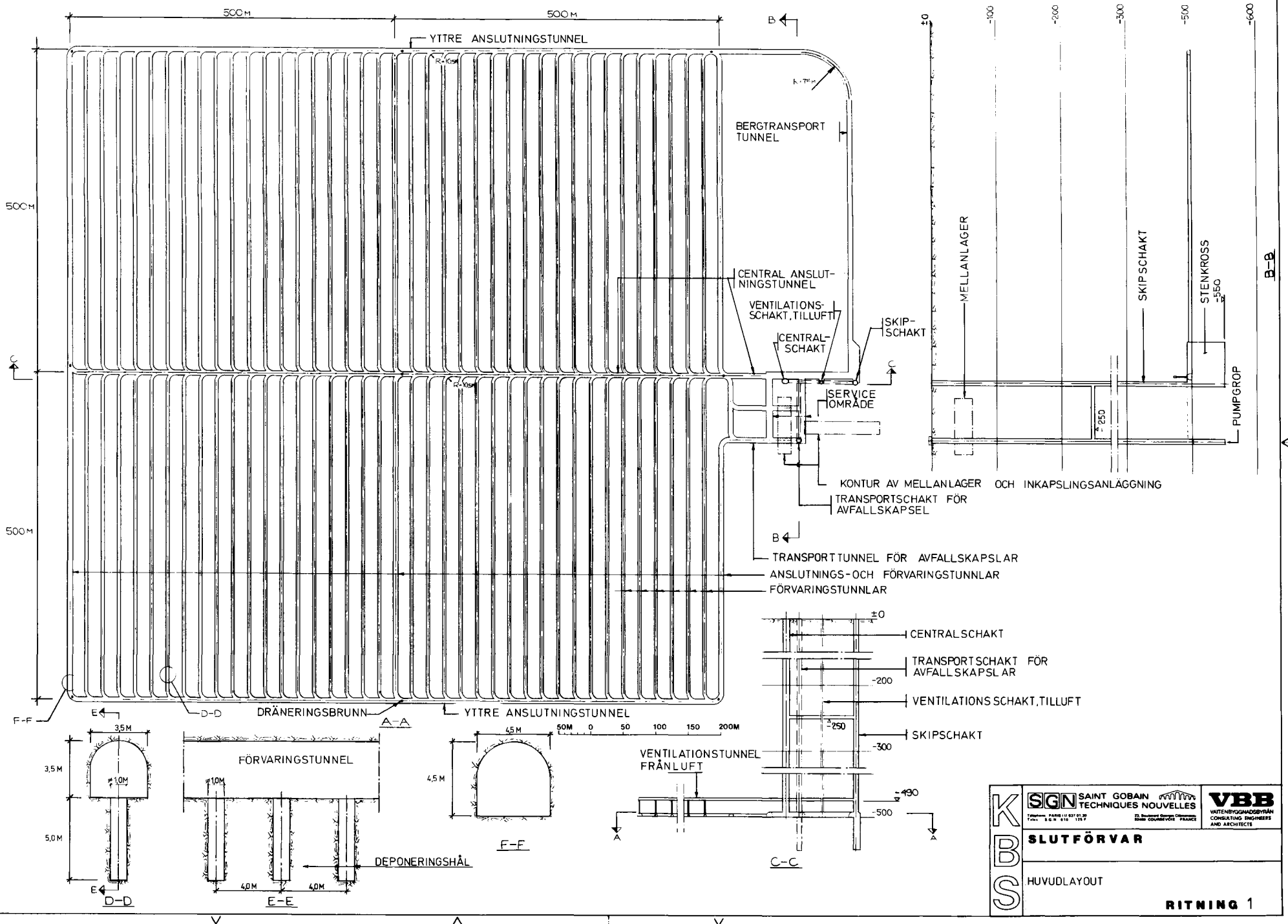
En blandning av sand och bentonit kommer även att användas för återfyllningen av vertikala schakt. I den övre delen av schakten kan även en finkornig morän eventuellt användas. Hål, som borrats i samband med förundersökningen av bergformationen, fylles med ren bentonit.

På detta sätt fylles alla hålrum i berget med ett material som har minst lika låg permeabilitet som det omgivande berget. Bentonitens jonbytande egenskaper kommer därvid att utgöra ett ytterligare hinder mot en vandring av radioaktiva nuklider i fyllnads materialet.

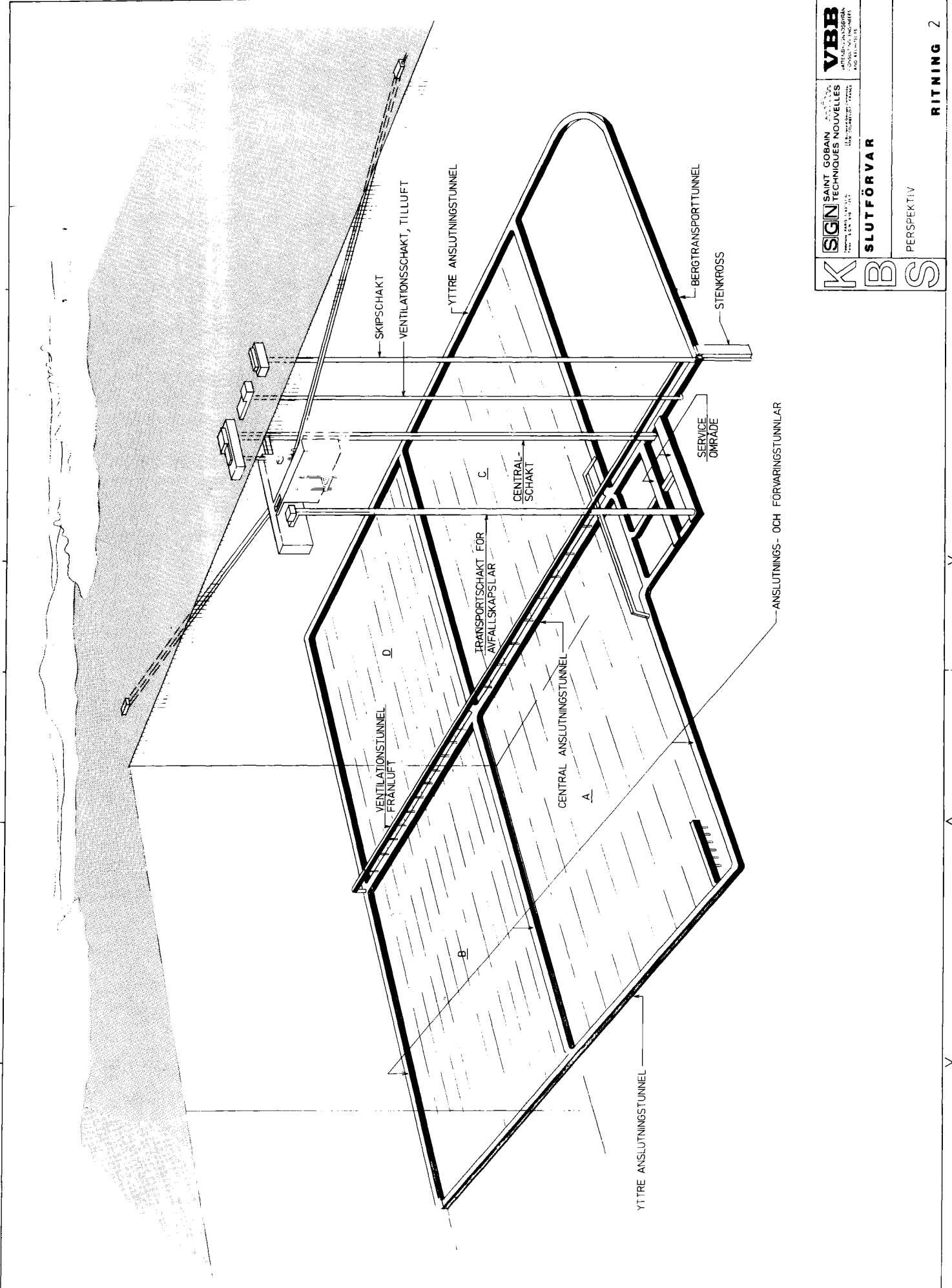
Under en viss tid efter tillslutningen av slutförvaret förutses att observationer och mätningar av grundvattensystemet, bergspänningar, temperaturer etc kommer att utföras. Ett program för detta kommer att utarbetas i samarbete med berörda myndigheter.

6.7 RITNINGSFÖTECKNING FÖR SLUTFÖRVAR

RITNING	1	HUVUDLAYOUT
"	2	PERSPEKTIV
"	3	FÖRLÄGGNINGSEXEMPEL
"	4	UTBYGGNADSETAPPER
"	5	TRANSPORTVÄGAR
"	6	VENTILATION
"	7	FÖRVARINGSTUNNLAR
"	8	FÖRSEGLAT FÖRVAR
"	9	TRANSPORT AV AVFALLSKAPSEL FRÅN MELLANLAGER TILL SLUTFÖRVAR
"	10	TRANSPORT OCH DEPONERING AV AVFALLSKAPSEL I SLUT- FÖRVAR
"	11	FÖRSEGLING AV DEPONERINGSHÅL
"	12	FÖRSEGLING AV TUNNLAR

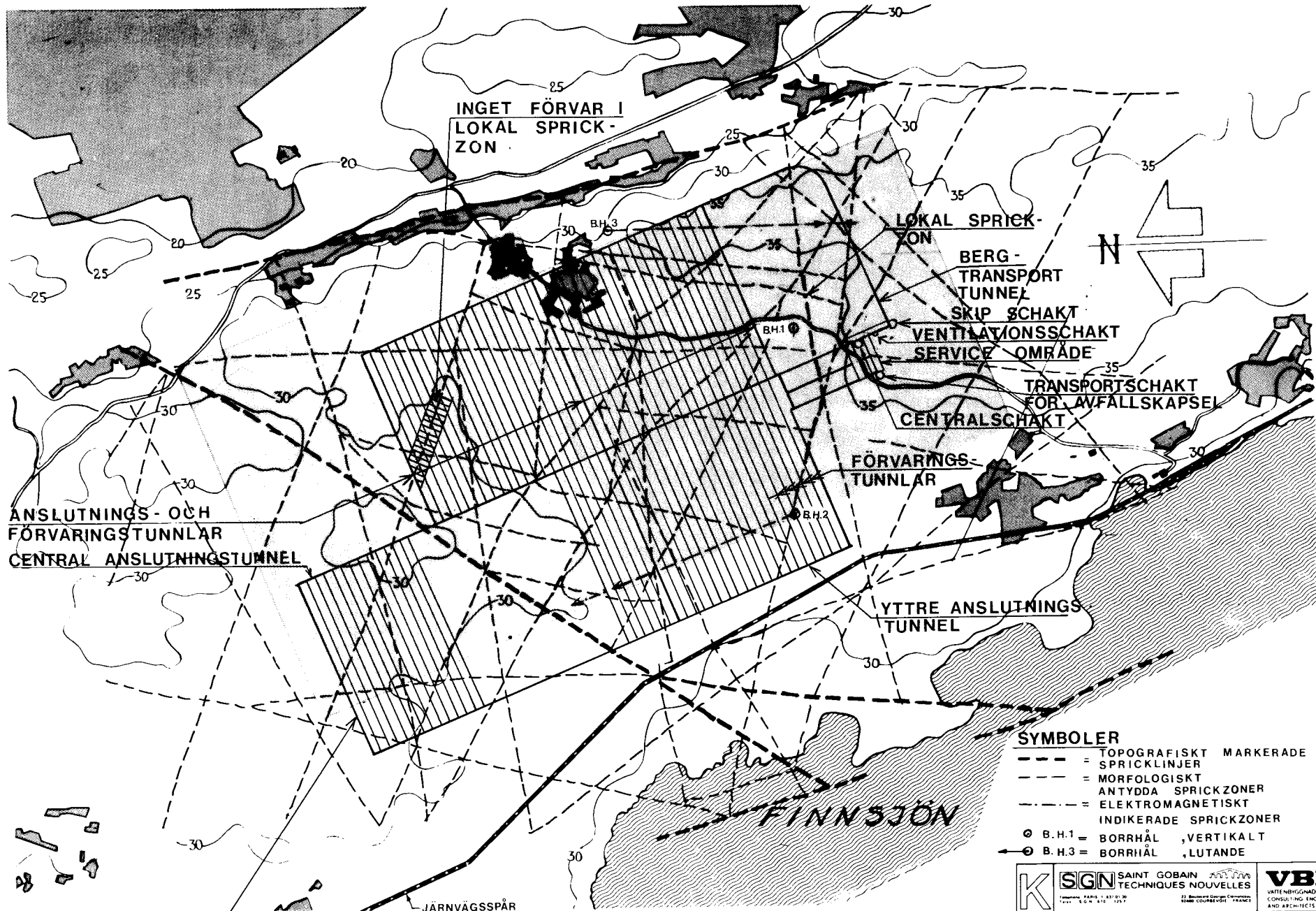


K S B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>TÅRNÄS, PARIS 11 937 91 30 TEL. 0 6 9 15 15 1</small>	VBB VÄTTERINGSGÅRDSDYNSÄM CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS
	SLUTFÖRVAR	
	HUVUDLAYOUT	
RITNING 1		



KBS KONTOR BOKS SÄL	SGN SAINT GOBAN TECHNIQUES NOUVELLES <small>19000, 124, 144, 147 022, 024, 025, 026, 027, 028, 029, 030, 031, 032, 033, 034, 035, 036, 037, 038, 039, 040, 041, 042, 043, 044, 045, 046, 047, 048, 049, 050, 051, 052, 053, 054, 055, 056, 057, 058, 059, 060, 061, 062, 063, 064, 065, 066, 067, 068, 069, 070, 071, 072, 073, 074, 075, 076, 077, 078, 079, 080, 081, 082, 083, 084, 085, 086, 087, 088, 089, 090, 091, 092, 093, 094, 095, 096, 097, 098, 099, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000</small>	VBB VENTILATIONSSYSTEMER 400 84 11 15
	SLUTFÖRVAR	PERSPEKTIV

RITNING 2



ANSLUTNINGS- OCH
FÖRVARINGSTUNNLAR
CENTRAL ANSLUTNINGSTUNNEL

INGET FÖRVAR I
LOKAL SPRICK-
ZON

LOKAL SPRICK-
ZON

BERG-
TRANSPORT
TUNNEL

SKIP SCHAFT
VENTILATIONSSCHAFT
SERVICE OMRÅDE

TRANSPORTSCHAFT
FÖR AVFALLSKAPSEL
CENTRALSCHAFT

FÖRVARINGS-
TUNNLAR

YTTRE ANSLUTNINGSTUNNEL

FINNSJÖN

JÄRNVÄGSSPÅR

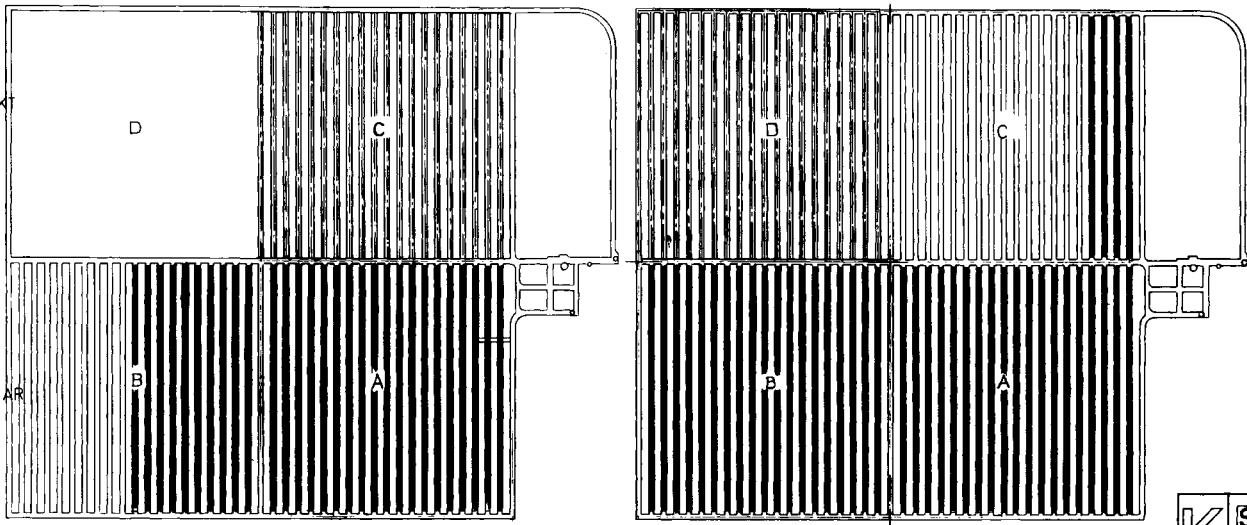
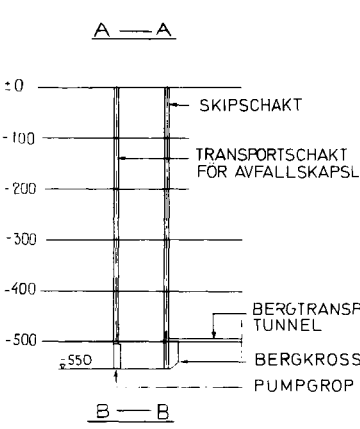
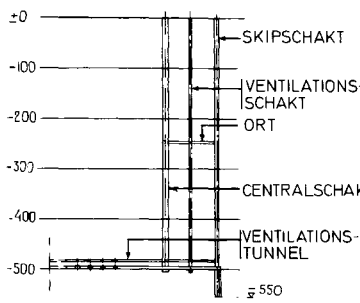
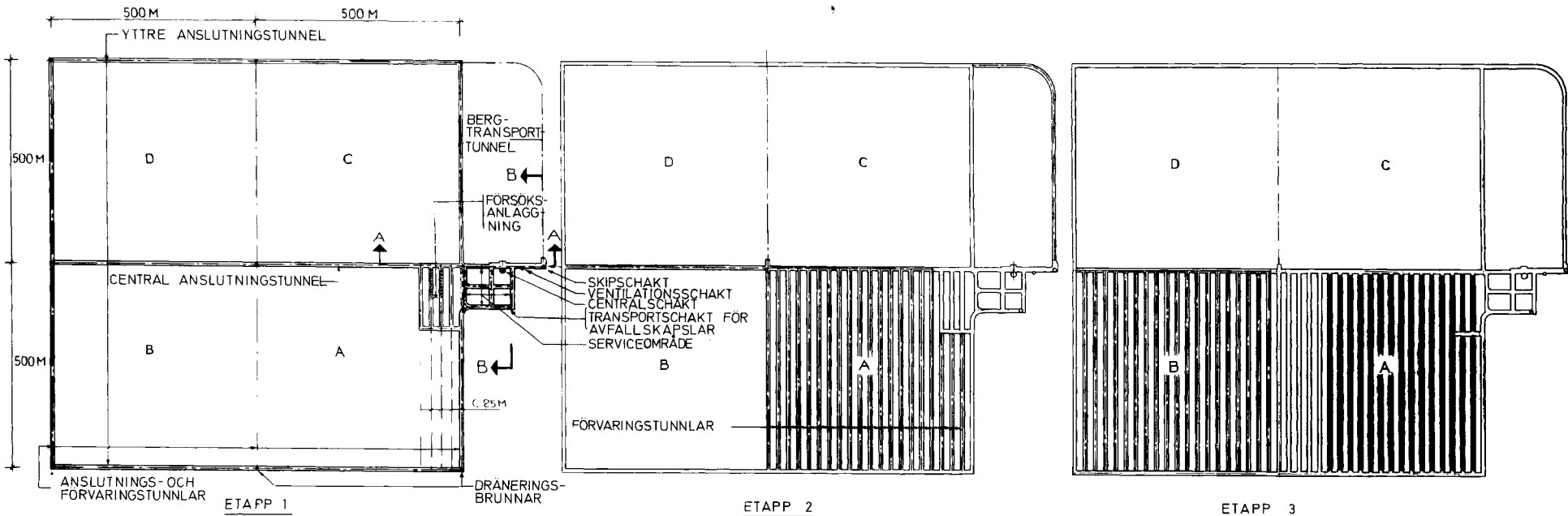
DEL AV FÖRVARET AVSKILT
AV SPRICKZON



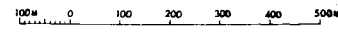
SYMBOLER

- TOPOGRAFISKT MARKERADE
- - - SPRICKLINJER
- - - MORFOLOGISKT
- - - ANTYDDA SPRICKZONER
- - - ELEKTROMAGNETISKT
- - - INDIKERADE SPRICKZONER
- ⊙ B.H.1 = BORRHÅL, VERTIKALT
- ⊙ B.H.3 = BORRHÅL, LUTANDE

K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>14 Avenue de la République - 92000 Nanterre - FRANCE</small>	VBB VÄTTE NERVENINGSBYRÅN CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS
	SLUTFÖRVAR	
	FÖRLÄGGNINGSEXEMPEL FINNSJÖN	
RITNING 3		



ETAPP	ÅR	UTSPRÄNGNING	DEPONERING
1	1-4	SCHAKT FÖRSÖKSANLÄGGNING, ANSLUTNINGSTUNNLAR	FÖRSÖKSANLÄGGNING
2	4-7	OMRÅDE A	
3	7-13	OMRÅDE B	OMRÅDE A 70%
4	13-14,5	OMRÅDE C 35%	OMRÅDE A klar
5	14,5-18	OMRÅDE C klar	OMRÅDE B 45%
6	18-22	OMRÅDE D 75%	OMRÅDE B klar
7	22-25	OMRÅDE D klar	OMRÅDE C 20%
8	25-29,5		OMRÅDE C klar
9	29,5-37		OMRÅDE D klar



KBS

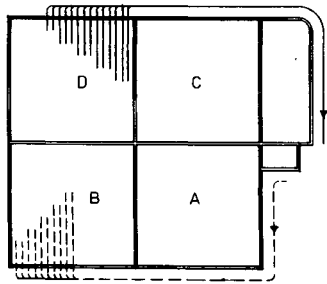
SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES
17000 - PARIS 11 - 91 011 11 11
 17000 - PARIS 11 - 91 011 11 11

VBB
WÄTTERBYGGMÄSTAREN
 CONSULTING ENGINEERS
 AND ARCHITECTS

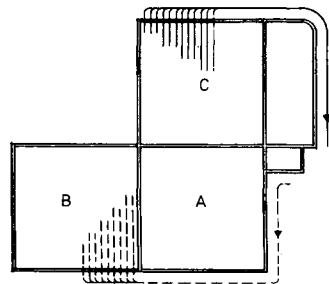
SLUTFÖRVAR

UTBYGGNADSETAPPER

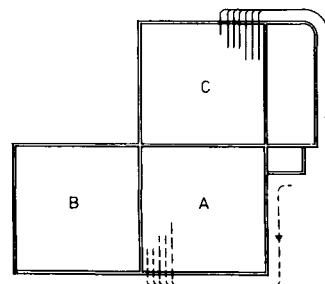
RITNING 4



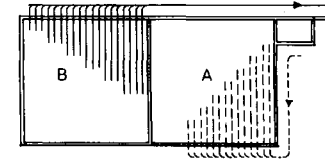
ETAPP 6



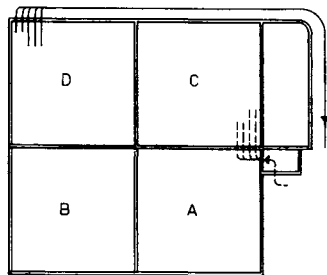
ETAPP 5



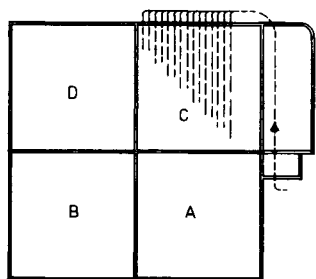
ETAPP 4



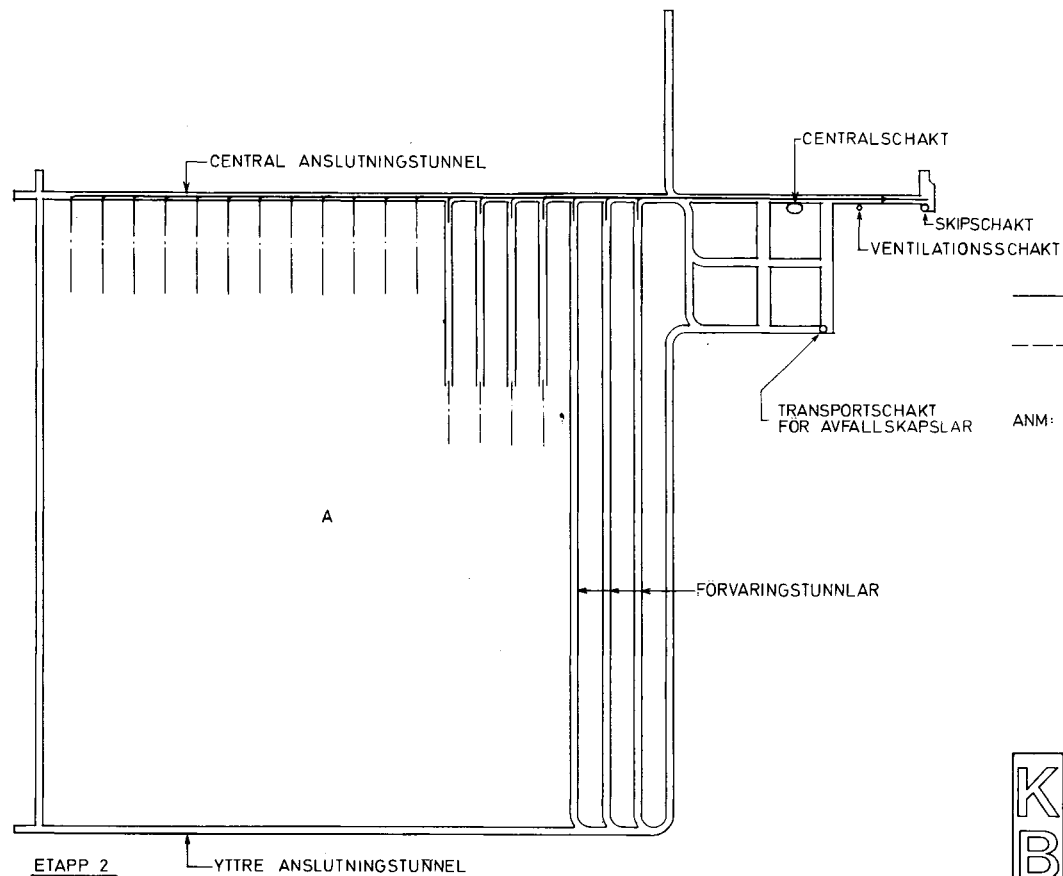
ETAPP 3



ETAPP 7



ETAPP 8

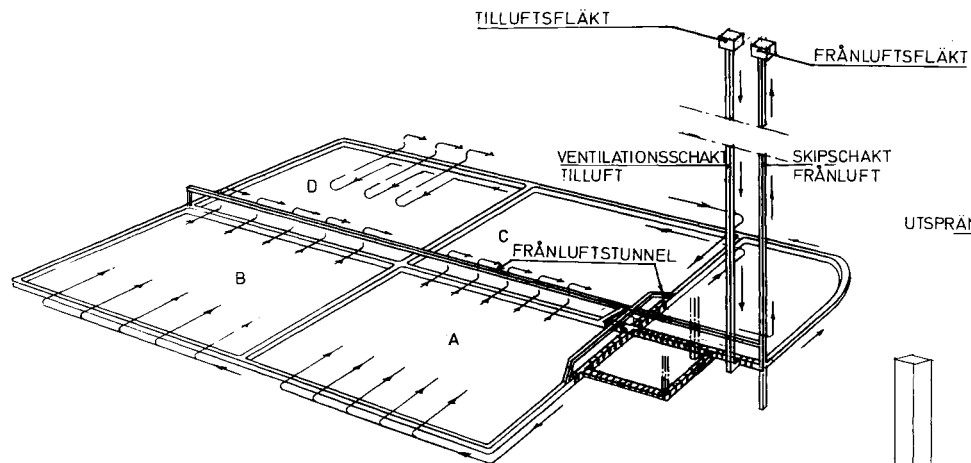


ETAPP 2

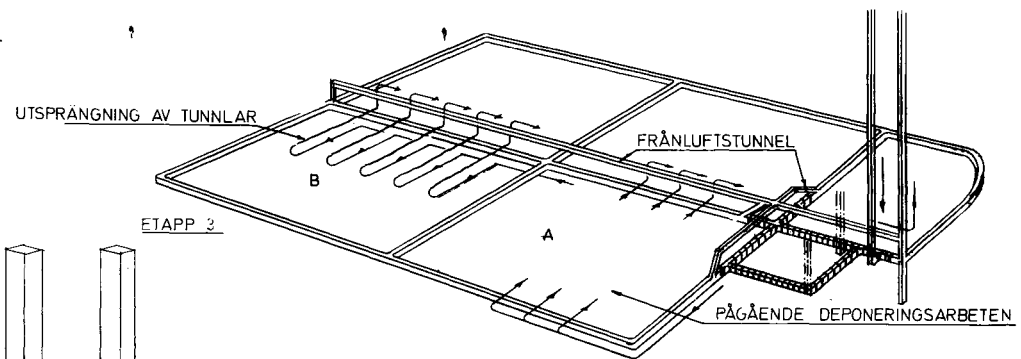
- RIKTNING FÖR BERGTRANSPORT
- - - - - RIKTNING FÖR TRANSPORT AV AVFALL

ANM: KONSTRUKTIONSETAPPER ENLIGT RITNING 1

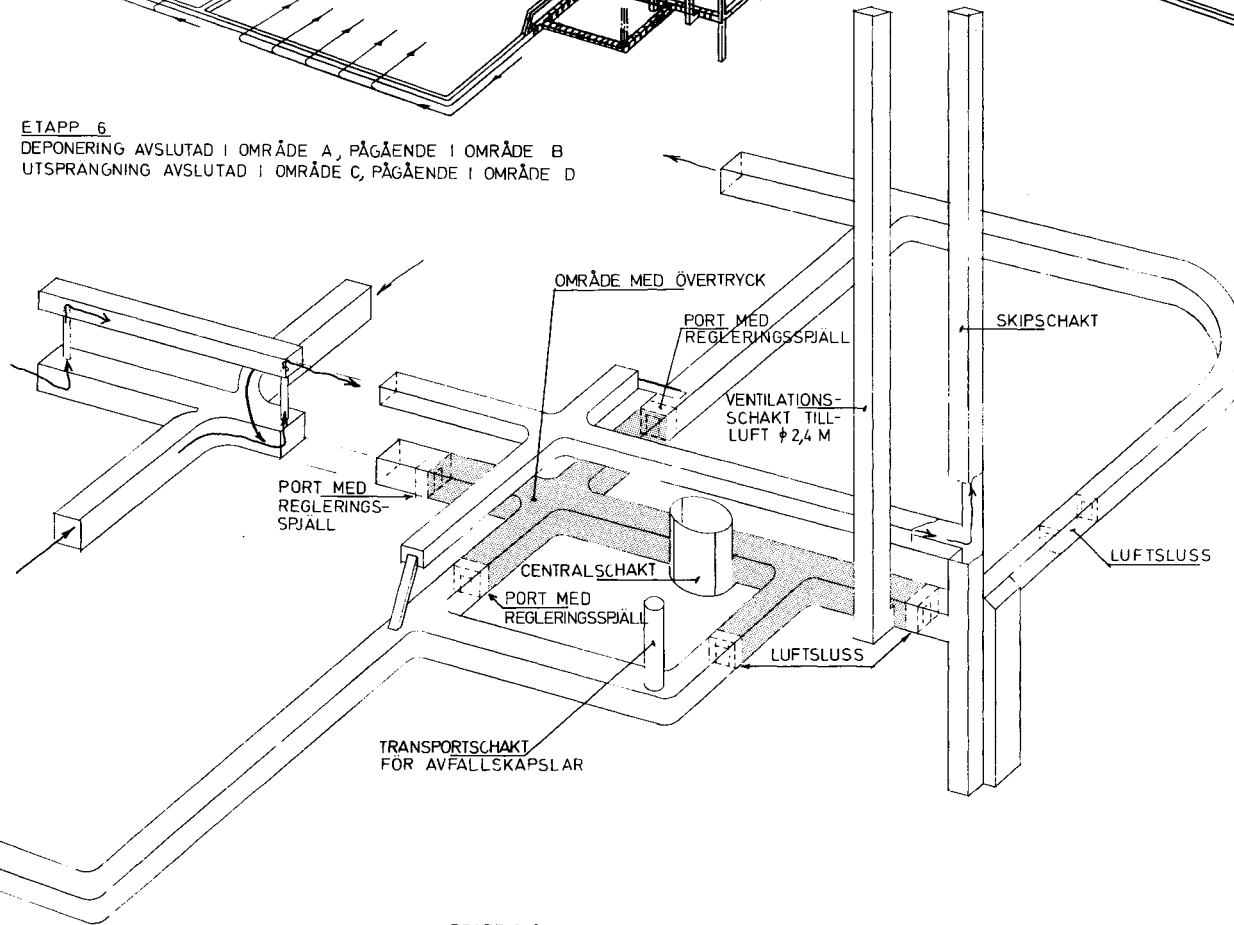
K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>TELEPHONE: PARIS (1) 87 87 30 TELEX: SGN 610 1957</small>	VBB VATTENBYGGNADSEKSPERTER CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS <small>22 Boulevard de la Chapelle 93400 COULBOURNET FRANCE</small>
	SLUTFÖRVAR	
	TRANSPORTVAGAR	
RITNING 5		



ETAPP 6
 DEPONERING AVSLUTAD I OMRÅDE A, PÅGÅENDE I OMRÅDE B
 UTSPRÄNGNING AVSLUTAD I OMRÅDE C, PÅGÅENDE I OMRÅDE D



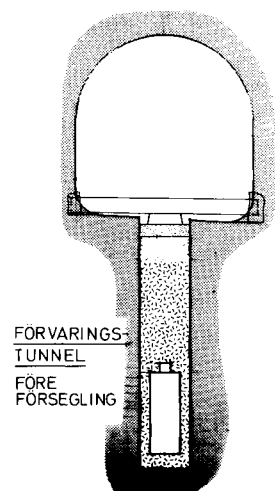
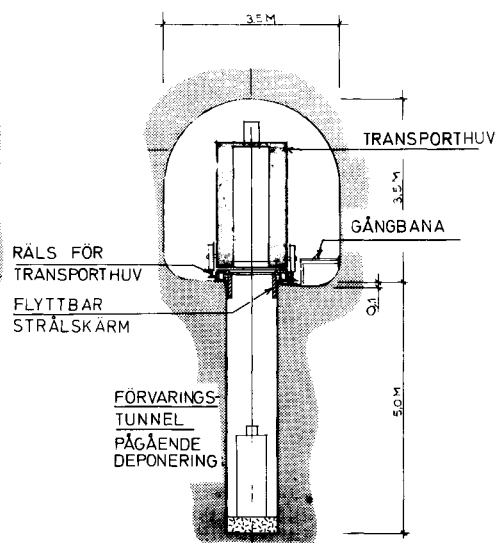
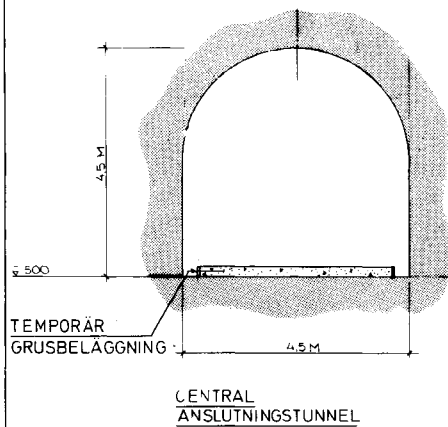
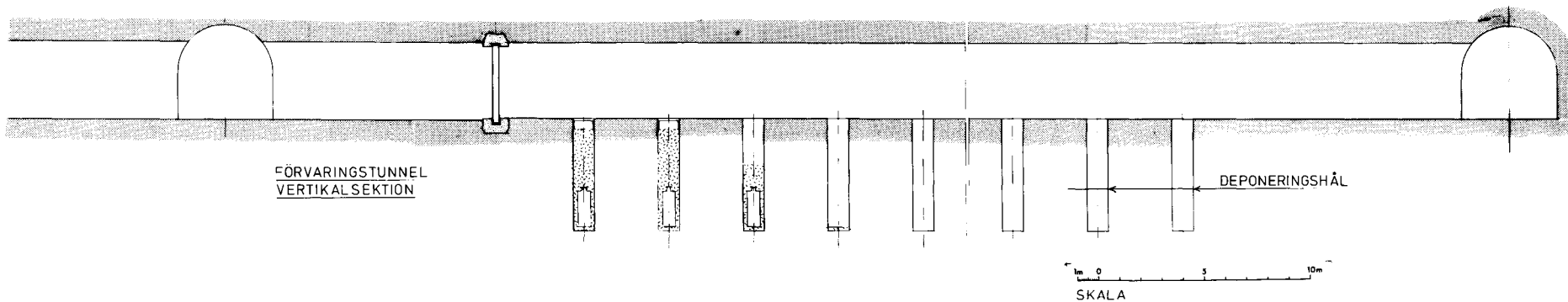
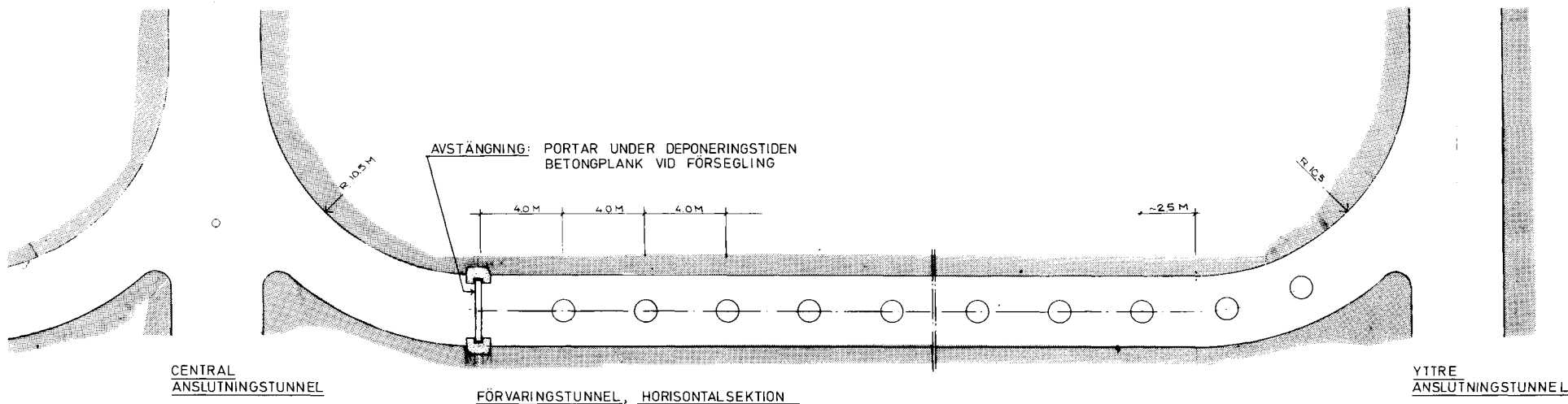
ETAPP 3



ETAPP 8-9

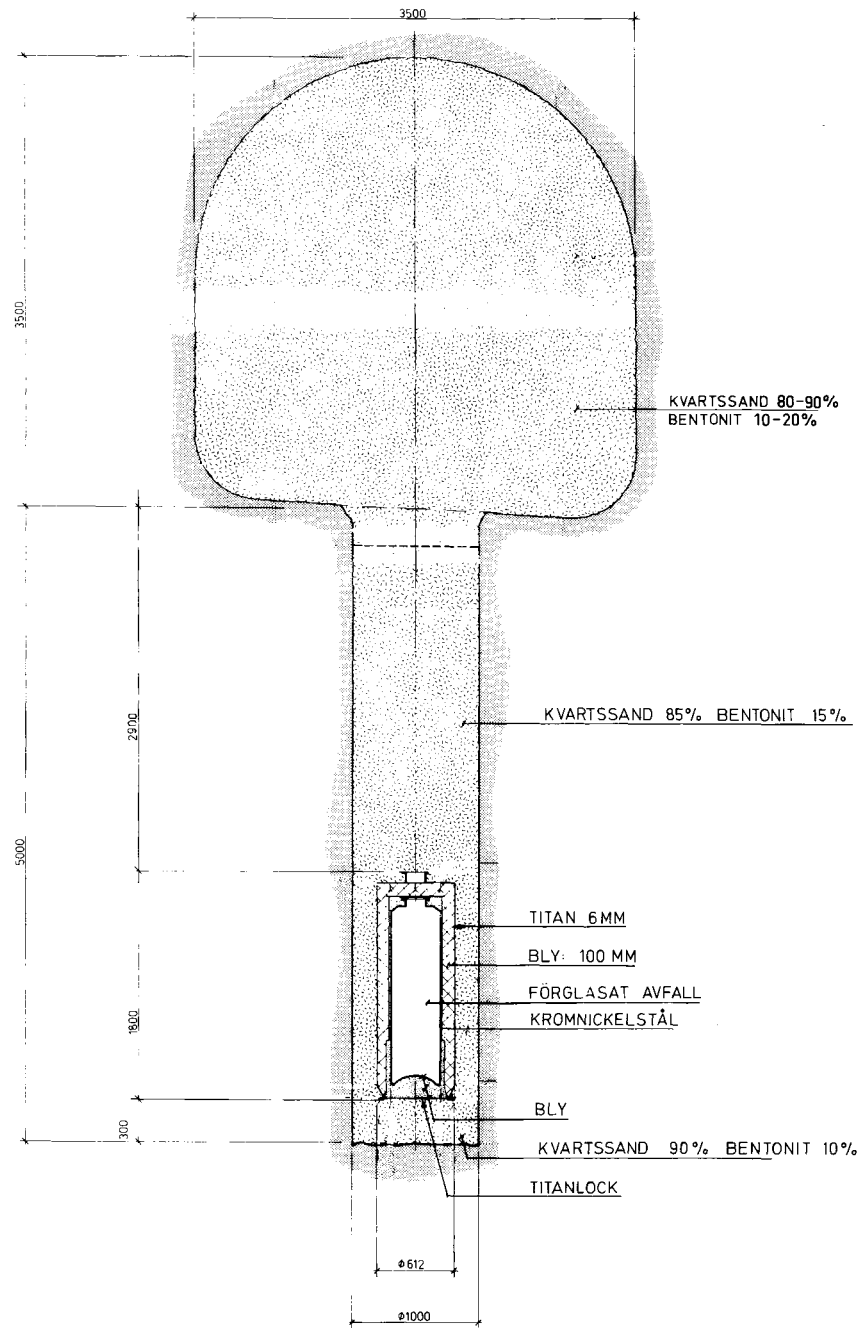
ANM: KONSTRUKTIONSETAPPER
 ENLIGT RITNING 1

K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>1 rue de la République - 92100 Nanterre - FRANCE - T. 01 1 47 33 91 30 - F. 01 1 47 33 91 31</small>	VBB <small>VATTEN- OCH VÄRME-TEKNIKER CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS</small>
	SLUTFÖRVAR	
	VENTILATION	
RITNING 6		



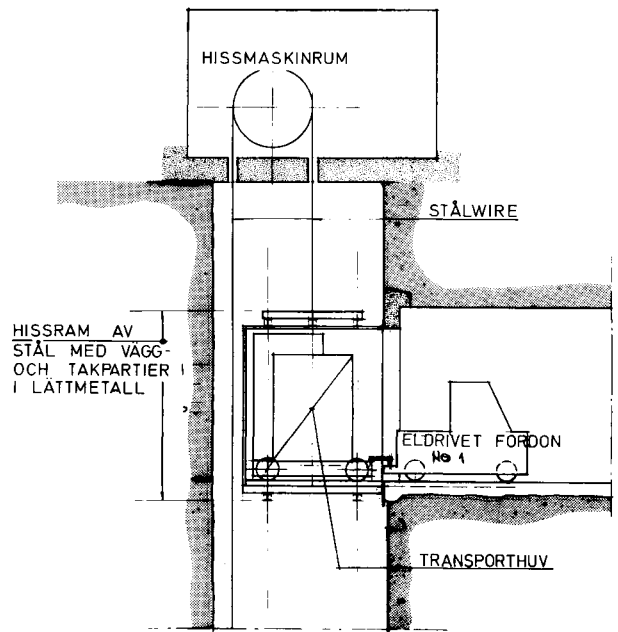
K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>1 avenue de la République, 92000 Nanterre, France</small>	VBB <small>VATTENVERKSGENOMSTRÖMNING CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS</small>
	SLUTFÖRVAR	
	FÖRVARINGSTUNNLAR	

RITNING 7

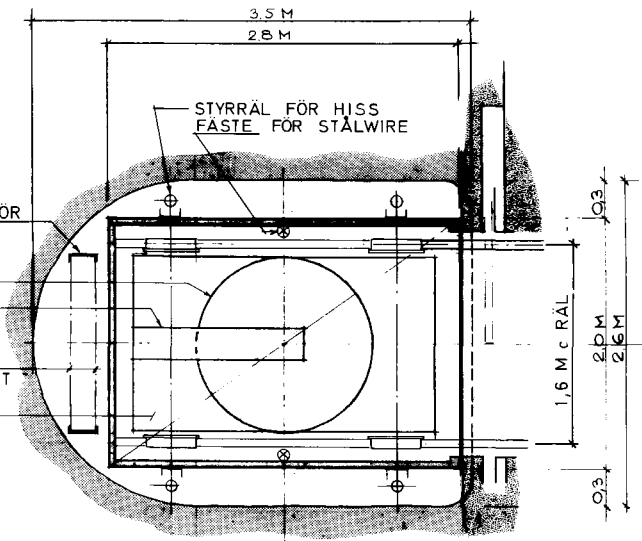


50 cm 0 2 m
SKALA

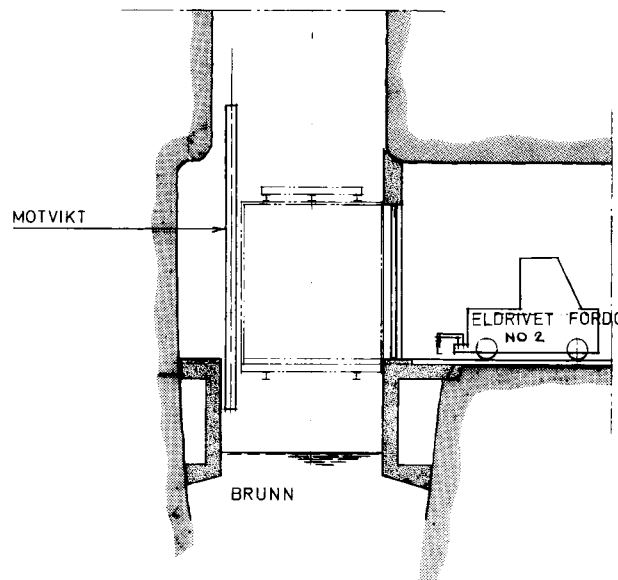
K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>15 avenue FABIENNE 93100 PARIS TEL: 01 41 39 12 81</small>	VBB <small>VATTENBESKÄDNING CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS</small>
	SLUTFÖRVAR	
	FÖRSEGLAT FÖRVAR	
RITNING 8		



-45 MELLANLAGRETS NIVÅ



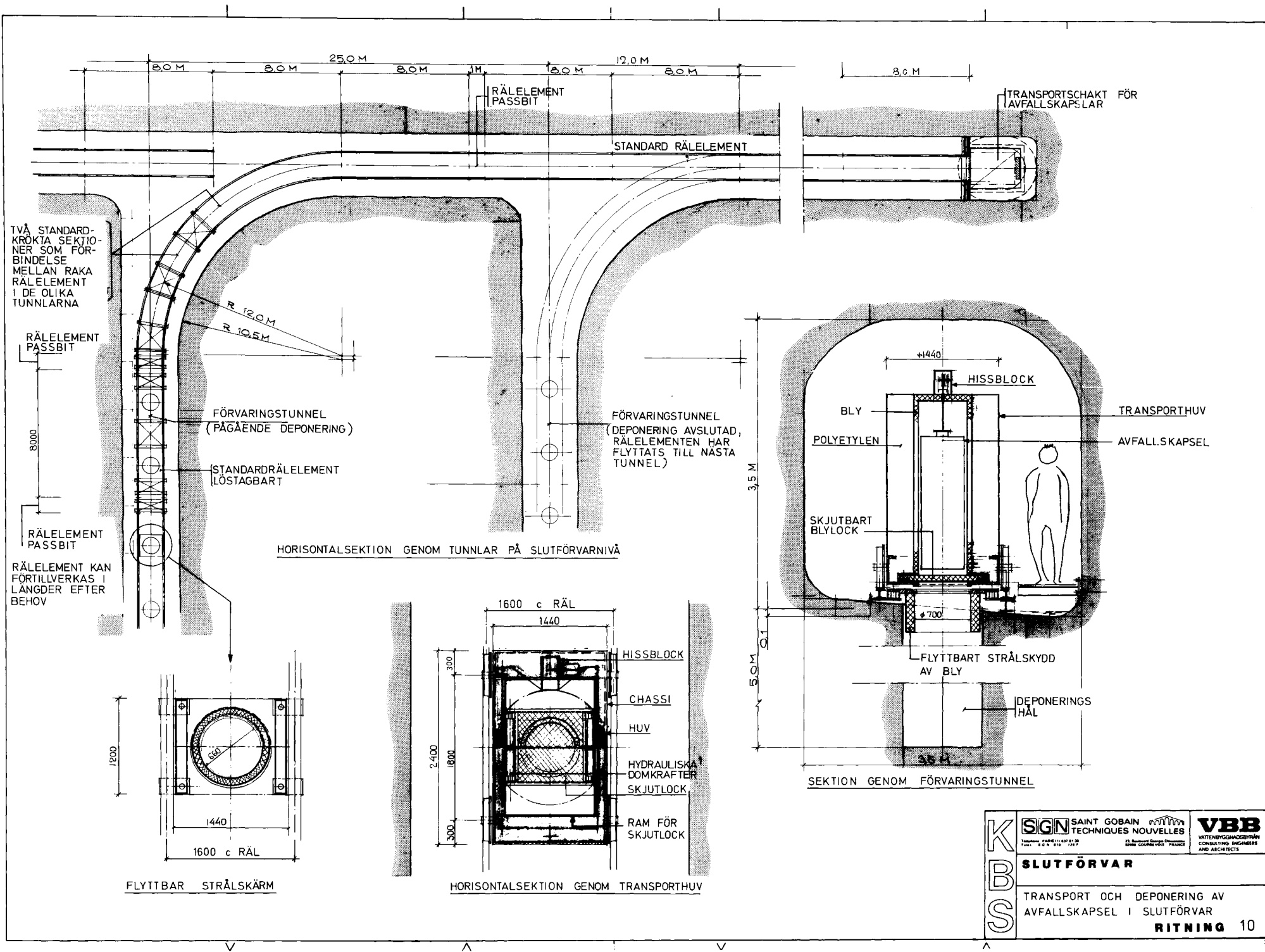
HUVUDSEKTION GENOM TRANSPORTSCHAKT

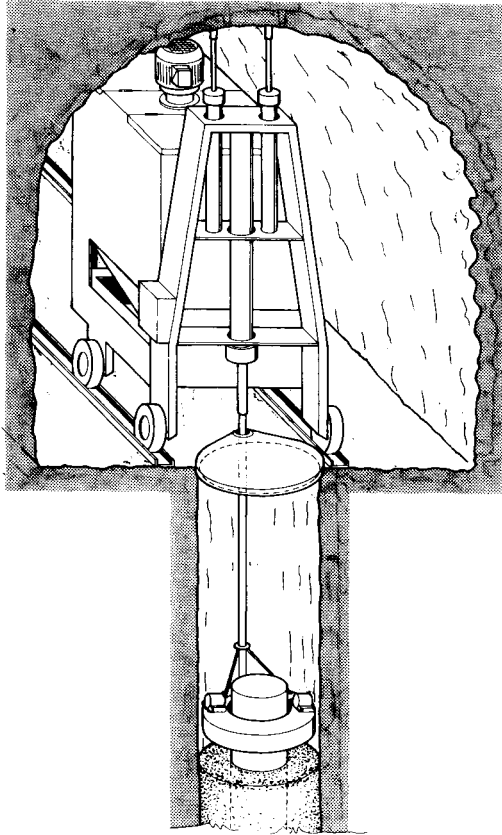


-500 SLUTFÖRWARETS NIVÅ

VERTIKALSEKTION GENOM TRANSPORTSCHAKT

K B S	 SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>TELEPHONE: PARIS 11 871 81 37 TELEFAX: S.G.N. 810 125 37</small>	 VBB VATTENBYGGMÄSSRYRAN CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS
	SLUTFÖRVAR	
	TRANSPORT AV AVFALLSKAPSEL FRÅN MELLANLAGER TILL SLUTFÖRVAR	
RITNING 9		

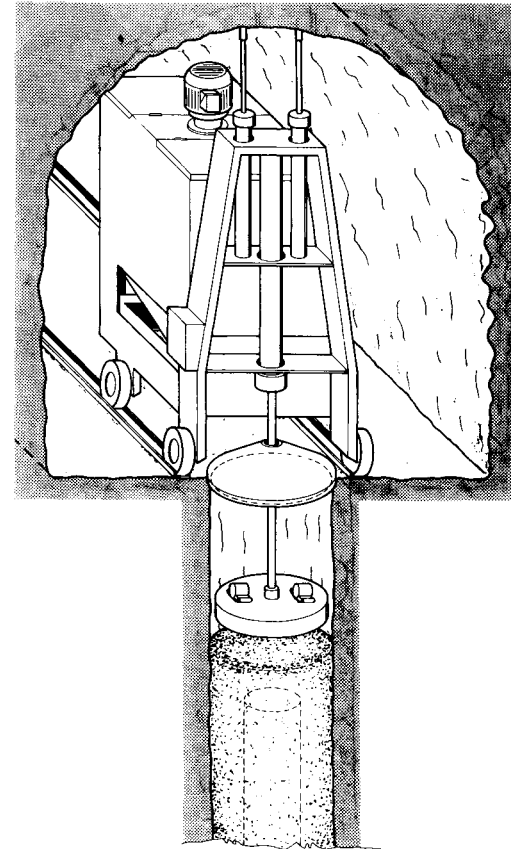




KOMPAKTERING AV SIDOBÄDD

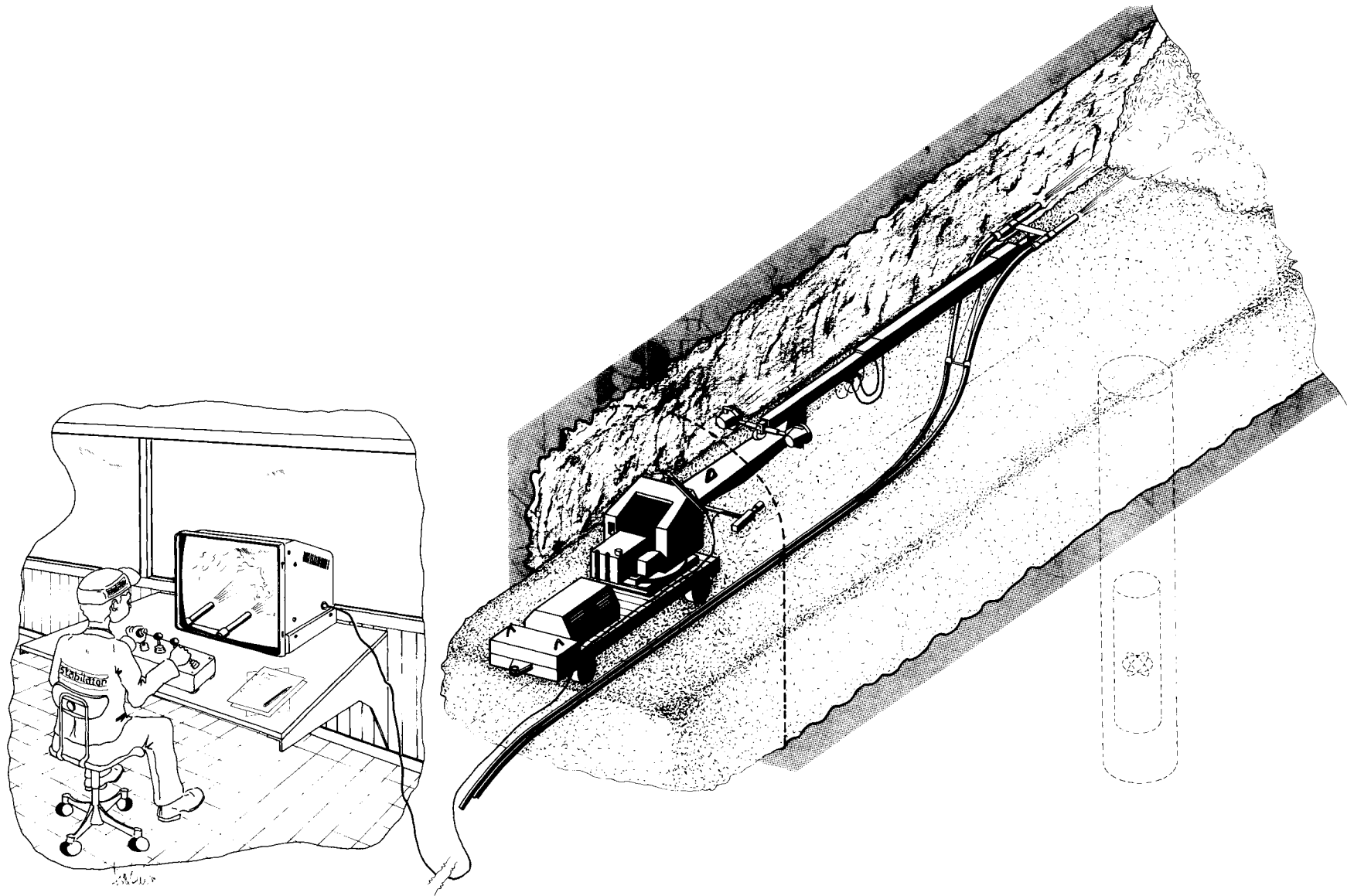


FYLLNING AV BUFFERTMATERIAL





KOMPAKTERING AV ÖVERBÄDD

K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>INDUSTRIE GÉNÉRALISTE</small>	VBB <small>WITENBYGGNINGSFÖRÄN CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS</small>
	SLUTFÖRVAR	
	FÖRSEGLING AV DEPONERINGSHÅL	
RITNING 11		



SPRUTNING AV BUFFERTMATERIAL

K B S	SGN SAINT GOBAIN TECHNIQUES NOUVELLES <small>Telephone: PARIS 11 837 81 36 Telex: S G N - 616 1267</small>	 VBB <small>WITENBERGSHALDENSTRASSE CONSULTING ENGINEERS AND ARCHITECTS</small>
	SLUTFÖRVAR	 <small>MASKINHÅLLNINGEN</small>
	FÖRSEGLING AV TUNNLAR	

RITNING 12

7 SKYDDSFRÅGOR

7.1 ARBETSMILJÖ

7.1.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter

Anläggningarnas omfattning kommer att framgå av den ansökan om lokaliseringstillstånd, som torde erfordras enligt byggnadslagen § 136 a. Tillåtlighetsprövning av sådan ansökan innebär bland annat, att berörda myndigheter och intresseorganisationer ges tillfälle till yttrande. Arbetsmiljöförhållanden bör därför uppmärksammas tidigt och om så erfordras bli föremål för bestämmelser i samband med tillståndsgivningen.

Utformning av byggnader och utrustning liksom anordnandet av arbetsplatsen under anläggnings- och driftskedet skall ske i enlighet med gällande lagar och föreskrifter. I avsikt att säkerställa en allsidig belysning av arbetshygieniska frågor innebär såväl arbetarskyddslagen som olika förordningar, att tillsynsmyndigheter och organisationen för arbetstagare skall beredas tillfälle till granskning av arbetsmetoder och arbetsplatsutformning före byggstart.

7.1.2 Arbetsmiljön under anläggningsskedet

Anläggningsarbetena för mellanlagret, inkapslingsstationen och slutförvaret kommer bl a att omfatta:

- Byggnader på markplanet för kontor, personalutrymmen, matsalar, verkstäder och lager, el-anläggningar, vattenverk, anordningar för avloppsvatten, ventilationsanläggningar och anläggningar för mottagning, behandling och lagring av buffert- och återfyllningsmaterial.
- Byggnader i bergrum med ca 30 m bergtäckning för mottagning, mellanlagring och slutlig inkapsling av avfallscylinrar.
- Bergrumsanläggning med serviceanordningar ca 500 m under marknivå för slutförvaring av avfall.

Vissa anläggningar på markplanet liksom den övre bergrumsanläggningen (mellanlagret) skall kunna tas i drift betydligt tidigare än den undre bergrumsanläggningen (slutförvaret). I slutförvaret kommer bergarbeten och deponering att pågå samtidigt. Någon distinkt tidsgräns mellan anläggnings- och driftskedet finns därför inte. Idrifttagna anläggningsdelar skall därför avgränsas från pågående anläggningsverksamhet.

Arbetsmiljöfrågorna kommer att vara av olika art inom arbetsplatsen. Vid de olika typerna av anläggningsarbete tillämpas emellertid enbart känd teknik, varför erfarenhet av aktuella miljöfrågor finns. Genom ett tidigt etablerat samarbete mellan anläggningsinnehavare, tillsynsmyndigheter och berörda arbetstagarorganisationer bör miljöfrågorna kunna lösas på ett tillfredsställande sätt.

7.1.3 Arbetsmiljön under driftskedet

Liksom under anläggningsskedet varierar bakgrunden till arbetshygieniska åtgärder med arbetsplats. De arbetshygieniska krav som ställs med hänsyn till anläggningarnas funktion är i allt väsentligt kända. Utformning av lokaler och installationer skall på normalt sätt prövas av tillsynsmyndigheter och arbetstagarorganisationer.

På markplanet kommer att finnas bl a huvuddelen av anläggningarna för vatten- och elförsörjning, vissa verkstäder samt anordningar för preparering av buffertmaterial och återfyllnadsmassor.

Mer begränsad erfarenhet kan föreligga ifråga om anordningarna för mottagning, lagring och behandling av buffert- och återfyllnadsmaterialet, som innehåller kvartssand och bentonit. Kvartssanden kommer att innehålla viss mängd finkornigt material, varför dammrisk kan förutses.

För att skydda personalen mot kvartsdamm skall dammkällorna kapslas samt lämplig ventilation anordnas. Övervakning av dammande processer skall ske från utrymmen med övertrycksventilation. Vid underhållsarbeten eller vid spill skall personalen skyddas genom användning av ändamålsenlig arbetsutrustning och personlig skyddsutrustning.

Färdigberedda buffert- och återfyllnadsmassor tillförs vatten före transport till användningsplatsen. Dammrisker föreligger således i huvudsak endast i samband med tillredningen.

I den övre bergrumsanläggningen sker mottagning, lagring och inkapsling av avfallscylindrar. Inkapslingen innebär bl a blygjutning och svetsning av titan. Arbete med avfallscylindrar och kapslar sker avståndsmanövrerat i strålskärat utrymme.

Bergarbeten beräknas huvudsakligen ske på samma sätt som vid normalt utförande av bergrum och drivning av tunnlar. Arbetsmiljöåtgärder kan således huvudsakligen baseras på känd teknik. Arbetsmaskiner och transportanordningar skall där så är möjligt drivas elektriskt.

7.2 RÄDDNINGSTJÄNST

7.2.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter

Enligt brandlagen omfattar räddningstjänst verksamhet som syftar till att vid brand, oljeläckage, ras, översvämning eller annat nödläge begränsa skada på människor, egendom och miljö. Enligt

lagen skall varje kommun svara för räddningstjänst och för förebyggande åtgärder inom kommunen.

Enligt brandlagens § 14 ankommer det på innehavare av byggnad, upplag eller annan anläggning, att anskaffa och underhålla nödvändiga redskap för släckning och livräddning vid brand samt att i övrigt vidtaga åtgärder som behövs för att förebygga och bekämpa brand, i den mån de ej medför oskäligen kostnad.

Länsstyrelsen fastställer kommunernas brandordning och får tillsammans med statens brandnämnd, som har att ge råd och anvisningar, betraktas som tillsynsmyndighet för kommunerna.

Generella regler för brandskyddsanordningar vid bl a uppförande av industrianläggningar ges i Svensk byggnorm, SBN 1975, utgiven av statens planverk. Reglerna är emellertid inte tillämpliga för underjordsanläggningen för slutförvar.

Granskning utföres normalt i samband med behandling av byggnadslovsärenden.

7.2.2 Anläggningsutformning

Det är ofta förenat med svårigheter att tillgodose utrymnings- och släckmöjligheterna på stora arbetsplatser under ett anläggningsskede. I samarbete med kommunens brandförsvaret kan det vara nödvändigt att organisera en brandförsvarsorganisation på arbetsplatsen.

Särskilda tillfälliga larm- och släckanordningar kan behöva installeras. De permanenta anläggningarna bör dock kunna tas i drift så snart som möjligt.

Speciell hänsyn måste tas vid planering av installationer med brandfarliga objekt i underjordsanläggningen för slutförvar. Underlag för projektering av sådana anläggningar finns sammanställt i "Brandförsvaret under jord", utgiven av Svenska gruvföreningen 1976.

Utrymningsvägar och anordningar för brandventilation kommer att planeras och utformas i samråd med brandmyndigheter på sätt som tillämpas vid gruvor.

7.2.3 Tillämpning och rutiner

Den person som ges ansvaret för brandskyddet av en anläggning skall i samråd med kommunal brandchef bl a tillse att personalen är väl förtrogen med de åtgärder, som skall vidtagas vid larm på olika arbetsplatser. Han skall även svara för att brandtekniska krav uppfylles vid olika anläggnings- och driftskeden.

7.3 STRÅLSKYDD

7.3.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter

Statens strålskyddsinstitut handlägger med stöd av strålskydds-

lagen såväl frågor rörande hantering av radioaktivt avfall som arbetshygieniska förhållanden vid arbeten i strålmiljö.

Ett förslag till ändring av atomenergilagen har framlagts under 1977. Förslaget syftar till att statens kärnkraftinspektion skall ansvara för tillsyn och kontroll av handhavande och lagring av radioaktiva avfallsprodukter. Bestämmelser rörande tillåtliga utsläpp liksom strålskyddande åtgärder skulle dock som tidigare handhas av strålskyddsinstitutet.

Strålskyddsinstitutet kommer att underställas princip- och anläggningsfrågor för granskning före byggstart.

Vid idrifttagning skall det enligt lag finnas en av strålskyddsinstitutet godkänd radiologisk föreståndare. Denne är ansvarig för att av institutet utfärdade regler och föreskrifter följs.

7.3.2 Tillämpningar och rutiner

Anläggningarna kommer att uppdelas så att lokaler för hantering och lagring av radioaktiva ämnen på ett säkert sätt skiljs från annan verksamhet. I berganläggningen för slutförvar sker avskiljning främst genom god avståndsseparering.

Arbetet innebär huvudsakligen hantering av kapslade strålkällor med känt aktivitetsinnehåll. Erforderlig strålskärmning kan därför beräknas med god noggrannhet.

Samtliga arbetsoperationer med avfallscylinrar sker avståndsmanövrerat och med strålskärm mellan operatör och cylinder. Vid transporter utanför speciellt skärmade utrymmen är cylindrarna inneslutna i strålskärmade transporthuvar.

Regler för rapportering av bl a persondoser fastställs av strålskyddsmyndigheter. På samma sätt ger myndigheten regler för hur speciella arbeten, som kan medföra onormala dosbelastningar skall redovisas för bedömning innan arbetet igångsättes.

7.4 FYSISKT SKYDD

7.4.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter

Statens kärnkraftinspektion (SKI) är med stöd av atomenergilagen tillsynsmyndighet för bl a fysiskt skydd av klyvbart material och kärnenergianläggningar. Myndigheten meddelar innehavarna föreskrifter och villkor samt övervakar och kontrollerar efterlevnaden härav. Uttrycket fysiskt skydd utgör ett sammanfattande begrepp för en serie överlappande skyddsåtgärder mot tillgrepp, sabotage och andra typer av våldshandlingar.

För frågor rörande fysiskt skydd finns en rådgivande nämnd (nämnden för kontroll av klyvbart material) vars uppgift är att översiktligt följa verksamheten, bistå med råd beträffande tillämpning av ingångna avtal samt förslag till ändringar av internationella avtal för kontroll av klyvbart material.

Inom området för fysiskt skydd och den polisiära verksamheten i

anslutning därtill samverkar SKI med rikspolisstyrelsen (RPS), som enligt sin instruktion skall samverka med organ vilkas verksamhet berör polisverksamheten. I den utsträckning som anges i instruktionen eller i särskilda bestämmelser åligger det RPS att meddela föreskrifter för lägre polismyndigheter och att leda polisverksamheten.

Länsstyrelserna är högsta polismyndighet inom respektive län och länspolischefen - inordnad som tjänsteman i länsstyrelsen - har det direkta ansvaret för allmän ordning och säkerhet inom länet. Innehavare av kärnenergianläggning samverkar med berört polisdistrikt i frågor som rör det fysiska skyddet.

Föreskrifter för fysiskt skydd av idrifttagna kärnkraftanläggningar och transport av klyvbart material inom landet kan utfärdas av SKI.

Särskilda föreskrifter för anläggningar för behandling och förvaring av använt kärnbränsle och högaktivt avfall har hittills inte utfärdats. Sådana anläggningar är väsentligt mindre tekniskt komplicerade än kärnkraftanläggningar, varför föreskrifterna om fysiskt skydd även torde bli enklare. Underlag för utformning av detaljerade föreskrifter kommer inte att föreligga förrän i anslutning till detaljprojektering av ifrågavarande anläggningar.

I KBS studier har förutsatts att skyddet skall utformas på i princip samma sätt som vid en kärnkraftanläggning dvs vara uppdelat i följande huvuddelar.

- 1 Områdesskydd eller perifert skydd, som utgöres av en inhägnad försedd med anordningar som detekterar och ger larm vid obehörigt tillträde. Orsaken till larm skall kunna verifieras genom intern-TV.
- 2 Skalskydd, som utgöres av tillräckligt motståndskraftiga byggnadskonstruktioner i förening med kontroll-arrangemang vid in- och utpasseringspunkter.
- 3 Särskilda skydd för säkerhetsrelaterad utrustning. Detta skydd kan utgöras av fysiskt separerade redundanta utrustningar, skyddande byggnadskonstruktioner eller administrativa föreskrifter för tillträde etc.

Den byggnadstekniska utformningen av det fysiska skyddet måste anpassas till kraven på utrymning och möjligheter till släckningsinsatser vid brand. Detaljutformningen kommer därför att underställas brandmyndigheterna för prövning.

7.4.2 Anläggningsutformning

Vid utformning av anläggningarna för behandling och förvaring av högaktivt material har behovet av åtgärder för fysiskt skydd beaktats.

Bergutrymmena med ett fåtal och lätt övervakade tillträdesvägar erbjuder goda möjligheter till fysiskt skydd med hög skyddsnivå. Tunnelportar dimensioneras så att de tillsammans med installerade larmanordningar tillgodoser behovet av skydd mot intrång. Ventilationsöppningar, vattenintag och ovan jord förlagda driftbero-

de anläggningsdelar kommer att få skydd mot intrång och/eller demolering.

Alla tillträdesvägar till anläggningarna utformas så att man kan utföra behörighetskontroll av personal och undersöka ankommande fordon och last.

Av bl a brandskyddsskäl vidtages konsekvenslindrande åtgärder i form av fysisk separation och dubbleringar av säkerhetsrelaterad utrustning och direkt driftberoende system. Sådana åtgärder kan exempelvis utgöra batterisäkrade nät för vitala funktioner samt reservmatnings- och reservkraftmöjligheter, som i väsentlig grad höjer anläggningens inneboende skydd och därmed även kan gottskrivas sabotageskyddet.

Bevakningen av anläggningarna baseras dels på en fast vaktstyrka, dels på bevakningstekniska anordningar. Vaktstyrkan förutses kunna ges uppgifter även inom brandförsvaret.

Vid detaljutformningen av skyddat område kommer särskilt att beaktas anläggningarnas geografiska belägenhet samt därmed möjligheterna till insats i form av åtgärd från polisens sida. Skydds- och larmanordningar liksom en förteckning över särskilt vitala anläggningsdelar redovisas till tillståndsmyndigheten i samband med säkerhetsredovisningen för anläggningarna.

Med hänsyn till berörda myndigheters föreskrifter och kontroll, anläggningarnas förläggning väsentligen i bergrum samt den tekniska utrustningens natur, bedömes sannolikheten för sabotagehandlingar vara mycket låg. Då konsekvenserna av sådana handlingar får bedömas bli begränsade bör anläggningarna inte utgöra något lockande objekt för potentiella sabotörer.

7.4.3 Transporter och drift

Högaktivt material kommer att transporteras inkapslat på sådant sätt att åverkan eller tillgrepp praktiskt taget omöjliggöres. Dimensioneringen av transportbehållare styrs av andra krav, vilka även tillgodoser behovet av mekanisk motståndskraft.

Bevakning skall enligt på förhand uppgjorda detaljplaner ske av alla transporter såväl till lands som till sjöss. I händelse av brand, fartygsolycka eller annan störning, som berör skyddet av en transport, kommer telekommunikationer med reservmöjligheter att finnas till organ i samhället, som kan tänkas bli berörda.

Innan anläggningarna börjar utnyttjas för sitt ändamål upprättas särskilda säkerhetsplaner. Dessa skall redovisa såväl administrativa som tekniska åtgärder för fysiskt skydd samt underställas tillståndsmyndigheten för prövning och godkännande. Planeringen av personalrekryteringen och fastställande av driftpersonalens kompetenskrav preciseras i anslutning härtill.

7.5 KRIGSSKYDD

7.5.1 Myndighetsfunktioner och föreskrifter

Framställning om lokaliseringstillstånd för varje anläggning som avser hantering och förvaring av högaktivt material skall enligt byggnadslagen § 136 a tillställas regeringen. Yttrande över sådan framställning inhämtas från ÖB som härvid bedömer den föreslagna lokaliseringen med hänsyn till försvarsmaktens planering. Dessa synpunkter utgör en del av regeringens beslutsunderlag vid dess ställningstagande till lokaliseringsansökan.

Anläggningar som kan vara väsentliga för landets elförsörjning i krigstid skall underställas krigsskyddsnämndens granskning avseende anläggningarnas skyddsnivå.

Anläggningar för hantering och förvaring av använt kärnbränsle är emellertid inte direkt nödvändiga för kraftproduktion och distribution i krigstid. De omfattas alltså inte av de anläggningstyper som krigsskyddsnämnden enligt sin instruktion skall behandla.

Kravet på krigsskydd avser i första hand skydd mot skadeverkan, som kan orsaka radioaktiva utsläpp. Det förutsätts därför att SKI i samråd med ÖB och statens strålskyddsinstitut ger de anvisningar och riktlinjer som kan anses påkallade ur krigsskyddssynpunkt.

7.5.2 Anläggningsutformning

Mellanlagrets förläggning i bergrum ger gott skydd mot konventionella vapen. Kontaktverkan av konventionella bomber ger markskakningseffekter, som dock vid en 30 meters bergtäckning inte bör innebära någon skadefaktor. Hänsyn till möjliga effekter skall tas vid konstruktionen av bergrummens betonginbyggnad. Slutförvaret, med 500 m bergtäckning, har ett fullgott skydd även mot kärnvapen.

Luftstötspåverkan i mellanlagret från en bomb, som exploderar utanför anläggningen minskas genom att nedfarterna utförts som en genomblåsningväg. Ventilationen av lagret har utförts så att kylning där skall kunna ske med egenkonvektion vid fläktbortfall. Utförandet innebär även ett visst skydd mot luftstötspåverkan. Skyddet ökas genom en skorstensutformning, som vid intags- och utsläppspunkterna ger genomblåsningmöjlighet.

Ventilationsskorstenars intags- och utsläppsöppningar förses med skydd i form av betongtäckning. Skorstenarnas nedre del kan utföras som en tjock betongcylinder. Den vertikala delen av ventilationsschakten nere i berget förses med en bombficka.

Elektriska genomföringar till berganläggningarna kan utföras bombskyddat med betong liksom genomföringar för dränage. I den mån så är motiverat kan anslutningar dubbleras med god avståndseparering.

REFERENSER

KAPITEL 2

- 2-1 IAEA Safety Series No 6, Regulation for the Safe Transport of Radioactive Materials, 1973 Edition.
- 2-2 Salénrederierna, Tekniska Avdelningen. Sjötransporter av använt kärnbränsle och radioaktivt avfall till svenskt centrallager, 1977.
- 2-3 Saint Gobain Techniques Nouvelles, Project for the handling and storage of vitrified high-level waste. KBS Teknisk Rapport nr 35.

KAPITEL 3

- 3-1 Programrådet för radioaktivt avfall. Centralt lager för använt bränsle. En förstudie. Juli 1977.

KAPITEL 4

- 4-1 Sanders, D M, Hench, L L, "Mechanisms of Glass Corrosion", J. Amer. Ceram. Soc., 56(1973)343.
- 4-2 Mendel, J E, Review of Leaching Test Methods and the Leachability of Various Solid Media Containing Radioactive Waste, BNWL-1765(1973).
- 4-3 Blomqvist, G, Utlakning av franskt, engelskt och kanadensiskt glas med högaktivt avfall, KBS Teknisk Rapport nr 8, 1977-05-20.
- 4-4 Merritt, W F, AECL, The Leaching of Radioactivity from Highly Radioactive Glass Blocks Buried below the Water Table: Fifteen Years of Results. IAEA SM-207/9. International Symposium on the Management of Radioactive Waste from the Nuclear Fuel Cycle, Wien, 1976-03-22--26.
- 4-5 Diebold, F E, Discussion on Glass-Water Interactions, ARH-2905(1973).
- 4-6 Doremus, R H, Glass Science, Wiley-Interscience, New York 1973, p 242-8.

- 4-7 Ref. 5, p 23.
- 4-8 Imbert, J C, Pacaud, F, Contribution à l'étude de la diffusion en relation avec la lixiviation des verres. CEA-R-4550(1974).
- 4-9 Lakatos, T, Diskussion om glasegenskaper hos AERE i Harwell 1977-03-10. Glasforskningsinstitutets rapport nr 3277(1977).
- 4-10 Present status of HLW vitrification process in France, COGEMA 9 mars 1977.
- 4-11 Laude, F, La verre comme première barrière pour le stockage à long terme de déchets de haute activité. Proceedings of the Workshop on Risk Analysis and Geologic Modelling. NEA/JRC Ispra 1977-05-23--27.
- 4-12 Blomqvist, G, Lakningsförsök med högaktivt franskt glas i Studsvik. KBS Teknisk Rapport nr 50.
- 4-13 F Laude, R Bonniaud, C Sombret, G Rabot. CEA, Centre de Marcoule. Confinement de la radioactivité dans les verres. IAEA-SM-207/36.
- 4-14 R Bonniaud, F Pacaud, C Sombret, CEA, Marcoule Quelques aspects du comportement de radioélément confinés à long terme sous forme de verre ou de produit à fort phase vitreuse. Verres et Réfractaires, Vol 29.1. Jan-febr 1975.
- 4-15 Project for the handling and storage of vitrified high-level waste, St Gobain, Techniques Nouvelles, KBS Teknisk Rapport nr 35.
- 4-16 A D W Corbet, G G Hall, G T S Spiller, Problems in the design and specifications of containers for vitrified high level liquid waste, IAEA-SM-207/3, March 1976.
- 4-17 T Lakatos, Beständighet hos borsilikatglas, KBS Teknisk Rapport nr 44.
- 4-18 R Bonniaud, La vitrification en France des solutions de produits de fission, Nuclear Technology. Vol 34, aug 1977, p 449.
- 4-19 J B Morris, B E Chidley, AERE, Harwell, Preliminary experiences with the new Harwell inactive vitrification pilot plant. IAEA-SM-207/22.
- 4-20 R Bonniaud, C Sombret, Statement of research in the field of solidification of high level radioactive waste in France, 77th Meeting of American Ceramic Society, May 3-8 1975, Washington D.C.
- 4-21 COGEMA: Le retraitement des combustibles irradiés à La Hague.
- 4-22 IVA. Specialrapport Frankrike 1976:8.

- 4-23 COGEMA, Etablissement de LA HAGUE, Propositions et recommandations approuvés par le CHS enlargi de La Hague, 17 juni 1977.
- 4-24 Uppgift från personalrepresentanter i hälso- och säkerhetskommittén vid La Hague till Sydkrafts styrelses arbetsutskott, oktober 1977.
- 4-25 Uppgift från företagsledningen i La Hague till Sydkrafts styrelses arbetsutskott, oktober 1977.
- 4-26 Service Prevention Radioprotection, COGEMA, Etablissement de la Hague, Surveillance de la radioactivité de l'environnement de l'établissement de la Hague.
- 4-27 R Bonniaud, C Sombret, A Barbe. Chemical Engineering Process, March 1976 p 47.
- 4-28 R Bonniaud, C Sombret, L Rozand, A Barke, P Auchapt, J A Coste, French Industrial Plant AVM for Continous Vitrification of High Level Radioactive Wastes. American Institute of Chemical Engineers SYMPOSIUM SERIES, Vol 72, No 154 p 145-150.
- 4-29 C Blomqvist, Beräkning av utlakning av vissa fissionsprodukter och aktiviteter från en cylinder av franskt glas, KBS Teknisk rapport 24.
- 4-30 H Häggblom, Diffusion av cesium genom kiselsyra, AB Atomenergi, meddelande 771025.
- 4-31 G Blomqvist, Sammanställning om molybdatfas, AB Atomenergi AP-M-351.
- 4-32 R Bonniaud, Les actinides dans les verres, B.I.S.T. Commissariat à l'Energie Atomique, September 1976 sid 47.
- 4-33 A R Hall, J T Dalton, B Hudson, J A C Marples, Development and radiation stability of glasses for highly radioactive waste. IAEA Symposium Wien Mars 1976. IAEA-SM-207.
- 4-34 Grundsätzliche sicherheitstechnische realisierbarkeit des Entsorgungszentrums, Beurteilung und Empfehlungen der RSK und der SSK, Geschäftsstelle der Reaktor - Sicherheitskommission, Oktober 1977.

KAPITEL 5

- 5-1 K Ekberg, N Kjellbert, G Olsson, Resteffektstudier för KBS, Del 1 Litteraturgenomgång, Del 2 Beräkningar, AB Atomenergi, KBS Teknisk Rapport nr 7.
- 5-2 Saint Gobain Techniques Nouvelles, Project for the handling and storage of vitrified high-level waste. KBS Teknisk Rapport nr 35.
- 5-3 H Folke Sandelin AB, Avesta Jernverk, VBB, Asea-Kabel, Institutet för metallforskning, Tillverkning av bly-titan-kapsel, KBS Teknisk Rapport nr 34.

- 5-4 S Henriksson, Uppskattning av livslängden hos behållare av 24 Cr 12 Ni-stål, Incoloy 800 och Hastelloy C-4, vid förvaring av förglasat upparbetat kärnbränsleavfall, AB Atomenergi AE-MS-151, 1977-06-13.
- 5-5 S Henriksson, Utredning rörande titans lämplighet som korrosionshärdig kapsling för kärnbränsleavfall. AB Atomenergi, KBS Teknisk Rapport nr 11.
- 5-6 M de Pourbaix, S Henriksson, Metallisk kapsling. Resultat av korrosionsprovning av titan under 30 dygn. AB Atomenergi, TPM-MS-156, 1977-08-04.
- 5-7 M de Pourbaix, S Henriksson, Metallisk kapsling. Resultat av korrosionsprovning av titan under 100 dygn. AB Atomenergi, TPM-MS-170, 1977-09-20.
- 5-8 W R Fischer, Zur Lochfrasskorrosion, Diss. Technische Hochschule, Braunschweig, 1964.
- 5-9 G Schef, Långtidsförsök med ATi-24 i 25%-ig NaCl vid 130°C. Avesta Jernverk, LAK 91/68, 1968-11-04.
- 5-10 I Multer, Diskussion med L C Covington hos Timet beträffande användningen av titan för avfallsförvaring. Vattenfall 1977-06-20.
- 5-11 G Eklund, Korrosion av bly. Bilaga 4 till referens 5-12.
- 5-12 Korrosionsinstitutet och dess referensgrupp, Bedömning av korrosionsbeständigheten hos material avsedda för kapsling av kärnbränsleavfall. Lägesrapport 1977-09-27 samt kompletterande yttranden. KBS Teknisk Rapport nr 31.
- 5-13 G Wranglén, Metaller korrosion och yttskydd, sid 259, Almqvist och Wiksell, Stockholm, 1967.

KAPITEL 6

- 6-1 Vattenfall, VBB, GAK, Utformning av bergrumsanläggningar. KBS Teknisk Rapport nr 38.
- 6-2 R Blomqvist, Temperaturberäkningar för förglasat avfall. Rapport 3, AB Atomenergi, KBS Teknisk Rapport nr 45.
- 6-3 Saint Gobain Techniques Nouvelles, Project for the handling and storage of vitrified high-level waste. KBS Teknisk Rapport nr 35.
- 6-4 H Fagerström, B Lindahl, Hantering av buffertmaterial av bentonit och kvartssand. VBB och Stabilator, KBS Teknisk Rapport nr 37.
- 6-5 S Knutsson, R Pusch, PM angående värmeledningstal hos jordmaterial. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 2.
- 6-6 A Jacobsson, R Pusch, Deponering av högaktivt avfall i borrhål med buffertsubstans. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 3.

- 6-7 A Jacobsson, R Pusch, Deponering av högaktivt avfall i tunnlrar med buffertsubstans. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 4.
- 6-8 R Pusch, Influence of cementation on the deformation properties of bentonite/quartz buffer substance. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 14.
- 6-9 R Pusch, The influence of rock movement on the stress/strain situation in tunnels or bore holes with radioactive canisters embedded in a bentonite/quartz buffer mass. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 22.
- 6-10 R Pusch, Water uptake in a bentonite buffer mass. A model study. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 23.
- 6-11 S Knutsson, Värmeledningsförsök på buffertsubstans av bentonit/pitesilt. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 28.
- 6-12 R Pusch, A Jacobsson, Long term mineralogical properties of bentonite/quartz buffer substance. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 32.
- 6-13 R Pusch, Buffer mass composition with specific reference to required physical and mechanical properties. Högskolan i Luleå, KBS Teknisk Rapport nr 33.