

R-01-33

Projekt JADE

Process- och maskinbeskrivning av utrustning för deponering av kapslar i horisontella deponeringshåll

Kalbantner, P
ÅF-Industri teknik AB

Augusti 2001

Svensk Kärnbränslehantering AB

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



Projekt JADE

Process- och maskinbeskrivning av utrustning för deponering av kapslar i horisontella deponeringshåll

Kalbantner, P

ÅF-Industri teknik AB

Augusti 2001

Sökord: djupförvar, deponering, KBS-3, horisontell deponering.

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

Förord

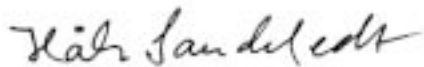
Slutsatserna från ett antal jämförelser av olika koncept för geologisk deponering innebär att KBS-3-systemet med vertikal deponering förblir referenssystem i SKB:s program, vilket lanserades 1992 med avsikt att påbörja deponering av använt kärnbränsle i svensk berggrund så snart som möjligt. Fältundersökningar planeras att genomföras stegvis, och påbörjas med platsundersökningar på mer än en plats och innefatta en kontinuerlig utvärdering och jämförelse av de geovetenskapliga förhållandena så väl som andra tekniska, sociala och ekonomiska frågeställningar av betydelse. Informationen som samlas in under platsundersökningarna används för platsanpassningen av förvarets utformning, vilket även detta är aktiviteter som bedrivs stegvis med ökande detaljeringsgrad i varje steg. Innan anpassningen av förvaret till en vald plats kan påbörjas ska alla tekniska system vara definierade.

I en studie 1992 (PASS – Project on Alternative System Study) identifierades flera varianter av KBS-3-systemet som intressanta och projektet JADE (Jämförelse Av DEponeringsmetoder) initierades 1996 för att visa om någon eller några av dessa varianterna ska utredas vidare.

JADE-projektet fokuserar på detaljerade utredningar av viktiga tekniska frågeställningar i anslutning till horisontell deponering av kapslar med använt kärnbränsle kompletterat med en fördjupad jämförelse av alternativen och referenssystemet KBS-3 med vertikal deponering. Slutsatserna är att KBS-3 med vertikal deponering bibehålls som referensmetod, och att deponering i medellånga horisontella deponeringshål studeras ytterligare i syfte att klargöra deponeringsteknikens tekniska genomförbarhet liksom sätt att handskas med vatteninflöde. KBS-3 med deponering i horisontella deponeringshål studeras ej vidare.

Resultaten från JADE-projektet presenteras här, betydligt senare än vad som planerades vid projektstarten, vilket innebär att vissa resultat redan har använts i SKB:s fortsatta arbete. Denna rapport innehåller därför viss information som kan uppfattas som inaktuell.

Stockholm, augusti 2001



Håkan Sandstedt
Projektledare

Sammanfattning

Inom ramen för SKB:s projekt Djupförvar har en studie genomförts med syfte att systematiskt utvärdera olika deponeringstekniker. Projektet benämns Jämförelse Av DEponeringsmetoder, JADE. Tre varianter av KBS-3-metoden har studerats; vertikal deponering (KBS-3 V), horisontell deponering (KBS-3 H) samt deponering i medellånga hål (MLH). KBS-3 V utgör referensmetod i det utvecklings- och planeringsarbete som bedrivs inom SKB.

I denna rapport beskrivs sjutton tekniska lösningar för deponering av kapslar med använt kärnbränsle i horisontella deponeringshål, en kapsel per hål. Kapslarna är omgärdade av kompakterade bentonit i cirka 8 meter långa borrhål. De tekniska lösningarna har utvecklats successivt, utgående från en analys av svaga och starka sidor hos redan framtagna tekniker.

Det huvudsakliga tekniska problemet är att skjuta in tunga föremål i ett horisontellt, 8 meter långt hål. För deponering av bentonitbarriären och kapslarna i separata processer har användningen av ett guiderör studerats för att minska belastningen från en glidande kapsel på bentonitringarna. För deponering av bentonitbarriärer och kapslar ”i paket” har tre tekniker studerats: ett vridbart laddningsrör, en gaffelvagn samt glidskenor. Målsättningarna för utvecklingsarbetet har varit att undvika användningen av guiderör och att få ner dimensionen på deponeringstunneln.

En feleffektanalys för tre av dessa sjutton deponeringstekniker utfördes för att ta fram underlag till ett beslut om kapseln skall förses med ett omslutande strålskydd under transporten och hanteringen i deponeringstunneln. SKB har sedermera beslutat, bland annat med ledning av detta underlag, att kapseln skall vara omsluten av ett strålskydd under hela deponeringsprocessen.

Arbetet har inte ännu lett fram till en bestämd teknik för horisontell deponering som kan anses vara färdigutvecklad. Rekommendationerna för inriktningen i det fortsatta arbetet är att:

- deponeringen utförs ”i paket”,
- sträva efter minsta möjliga antal rörelser i deponeringstunneln, vilket leder till ett minimerat tunneltvärnsnitt samt att
- sträva efter minsta möjliga rörelse i deponeringshålet.

Tekniker som bedöms vara utvecklingsbara är deponering ”i paket”, med vridbart laddningsrör eller med gaffelvagn eller med glidskenor. Deponering ”i delar” med ett guiderör som återvinns bedöms också kunna vidareutvecklas.

Abstract

In this report are presented seventeen methods to deposit canisters with spent nuclear fuel in horizontal holes, one canister per hole, in the KBS-3 system. They have been developed successively, after an analysis of weak points and strong points in previously described methods.

In conformance with the guidelines for Project JADE, two choices of system have been considered during the development work. One choice is whether the canister should be provided with a tubular radiation shield or not during transport in the secondary tunnels. Another choice is whether canister and bentonite buffer should be deposited at different occasions, but shortly after each other ("in parts") or together in a single package ("in a package").

The basic technical problem is placing heavy objects, the canister and the buffer components, in an horizontal hole which is 8 m long. For depositing of bentonite buffer and canister "in parts", the use of a guiding pipe has been studied to reduce the impact of a sliding canister on the bentonite rings. For depositing "in a package", three alternative techniques have been studied: a loading laddle that is rotated, a fork carriage and rails. Development has been aimed at avoiding the use of a guiding pipe and at reducing the cross section area of the secondary tunnel.

A failure mode and effect analysis has been performed for three of the methods in order to provide a basis for a decision whether to use a tubular radiation shield around the canister during transport and handling in the secondary tunnels. SKB has subsequently decided, partly on this basis, that the canisters should be placed in radiation shields.

The development work reported here has not yet yielded a definitive method for placing canisters in horizontal holes. It is recommended that in the continued work:

- canister and bentonite buffer are deposited in a hole at the same time, as a package,
- methods involving a minimum number of movements in the tunnel are preferred and that
- methods leading to minimum movement in the hole are preferred.

Methods that could be developed are those "in a package" using a loading laddle, a fork carriage or rails in a hole. A method "in parts" using a guiding pipe could possibly also be developed.

Innehåll

1	Bakgrund	11
2	Utveckling av deponeringstekniker	13
2.1	Grafisk sammanställning	13
2.2	Deponering i ett horisontellt hål	17
2.3	Inplacering i deponeringshålet	18
2.4	Kapselns rörelser	19
2.5	En kort historik	20
3	Förutsättningar	23
3.1	Djupförvaret	23
3.2	De viktigaste geometriska förutsättningarna	24
3.3	Ändringar i förutsättningarna	25
3.3.1	Drivsystem	25
3.3.2	Deponeringshål	25
3.3.3	Strålskydd	26
3.4	Styrtekniska begrepp	27
4	Tekniska lösningar avseende deponering med guiderör	31
4.1	Teknik 1a – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och två fordon	31
4.1.1	Allmän beskrivning	31
4.1.2	Maskinbeskrivning	34
4.1.3	Processbeskrivning	35
4.1.4	Fördelar och nackdelar med teknik 1a	37
4.2	Teknik 1b – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med delat guiderör och två fordon	38
4.2.1	Allmän beskrivning	38
4.2.2	Maskinbeskrivning	38
4.2.3	Processbeskrivning	39
4.2.4	För- och nackdelar	39
4.3	Teknik 1c – Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse	40
4.3.1	Allmän beskrivning	40
4.3.2	Maskinbeskrivning	42
4.3.3	Processbeskrivning	44
4.3.4	För- och nackdelar med teknik 1c	45
4.4	Teknik 1c- – Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse vid deponeringshålet	46
4.4.1	Allmän beskrivning	46
4.4.2	Maskinbeskrivning	47
4.4.3	Processbeskrivning	48
4.4.4	För- och nackdelar med teknik 1c-	49

4.5	Teknik 1c+ – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Lavettrörelse vid deponeringshålet	50
4.5.1	Allmän beskrivning	50
4.5.2	Maskinbeskrivning	52
4.5.3	Processbeskrivning	53
4.5.4	För- och nackdelar	55
4.6	Teknik 1c* – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse	56
4.6.1	Allmän beskrivning	56
4.6.2	Maskinbeskrivning	56
4.6.3	Processbeskrivning	57
4.6.4	För- och nackdelar med teknik 1c*	59
4.7	Teknik 1c+* – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Lavettrörelse i transporttunneln	60
4.7.1	Allmän beskrivning	60
4.7.2	Maskinbeskrivning	62
4.7.3	Processbeskrivning	62
4.7.4	För- och nackdelar	64
4.8	Teknik 2 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med ej återtaget, delat guiderör och tre fordon. Snedställda deponeringshål	65
4.8.1	Allmän beskrivning	65
4.8.2	Maskinbeskrivning	67
4.8.3	Processbeskrivning	68
4.8.4	För- och nackdelar för teknik 2	69
5	Övriga tekniska lösningar avseende deponering ”i delar”	71
5.1	Teknik 3 – Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med tre olika fordon. Tudelade bentonitringar. Snedställda deponeringshål	71
5.1.1	Allmän beskrivning	71
5.1.2	Maskinbeskrivning	72
5.1.3	Processbeskrivning	74
5.1.4	För- och nackdelar med teknik 3	75
5.2	Teknik 6 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med två fordon. Strålskyddstub med plunge	76
5.2.1	Allmän beskrivning	76
5.2.2	Maskinbeskrivning	77
5.2.3	Processbeskrivning	78
5.2.4	För- och nackdelar med teknik 6	79
5.3	Teknik 8 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med två fordon. Strålskyddstub med plunge. Kapseln delvis utanför strålskyddet i deponeringshålet. Lavettrörelse i transporttunneln	80
5.3.1	Allmän beskrivning	80
5.3.2	Maskinbeskrivning	81
5.3.3	Processbeskrivning	81
5.3.4	För- och nackdelar med teknik 8	82

6	Tekniska lösningar avseende deponering med vridbart laddningsrör	85
6.1	Teknik 4a – Deponering av strålskyddad kapsel i ett paket med vridbart laddningsrör. Snedställda deponeringshål. Ingen lavettrörelse	85
	6.1.1 Allmän beskrivning	85
	6.1.2 Maskinbeskrivning	86
	6.1.3 Processbeskrivning	87
	6.1.4 För- och nackdelar med teknik 4a	88
6.2	Teknik 4b – Deponering av strålskyddad kapsel i ett paket med vridbart laddningsrör. Lavettrörelse vid deponeringshålet	89
	6.2.1 Allmän beskrivning	89
	6.2.2 Maskinbeskrivning	90
	6.2.3 Processbeskrivning	90
	6.2.4 För- och nackdelar med teknik 4b	91
6.3	Teknik 4c – Deponering av strålskyddad kapsel i två paket med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavettrörelse vid deponeringshålet	92
	6.3.1 Allmän beskrivning	92
	6.3.2 Maskinbeskrivning	93
	6.3.3 Processbeskrivning	94
	6.3.4 För- och nackdelar med teknik 4c	95
6.4	Teknik 4c* – Deponering av strålskyddad kapsel i två delar med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavettrörelse i transporttunneln	96
	6.4.1 Allmän beskrivning	96
	6.4.2 Maskinbeskrivning	96
	6.4.3 Processbeskrivning	97
	6.4.4 För- och nackdelar med teknik 4c*	97
7	Övriga tekniska lösningar avseende deponering ”i paket”	99
7.1	Teknik 5 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med larvbandgående gaffelvagn och ett deponeringsfordon	99
	7.1.1 Allmän beskrivning	99
	7.1.2 Maskinbeskrivning	99
	7.1.3 Processbeskrivning	100
	7.1.4 För- och nackdelar med teknik 5	101
7.2	Teknik 7 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” på utlagda gejdor med ett fordon	102
	7.2.1 Allmän beskrivning	102
	7.2.2 Maskinbeskrivning	103
	7.2.3 Processbeskrivning	103
	7.2.4 För- och nackdelar med teknik 7	105
8	Feleffektanalys	107
8.1	Feleffektmatris, uppbyggnad	107
8.2	Resultat av feleffektanalysen	108
8.3	Konsekvensanalys	109
	8.3.1 Beskrivning av olika typer av incident	109
	8.3.2 Följdeffekter	110
	8.3.3 Sannolikheten för incidenter	110
8.4	Slutsatser	111

9	Jämförelse	113
9.1	Inledning	113
9.2	Jämförelsematrix för teknikerna för horisontell deponering	113
9.3	Redovisning	115
9.3.1	Strålskydd	116
9.3.2	Deponering ”i delar”	116
9.3.3	Deponering ”i paket”	117
9.3.4	Deponering ”i paket” contra deponering ”i delar”	118
9.4	Slutsatser och rekommendationer	119
	Referenser	121
Bilaga 1	Ritningar till sammanställningen över deponeringstekniker att deponera kapslar i horisontella deponeringshål	123
Bilaga 2	Beskrivning av deponeringsprocesser i ”strålsteg”	159
Bilaga 3	Strålskyddsaspekter vid deponering	179
Bilaga 4	Feleffektanalys	193

1 Bakgrund

KBS-3-metoden med vertikal deponering av kapslar utgör sedan 1984 referensmetod för deponering av använt kärnbränsle. KBS-3-metoden baseras på ett flerbarriärssystem där förvaret placeras i urberget, 400–700 meter under markytan, och det använda kärnbränslet placeras i koppar kapslar med en insats av gjutjärn som omges av en bentonit buffert.

Sedan 1984 har SKB utvecklat och värderat även andra deponeringsmetoder. Under 1986 till 1989 analyserades och jämfördes WP-Cavemetoden med KBS-3. Resultatet av utvärderingen visade att WP-Cavemetoden bedömdes kunna klara högt ställda krav vad gäller långsiktig funktion och säkerhet men att fördelarna med KBS-3 befanns överväga.

Tre andra metoder; Djupa borrhål (VDH), Långa hål (VLH), Medellånga hål (MLH) har därefter utvecklats och analyserats samt jämförts med KBS-3 V metoden. Resultatet har rapporterats i PASS /1/.

Jämförelsen av förvarskoncept i PASS-studien delades upp i jämförelser av långsiktig funktion och säkerhet, teknik samt kostnader. Samtliga metoder ansågs uppfylla mycket högt ställda funktions- och säkerhetskrav. Resultatet blev dock att KBS-3 och MLH i ett första skede rangordnades på första plats. Utfallet av jämförelsen mellan KBS-3 och MLH blev inte entydig. Avseende teknik bedömdes KBS-3 som mer robust och mera flexibel i deponeringsprocessen. I fråga om kostnader fanns det en signifikant skillnad till förmån för MLH. Vid den slutliga bedömningen, där hänsyn togs till nackdelar för MLH i deponeringsprocessen, rangordnades KBS-3 före MLH.

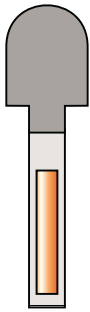
För KBS-3 har även möjligheten att deponera kapslarna i horisontella borrhål borrade i väggen av deponeringstunnlarna studerats (KBS-3 H). Denna metod har bedömts attraktivt ur ekonomisk synvinkel då den totala längden av deponeringstunnlar kan reduceras jämfört med deponering i vertikala deponeringshål (KBS-3 V).

För att studera och jämföra olika deponeringsmetoder initierade SKB 1996 ett projekt benämnt JADE (Jämförelse Av DEponeringsmetoder). Syftet med projekt JADE var att fördjupa analyserna av tekniska nyckelfrågor avseende horisontella deponeringssystem samt att göra en detaljerad jämförelse av metoderna KBS-3 H (horisontell deponering) och MLH (deponering i medellånga horisontella deponeringshål) med referensmetoden KBS-3 V (vertikal deponering) /2/.

I projekt JADE ingick att studera för såväl KBS-3 V, KBS-3 H som MLH om kapslarna skall vara strålskyddade eller inte under hela deponeringsprocessen. Strålskyddet kommer att bestå av en stålcylinder med invändig beklädnad av polyeten, ensam eller tillsammans med bentoniten. Med en strålskyddad kapsel kommer vikt och storlek att öka avsevärt, vilket påverkar utformningen av djupförvaret (något större deponeringstunnlar) och konstruktionen av deponeringsutrustningen.

De ovan nämnda deponeringsvarianterna KBS-3 V och MLH har beskrivits och jämförts i PASS /1/. I projekt JADE utförs en förnyad jämförelse mellan dessa varianter. I JADE studeras och beskrivs även deponeringsvarianten KBS-3 H. En samlad beskrivning av de studerade maskinutrustningarna för vertikal deponering, KBS-3 V, redovisas i /3/. På motsvarande sätt beskrivs de olika tekniska lösningarna för deponering i medellånga hål, MLH, i en parallell rapport /4/.

Vertikalt med en kapsel, KBS-3 V



Horisontellt, KBS-3 H



Medellånga hål, KBS-3 MLH



Figur 1-1. Olika varianter av KBS-3-metoden.

Inom ramen för projekt JADE har olika tekniska lösningar studerats för deponering av bentonitbuffert och kapslar med använt kärnbränsle. De tekniska studierna omfattar hantering och deponering av kapslar med och utan strålskydd i deponeringstunnlarna. Föreliggande rapport avser en beskrivning av tekniska lösningarna för horisontell deponering av en kapsel per deponeringshål, KBS-3 H.

I föreliggande rapport beskrivs de sjutton deponeringstekniker som studerats för KBS-3 H. Presentationen har gjorts likformig för alla tekniska lösningar i JADE, och omfattar en allmän beskrivning, en maskin- och processbeskrivning samt en redovisning av fördelar och nackdelar för varje teknik och en så kallad feleffektanalys. Beskrivningarna kompletteras med ritningar.

Som underlag för en bedömning av om deponeringen skall utföras med eller utan strålskydd under hela deponeringsprocessen har en så kallad feleffektanalys utförts för tre av de tekniska lösningar som studerats.

2 Utveckling av deponeringstekniker

Det huvudsakliga tekniska problemet i deponeringstekniker för horisontell deponering är att skjuta in tunga föremål in i ett horisontellt, 8 m djupt hål. I projektet har flera tekniska lösningar till detta problem bearbetats. Ett par av dem har utvecklats vidare inom projektet och utgör grunden för flera av de tekniker som beskrivs i denna rapport, andra har övergetts på ett tidigt stadium och ytterligare några har börjat undersökas i ett sent skede. Deponeringsteknikerna som redovisas här har utvecklats successivt, utgående från en analys av starka och svaga punkter hos tidigare framtagna tekniker. Tankegångarna under utvecklingen förtjänar att redovisas, emedan de belyser vilka punkter varje nytt steg avsågs att bearbeta.

Två systemval har beaktats under utvecklingen. Det ena valet är om kapseln skall deponeras med strålskydd eller utan strålskydd. Det andra valet är om kapseln och bentoniten skall deponeras vid skilda tillfällen, ”i delar”, eller om kapsel och bentonit skall deponeras samtidigt, ”i paket”.

Nedan lämnas en översikt över utvecklingsarbetet, vilken skall ses som ett komplement till den formella, likformiga beskrivningen av dessa sjutton tekniker, en och en, senare i denna rapport. Som utgångspunkt för beskrivningen av de sjutton teknikerna lämnas inledningsvis en kort beskrivning av en föreslagen teknik, 1a. Syftet med denna beskrivning är att illustrera de avvägningar som gjordes under utvecklingsarbetet. Därefter sammanfattas teknikerna efter val av lösning för att deponera bentonit och kapsel i det horisontella hålet. Ett annat teknikval som har betydelse är den kedja av rörelser med vilka kapseln kommer i kontakt med hålet (lavettrörelse på fordonet, cardanorörelse på fordonet eller dockning med hela fordonet). Avslutningsvis lämnas en kort redogörelse för utvecklingens olika faser.

2.1 Grafisk sammanställning

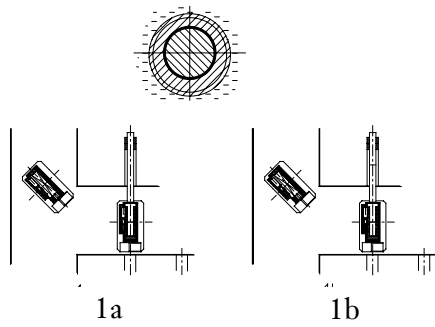
Det är ofta detaljer som skiljer de sjutton deponeringstekniker som studerats från varandra. Dessa skillnader innebär för det mesta små skillnader i den tyngsta maskinutrustningen för deponering, nämligen deponeringsfordonet. En orsak är att arbetet fokuserats på en konstruktionstyp: ett fordon som bär kapseln, bar eller i ett strålskydd, på en bädd som är utrustad med en mekanism för att vrida bädden i rätt läge för deponering och med en maskin som skjuter in kapseln i deponeringshålet. Variationer i inskjutningsmekanismen, hydraulkolv eller kulskruv, eller laddningsrör, påverkar föga fordonets struktur. Vidare, skillnaden mellan två besläktade tekniker kan ibland vara att i det ena fallet vrids kapseln i sitt strålskydd, på sin bädd, till deponeringsläge (vinkelrätt mot färdriktningen) framför deponeringshålet och i det andra fallet redan i transporttunneln. Detta påverkar inte deponeringsfordonets konstruktion.

I figur 2-1 ges en sammanställning över de maskinutrustningar som används i de olika deponeringsteknikerna. För åskådliggörelsen har teknikerna grupperats efter huvudprincip. Teknikerna 1, 2, 3, 6 och 8 innebär en deponering ”i delar”, det vill säga bentonit och kapsel deponeras vid skilda tillfällen, kort efter varandra. I teknikerna 1 och 2 används guiderör, men inte i övriga tekniker ”i delar”. I övriga tekniker, 4, 5 och 7, deponeras kapseln samtidigt med bentonitbarriären (”i paket”). I teknikerna 4 används ett så kallat laddningsrör men inte i de andra. Grupperingen i figur 2-1 återspeglar inte utvecklingsfaserna, utan valet av teknik för inskjutningen av kapseln in i deponeringshålet.

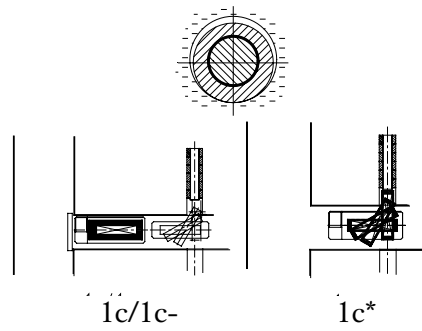
Skillnaden mellan olika grupper av lösningar är större när det gäller förfarandet med vilket kapseln och bentonitbufferten deponeras i själva hålet. Likformigheten i deponeringsfordonets konstruktion erhålls genom att vissa tekniska lösningar kräver ytterligare ett eller två fordon som hanterar utrustning eller bentonitbuffert.

I nästa avsnitt beskrivs de olika tekniska lösningar för placeringen av kapseln i hålet och det som följer, vilka lösningar eller rörelsesekvenser som finns för att vrida kapseln från transportläge, i färdriktningen, till deponeringsläge, vinkelrätt mot färdriktningen.

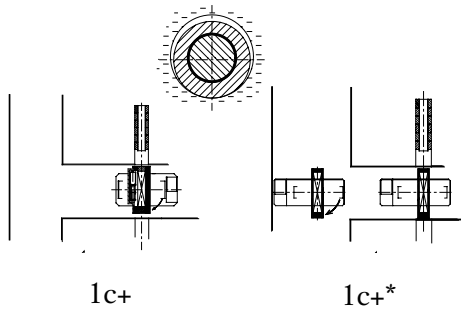
Deponering "i delar" med guiderör



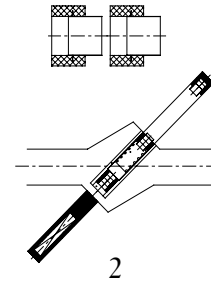
Teknik 1a och 1b: strålskyddad kapsel "i delar" med guiderör och två fordon (1b: delat guiderör).



Teknik 1c och 1c-: ej strålskyddad kapsel "i delar" med guiderör och tre fordon. Cardano-rörelse. Metod 1c*: strålskyddad kapsel. I övrigt likt 1c och 1c-.

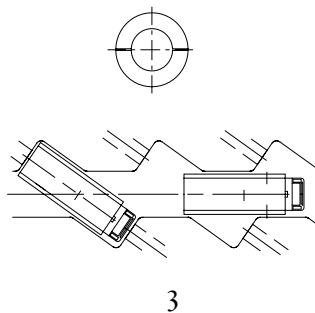


Teknik 1c+ och 1c+*: strålskyddad kapsel "i delar" med guiderör och tre fordon. Lavetrörelse vid dep.hålet (1c+) eller i transporttunneln (1c+*).

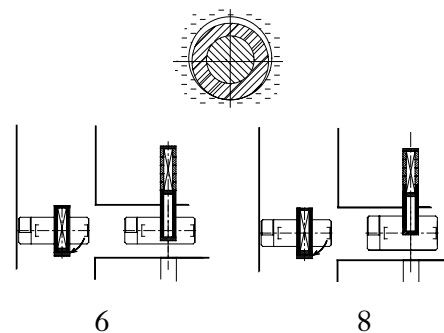


Teknik 2: strålskyddad kapsel "i delar" med ej återtaget delat guiderör och tre fordon. Snedställda hål.

Deponering "i delar", övriga tekniker



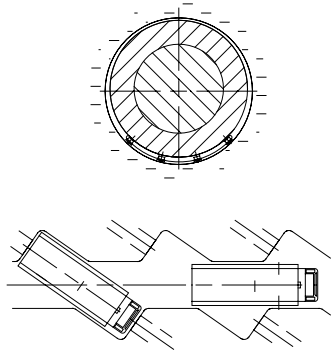
Teknik 3: ej strålskyddad kapsel "i delar" med tre fordon. Tudelade bentonitringar. Snedställda deponeringshål.



Teknik 6 och 8: strålskyddad kapsel "i delar" med två fordon. Strålskyddstubb med plunge. Lavetrörelse i transporttunneln (kapseln delvis utanför strålskyddet i deponeringshålet i teknik 8).

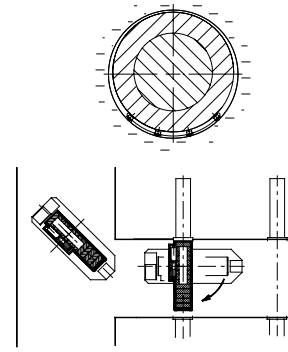
Figur 2-1. En grafisk sammanställning över maskinutrustning (deponeringsfordon) för deponering av en kapsel i ett horisontellt deponeringshål.

Deponering "i paket" med laddningsrör



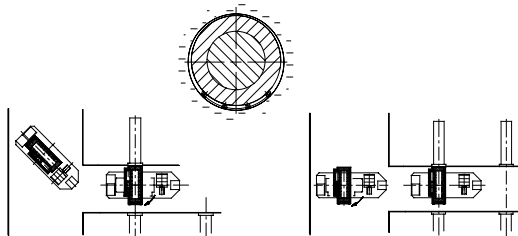
4a

Teknik 4a: strålskyddad kapsel i ett paket med laddningsrör. Snedställda deponeringshål.



4b

Teknik 4b: strålskyddad kapsel i ett paket med laddningsrör. Lavetrörelse vid deponeringshålet.

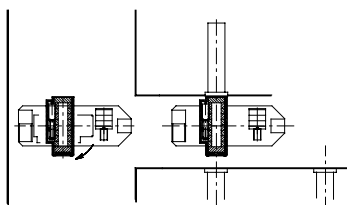
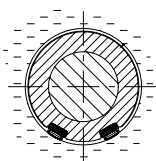


4c

4c*

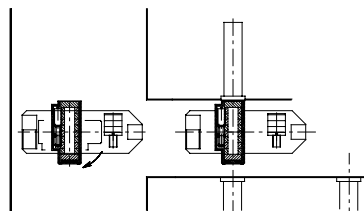
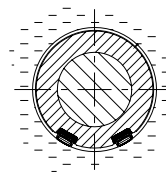
Teknik 4c och 4c*: strålskyddad kapsel i två paket med laddningsrör och ett fordon. Lavetrörelse vid deponeringshålet (4c) eller i transport-tunneln (4c*).

Deponering "i paket", övriga tekniker



5

Teknik 5: strålskyddad kapsel "i paket" med larvbandgående gaffelvagn.



7

Teknik 7: strålskyddad kapsel "i paket" på utlagda gejdrar.

Figur 2-1 (fortsättning). En grafisk sammanställning över maskinutrustning (deponeringsfordon) för deponering av en kapsel i ett horisontellt deponeringshål.

2.2 Deponering i ett horisontellt hål

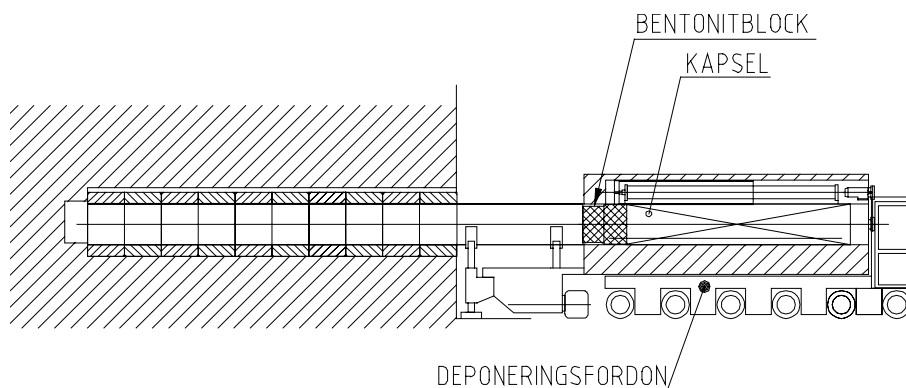
Det huvudsakliga tekniska problemet är att skjuta in tunga föremål in i ett horisontellt, 8 m långt hål. Kapseln med använt kärnbränsle skall ligga i mitten av en jämntjock ring som består av block av kompakterat bentonit. Ett utförande kan vara att placera flera sektioner, formade som ananasringar, efter varandra i hålet så att de tillsammans fodrar hålet och lämnar ett centrumhål där kapseln skall skjutas in.

Det förfarande som är mest rättfram är den teknik som kallats 1a under utvecklingsarbetet och i denna rapport. Karakteristiska draget för denna teknik är användningen av ett guiderör som bärs upp dels av deponeringsfordonet eller av ett stöd utanför fordonet vid hålets mynning, dels av en försänkning i hålets slutna ända där guideröret kan vila, se figur 2-2 nedan. Bentonitblocken träs på utsidan av röret och skjuts in med hydraulik. När bentoniten är på plats skjuts kapseln in i röret, med pluggar i båda ändar av hålet. När bentonit och kapsel är på plats dras guideröret ut från hålet och återanvänds i nästa hål. Guideröret bidrar till att centrera bentonitblocken i hålet och ger ett stöd till den utrustning som skjuter in kapseln. Användningen av ett guiderör gör att den totala påkänningen, i första hand på bentonitblocken, blir mindre: kontakterna mellan bentonitringarna eller bentonitblocken och kapseln blir skonsammare.

På motsvarande sätt förefaller det önskvärt att docka deponeringshålet med hela fordonet. När bentonitblock och kapsel skjuts ut från fordonet lämnar deras tyngdpunkt fordonet. I detta skede erhålles ett vridmoment som leder till att last och fordon kan tippa. Detta moment motverkas av ett motriktat moment från fordonet. Om block och kapsel skjuts ut, framåt eller bakåt, i fordonets längdriktning är momentet som motverkar tippningen större än om de skjuts ut över fordonets kortsida.

Emellertid blir ett sådant guiderör med nödvändighet långt, cirka 12 m, vilket i sin tur ställer krav på utrymme i deponeringstunneln. Ett dockande fordon kräver dessutom ytterligare utrymme för att kunna svänga. Utvecklingen från teknik 1a till andra tekniker och från utvecklingsfas 1 till utvecklingsfas 4 har syftat till att komma bort från guideröret och till att få ner dimensionerna på deponeringstunneln. Om deponeringstunnelnarnas area kan minskas reduceras kostnaderna för att driva tunnelarna och för att återfylla dem. Detta har inneburit ett sökande efter andra tekniska lösningar både för deponeringsprocessen inne i deponeringshålet och för fordonen som levererar bentonit och kapsel till hålet.

Ytterligare en aspekt på användningen av guideröret är risken för inducerad radioaktivitet i detta rör, varför det skall flyttas i ett strålskydd mellan deponeringshålen.



Figur 2-2. Deponering av kapseln i teknik 1a.

2.3 Inplacering i deponeringshålet

Inplaceringen av bentoniten som fodrar hålet och av kapseln i deponeringshålet kan genomföras med olika tekniker. Gemensamt för alla tekniker är det ovannämnda problemet som skall lösas: att skjuta in tunga föremål i ett horisontellt hål, 8 m långt. Toleranserna är snäva och bentonitblocken får inte skadas mekaniskt under deponeringsprocessen, vilket t ex skulle kunna leda till att deponeringen inte kan slutföras, alternativt att långsiktiga funktionen och säkerheten påverkas. Någon form av stöd för kapseln under inskjutningen bör anordnas utanför deponeringsfordonet, till exempel i själva deponeringshålet.

Den lösning ”i delar” som är mest rättfram är den som utgör teknik 1a, se den kortfattade beskrivningen ovan. Teknikerna 1a, 1b samt 1c och dess varianter, 1c-, 1c+, 1c* och 1c*, utgår från ett guiderör som skall återtas när kapseln kommit på plats. I teknik 2 används ett guiderör ”i delar” som lämnas kvar. I de andra tekniker ”i delar” (3, 6 och 8) används inte något guiderör.

Teknikerna med guiderör skiljer sig något: inledningsvis (1a och 1b) avlastas bentonitringarna genom att de träs på ett guiderör som stöds i borte ändan på en försänkning. I teknikerna 1c och varianter träs guideröret in i bentonitringarna som placerats i hålet, vilket ställer mindre krav på guideröret. Det är också lättare att manövrera guideröret i håligheten än en kapsel. Ytterligare en skillnad är att i 1a och 1b fodras hela deponeringshålet med bentonitringar och hålet förseglas med bentonitpluggar med samma diameter som kapseln. Först därefter dras guideröret ut. I teknikerna 1c med varianter dras guideröret ut när kapseln deponerats, varefter deponeringshålet förseglas med bentonitblock (ändplugg).

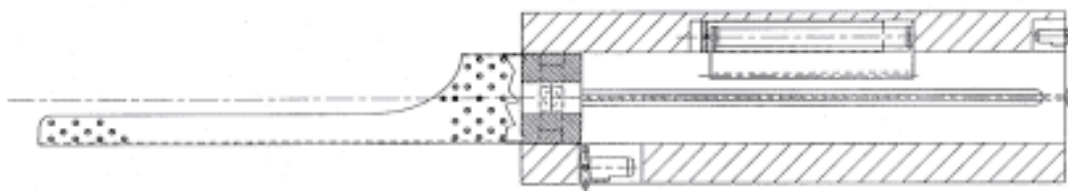
I teknik 3 delas bentonitringar i två halvor som deponeras vid skilda tillfällen. I denna deponering ”i delar” används vagnar som kryper in i hålet och bygger successivt upp hålets innanmäte. Först deponeras en nedre halva av bentonitbarriären av en vagn, exempelvis en gaffelvagn. Sedan bärs kapseln in på plats av en bandvagn som går på ringhalvorna. Till sist deponeras den övre halvan av bentonitbarriären.

I teknikerna 6 och 8 träs kapseln in i hålet i bentonitbarriären utan guiderör eller annan anordning för att skydda bentonitkomponenterna mot mekanisk påverkan från kapseln när den förs in. I teknik 6 byggs bentonitbarriären upp till läget för kapselns främre gavel och i teknik 8 byggs barriären upp endast under en del av kapseln.

Medan kapseln kan i en deponering ”i delar” skjutas eller glidas in, med eller utan hjälp av något guiderör, i en bentonitbuffert som placeras ut i förväg är det svårare att låta ett paket glida mot bergväggen in i hålet. För deponeringen ”i paket” har därför olika tekniker att bära in paketet studerats.

I flera tekniker för deponering ”i paket” (4a, 4b, 4c och 4c*) används ett vridbart laddningsrör för att deponera kapsel och bentonit ”i paket”. Paketet byggs ihop i en skopa, se figur 2-3. Skopan, med sin last, rullas in i hålet och när den förts in helt vrids den 180°. Från att ha varit under paketet med bentonit och kapsel återfinns den efter att vridningen slutförts ovanpå paketet och kan dras ut. Under vridningen rullar paketet ut på botten av deponeringshålet.

I teknik 4a och 4b har hela paketet byggts ihop i ett laddningsrör. För att minska rörets längd, och därmed tunnelbredden, kan man som i 4c och 4c* dela upp deponeringen i två paket: först ett paket med kapsel som har samma längd som kapseln, sedan bentonitblocken som bildar ändpluggen i ett kortare laddningsrör.



Figur 2-3. Strålskyddscylinder med utskjutet laddningsrör.

Med ett vridbart laddningsrör görs inga ingrepp på bentonitbufferten. Om det kan tillåtas att göra spår i buffertens yttre begränsningsyta är det möjligt att utnyttja en gaffelkonstruktion för att bära paketet så att bentoniten inte glider mot bergväggen. I teknik 5 används en gaffelvagn. Till skillnad mot en vanlig gaffeltruck höjs eller sänks lasten inte med gafflarna själva, men med lyftkuddar som placerats på gafflarnas ovanyta. I teknik 7 ger spåren i bentoniten utrymme för gejdrar. Paketet med kapsel och bentonitbuffert glider in i hålet på gejdrarna. Även här används lyftkuddar som vilar på gejdrarnas ovanyta för att höja och sänka paketet.

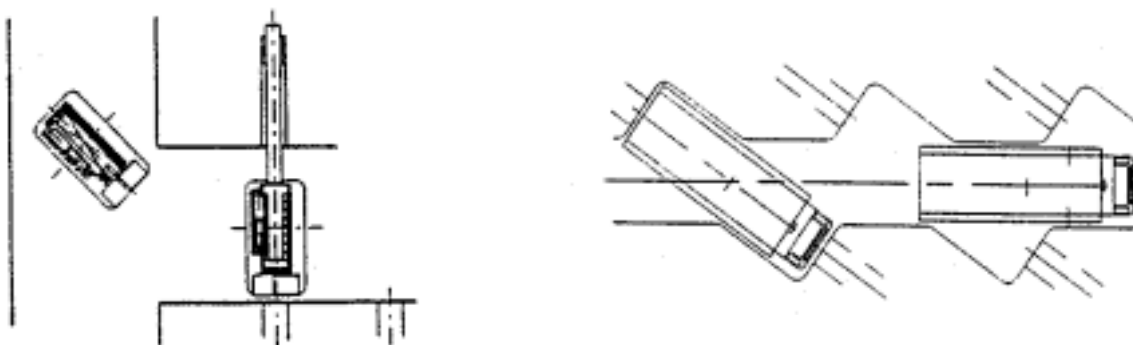
2.4 Kapselns rörelser

Utöver längden på paketen eller komponenter som skall placeras in (eller tas ut) ur ett deponeringshål är det manöverutrymme som behövs för utrustningen, till exempel kolvar eller skruvar som skjuter in kapseln, och för fordonet som bestämmer bredden på deponeringstunneln.

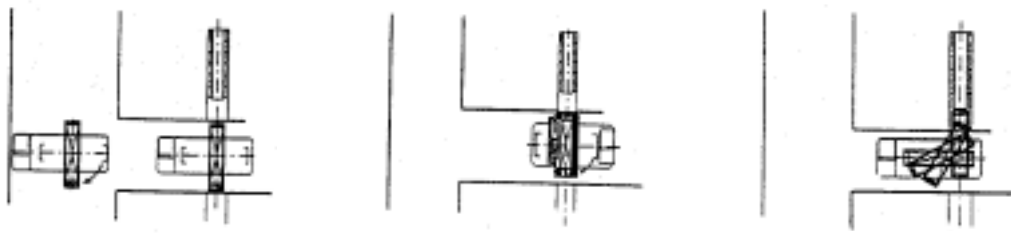
Tre principiella lösningar har studerats:

- hela fordonet dockar med aktern mot hålöppningen,
- kapseln utför en cardanrörelse eller "X-Y" rörelse vid deponeringshålets mynning,
- kapseln utför en lavettrörelse ovanpå fordonet, i transporttunneln eller vid deponeringshålets mynning.

Den mest utrymmeskrävande lösningen är att låta hela fordonet docka. Tunnelns bredd skall vara minst fordonets längd plus något manöverutrymme om deponeringshålet är vinkelrätt mot deponeringstunneln. Om deponeringshålen snedställs, som i teknikerna 2, 3 och 4a kan tunnelbredden och den utbrutna volymen minskas, se figur 2-4. Fordonet



Figur 2-4. Skiss över dockningsmöjligheter med hela fordonet. Överst: deponeringshål vinkelräta mot deponeringstunneln (teknik 1a och 1b). Nederst: snedställda deponeringshål (teknik 2, 3 och 4a).



Figur 2-5. Skiss över de lavettrörelser som studerats för horisontell deponering. Från vänster till höger: lavettrörelse framför deponeringshålet (teknik 1c+, 4b och 4c), lavettrörelse i transporttunneln (teknik 1c+, 4c samt 5 till 8) samt cardanorörelse (teknik 1c, 1c- och 1c*).*

ges det manöverutrymme som behövs genom att snedställda nischer anordnas framför hålen. Mellan hålen behöver tunneln endast vara något bredare än fordonet, som i sin tur endast behöver vara något bredare än strålskyddet i vilket kapseln ligger. Som nämnts ovan är stabilitetsproblemen små med ett dockande fordon när lasten, bentonit eller kapsel, skjuts ut över fordonets akter in i hålet: tyngdpunkten förskjuts i fordonets färdriktning. Utrustningens grad av komplexitet blir betydligt lägre än i de andra lösningarna.

Manöverutrymmet som behövs för själva fordonet kan minimeras om kapseln eller andra komponenter som skall deponeras skjuts ut över fordonets långsida. Under färd kräver en tvärställd kapsel större tunnelbredd än en kapsel med axeln i färdriktningen.

En kompromiss kan vara att transportera kapseln med axeln i färdriktningen och vrida den vid något tillfälle innan den skjuts in i deponeringshålet. De rörelseschema som kan tillämpas illustreras i figur 2-5. Denna vridrörelse kan åstadkommas genom en lavettrörelse framför deponeringshålets mynning eller i transporttunneln. Lavettrörelsen kräver dock ett visst manöverutrymme, och om den utförs i transporttunneln kan deponeringstunnelns bredd minska något. Genom en cardanorörelse (även kallad "X-Y" rörelse) i stället för en lavettrörelse kan utrymmet i deponeringshålets mynning utnyttjas som manöverutrymme vilket minskar deponeringstunnelns bredd ytterligare.

2.5 En kort historik

Hösten 1993 fick ÅF-Industri teknik AB (ÅF-I) i uppdrag från SKB att utveckla och redovisa tekniker och tillhörande teknisk utrustning för deponering av kapslar med använt kärnbränsle, en kapsel per horisontellt borrar deponeringshål. Utvecklingsarbetet har pågått i fyra successiva faser, där målsättningarna för varje tillkommande fas har varit att fördjupa tekniska lösningar. Målsättningen för fjärde och senaste fasen har varit att arbeta fram ett brett underlag där konsekvenserna av teknikvalen belyses. Ur detta underlag skall väljas ett fåtal alternativ som bedöms ha den bästa utvecklingspotentialen. Faserna 2-4 i detta arbete har ingått i projekt JADE.

Arbetet inom projekt JADE med deponeringsteknikerna för medellånga deponeringshål /4/ (MLH) har bedrivits parallellt med arbetet som redovisas i denna rapport.

Under fas 1 studerades åtta tekniker: 1a, 1b och 1c, 2, 3 samt 4a, 4b och 4c. Två av dessa tekniker, 1c och 4c fördjupades under fas 2, varvid 1c delades upp i två varianter: 1c+ och 1c-. Ytterligare tre tekniker, 1c*, 1c+* och 4c* studerades under fas 3. I en avslutande fas 4 vidgades fältet med fyra tekniska lösningar, 5 till 8.

Utvecklingsfas 1

I den första fasen, som utfördes innan JADE initierats, studerades åtta tekniker:

- 1a) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och två fordon.
- 1b) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med delat guiderör och två fordon.
- 1c) Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre fordon. Cardanorörelse.
- 2) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med ej återtaget, delat guiderör och tre fordon. Snedställda deponeringshål.
- 3) Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med tre olika fordon. Tudelade bentonitringar. Snedställda deponeringshål.
- 4a) Deponering av strålskyddad kapsel i ett paket med vridbart laddningsrör. Snedställda deponeringshål. Ingen lavettrörelse.
- 4b) Deponering av strålskyddad kapsel i ett paket med vridbart laddningsrör. Lavettrörelse vid deponeringshålet.
- 4c) Deponering av strålskyddad kapsel i två paket med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavettrörelse vid deponeringshålet.

Utvecklingsfas 2

I den andra fasen, utförd under 1996, bearbetades de mest intressanta lösningarna i fas 1: 1c och 4c. Övriga tekniker bedömdes inte ha tillräckligt stor utvecklingspotential och förkastades. I teknik 1c används en kolv för att trycka in kapseln i deponeringshålet med vatten som hydraulmedium. Detta uppfattades som en svaghet då man erhåller en tämligen stor volym vatten som bestråls av kapseln. Denna svaghet kan arbetas bort genom att ersätta hydrauliska kolven med en skruv som trycker in kapseln (teknik 1c-). Observera att det för övrigt inte finns någon fysisk möjlighet att skapa någon kolvcylinder kring kapseln i teknik 1c-, eftersom kapseln inte är strålskyddad. Strålskyddas kapseln (t ex teknik 1c+) kan valet mellan kolv eller skruv göras senare. Problemet med bestrålad vattnet kvarstår dock om kolvlösningen väljs.

- 1c-) Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse vid deponeringshålet.
- 1c+) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Lavettrörelse vid deponeringshålet.

Dessa tre tekniker, 1c-, 1c+ och 4c, har beskrivits i arbetsrapporter från ÅF-Industriteknik AB vid slutet av 1996.

En så kallad feleffektanalys har utförts för dessa tre tekniker som underlag för en bedömning av om deponeringen skall utföras med eller utan strålskydd under hela deponeringsprocessen. En analys utfördes samtidigt för en MLH-teknik /4/. Under 1996 beslutade SKB, utgående från bland annat detta underlag, att deponering skall utföras med ett strålskydd som omsluter kapseln när den befinner sig i deponeringstunneln. Följaktligen har alla tekniker som utvecklats i fas 3 och 4 innefattat ett omslutande strålskydd.

Utvecklingsfas 3

I anslutning till fas 2 föreslogs några förändringar av ordningen i vilken kapselns rörelser utförs, vilket möjliggör en reducering av tunnarnas tvärsnittsarea. Denna ändrade ordningsföljd utgör grunden för de två tekniska lösningarna i utvecklingsfas 3 som utgår från teknikerna 1c+ och 4c i fas 2: 1c+* och 4c*. Under arbetet identifierades även en tredje teknisk lösning som kan leda till ett minskat tunneltvärsnitt trots närvaron av ett strålskydd. Dessutom föreslogs att deponeringsfordonet förs fram på räls i stället för på gummihjul. De tekniska lösningarna i fas 3 är alltså:

- 1c+*) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Lavetrörelse i transporttunneln.
- 4c*) Deponering av strålskyddad kapsel i två delar med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavetrörelse i transporttunneln.
- 1c*) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanrörelse.

Teknik 1c* är en kombination av 1c- och 1c+ som leder till den (i detta arbete) minsta tvärsnittsarean på deponeringstunneln. Utvecklingsarbetet genomfördes under slutet av 1996.

Utvecklingsfas 4

För att bredda utvecklingsarbetet genomfördes under slutet av 1996 och början av 1997 en bred översyn av möjliga tekniska lösningar till deponeringen av kapsel och bentonit i ett horisontellt hål. Vid denna översyn, vilken benämns utvecklingsfas 4, där även experter anlitade av SKB gavs möjlighet att föreslå nya tekniska lösningar, identifierades ytterligare fyra deponeringstekniker för KBS-3 H:

- 5) Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med larvbandgående gaffelvagn och ett deponeringsfordon.
- 6) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med två fordon. Strålskyddstub med plunge.
- 7) Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” på utlagda gejdrar med ett fordon.
- 8) Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med två fordon. Strålskyddstub med plunge. Kapseln delvis utanför strålskyddet i deponeringshålet. Lavetrörelse i transporttunneln.

Motsvarande breda översyn av möjliga tekniska lösningar utfördes samtidigt för MLH variantens tekniska lösningar /4/.

3 Förutsättningar

Förutsättningarna för utvecklingsarbetet med deponeringstekniker för KBS-3-metoden är delvis sammanställda i /2/. De gäller för samtliga varianter: såväl för horisontella (KBS-3 H), för vertikala (KBS-3 V) som för medellånga (MLH) deponeringshål.

Utvecklingen av deponeringstekniker för KBS-3 H inleddes innan dessa förutsättningar fastställdes. Hänsyn har därför inte kunnat tas till samtliga dessa förutsättningar när teknikerna i fas 1 togs fram. Emellertid innebär inte avvikelser från förutsättningarna att deponeringens olika funktioner inte skulle uppfyllas.

Nedan lämnas en kort beskrivning av:

- djupförvaret,
- de viktigaste geometriska förutsättningarna,
- ändringarna i vissa förutsättningar som hänför sig till drivsystem, utformningen av deponeringshål och bentonitringar i bufferten.

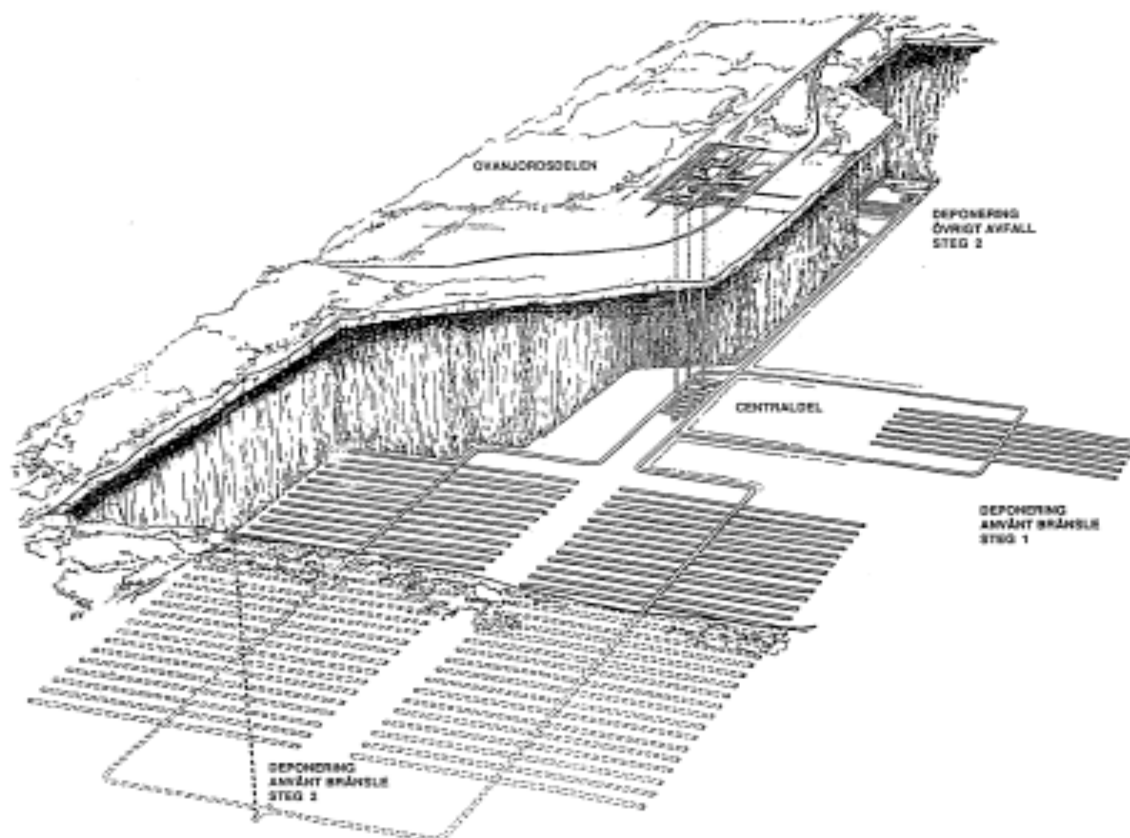
Avslutningsvis definieras och diskuteras några styrtekniska begrepp som används i denna rapport.

3.1 Djupförvaret

Djupförvaret består av ett centralområde och deponeringsområden placerade på cirka 500 m djup, se figur 3-1. Centralområdet består av bergrum, schakt och tunnlar och innefattar bland annat utrymmen för hantering av kapslar, hissar, verkstäder, förråd med mera. Deponeringsområdet är uppdelat på två delområden: deponeringsområde 1 och deponeringsområde 2.

Avståndet mellan kapslarna styrs av temperaturutbredningen i djupförvaret och den högsta tillåtna temperaturen på kapselns yta (100°C) och i den omgivande bentoniten. Temperaturutbredningen bestäms av värmeavgivningen från kapslarna, förvarets utformning och bergmassans respektive bentonitens termiska egenskaper.

För referensmetoden KBS-3 V är avståndet mellan deponeringstunnlarna beräknat till 40 m och avståndet mellan kapslarna beräknat till 6 m. Längden på deponeringstunnlarna kommer att variera mellan 100 och 500 m beroende på de geologiska förutsättningarna.



Figur 3-1. En översiktsbild över djupförvaret.

3.2 De viktigaste geometriska förutsättningarna

Med geometriska förutsättningar menas de parametrar som anger de hanterade komponenternas storlek och vikt samt storleken på utrymmen där dessa komponenter skall hanteras.

- Kapselns dimensioner är: ytterdiameter på 1 050 mm och längd på 4 833 mm.
- Kapseln beräknas väga 30 ton.
- Bentonitblockens dimensioner är: diameter på 1 650 mm och höjd på 500 mm vilket innebär en vikt på cirka 2,5 ton per block.
- Bentonitringarnas dimensioner är: innerdiameter på 1 070 mm, ytterdiameter på 1650 mm och höjd på 500 mm, vilket innebär en vikt på cirka 1,5 ton per ring.
- Deponeringshålets diameter är 1 750 mm.
- Deponeringshålets längd är 7 830 mm.

Deponeringstunnelns tvärsnitt anpassas till maskinutrustningens behov av utrymme vid deponering.

3.3 Ändringar i förutsättningarna

3.3.1 Drivsystem

I JADE projektet förutsätts ett drivsystem med eldrift via kabel eller skena, vilket kan betecknas som ett "icke autonomt" drivsystem.

För fordonen i de deponeringsutrustningar som studerats för KBS-3 H förordar ÅF-Industriteknik AB ett autonomt drivsystem med någon typ av förbränningsmotor utvecklad för drift i slutet rum som baskraftkälla.

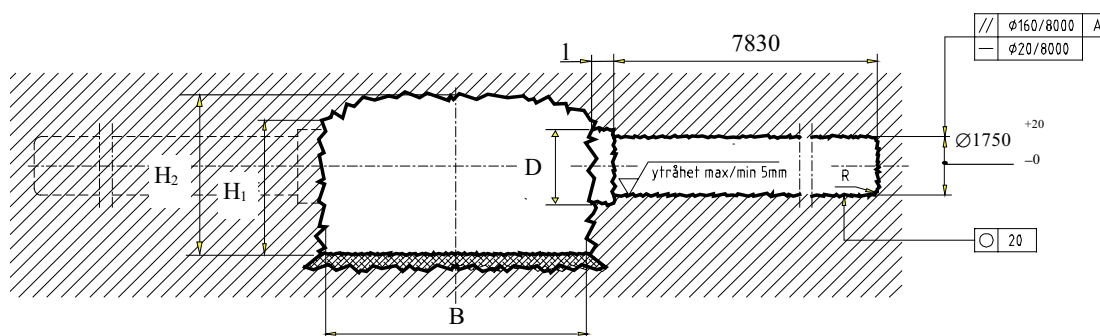
Författarna till föreliggande rapport rekommenderar att inte redan nu utesluta det autonoma drivsystemet. I nuvarande skede av utvecklingsarbetet skulle därmed upprätthållas en bredare valmöjlighet. I föreliggande rapport har ställning inte tagits, i avvaktan på att en bredare och djupare riskanalys belyser för- och nackdelar för respektive system på ett mera konkret sätt. Vid det slutgiltiga systemvalet kan resultat från en sådan riskanalys vägas ihop med andra faktorer såsom ekonomi.

I ett autonomt drivsystem finns alla driftkomponenter alltid på ett enda ställe, fordonet. I ett icke-autonomt system har komponenter spridits till olika platser i det område som trafikeras. Detta återverkar dels på kostnaderna (installation av systemen, service, rivning), dels på driftsäkerheten (möjliga problem är alltid lokaliserade till en enda punkt med ett autonomt system). Risken för att felen fortplantas inom känsligt område bedöms vara mindre med ett autonomt system.

3.3.2 Deponeringshål

Utformningen av deponeringstunnelns sektion och av deponeringshålet som redovisas i denna rapport följer i stort förutsättningar i JADE-projektet. Ett undantag är den försänkning i deponeringshålets mynning som föreslagits i KBS-3 H sammanhang. Syftet med försänkningen, se figur 3-2, är att bidra till att eliminera läckage av strålning när deponeringsutrustning dockas till hålet. Deponeringstunnelns och försänkningens dimensioner beror på deponeringsutrustningens dimensioner. De förra måtten (B, H1, H2, D och l i figur 3-2) anges i beskrivningen för varje metod.

En komplettering till förutsättningarna utgörs av den tolerans som införts för deponeringshålets nominella diameter, se figur 3-2.



A: centrumlinje för ett teoretiskt deponeringshål borrar i horisontellt plan i normalens riktning mot tunnelns längdriktning

Figur 3-2. Tvärsnitt, deponeringstunnel.

3.3.3 Strålskydd

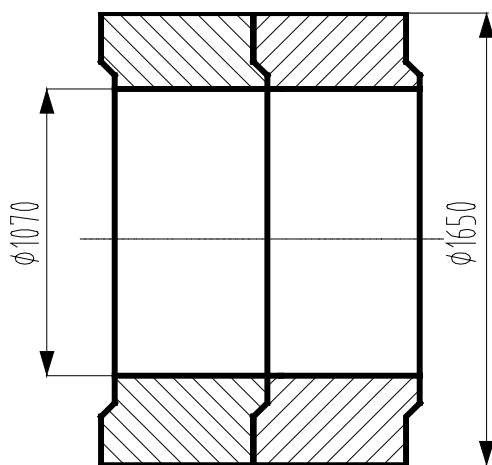
I projekt JADE förutsätts att strålskärmen består av stål (tjocklek cirka 130 mm) och polyeten (tjocklek cirka 100 mm). Avvikelse från denna förutsättning har gjorts på två punkter i arbetet som redovisas i föreliggande rapport.

Den ena avvikelserna består i att när ett helt paket deponeras räknas bentonitbufferten med som strålningsavskärmade komponent. Därav följer att de dimensioner som förutsätts i JADE för skärmens tjocklek reduceras. Tjockleken för strålningskärmens del av stål kommer i princip att reduceras i proportion motsvarande förhållandet mellan stålets och den kompakterade bentonitens densiteter. Observera att bentoniten innehåller vatten vilket påverkar avskärmningen.

För att förhindra läckage av strålning i skarvarna mellan bentonitringarna föreslås dessa få en utformning enligt figur 3-3.

Den andra avvikelserna rör strålskyddets placering i förhållande till kapseln. Möjligheten att hantera en kapsel med eller utan begränsat strålskydd i deponeringstunneln har studerats i projekt JADE. Området skall i så fall avgränsas fysiskt så att oavsiktligt tillträde omöjliggörs. När avsikten har varit att studera konsekvenserna av att inte strålskydda kapseln har en sådan avgränsning införts. ÅF-Industri teknik har emellertid från början förordat ett tubformat strålskydd direkt kring kapseln, motsvarande transportbehållaren för kapseln. Därför har ett sådant skydd införts i den tekniska lösningen där förutsättningarna annars skulle kunnat påkalla en strålningskärm.

Det kan för övrigt noteras att strålskyddets utformning varit en viktig frågeställning under projektarbetet i JADE. Utgående från analysen som utförts inom ramen för projekt JADE samt från Maskinrådets /2/ sammanfattande rekommendation har SKB under våren 1997 beslutat att i alla tekniska lösningar för deponering, oberoende deponeringsvariant, skall ingå ett tubformat strålskydd kring kapseln.



Figur 3-3. Bentonitringar.

3.4 Styrtekniska begrepp

Övervakning, kontroll och styrning av en deponeringsprocess kräver mänsklig medverkan. Hur denna medverkan integreras i processen beror på ett antal faktorer (till exempel strålskydd) samt på de teknikval som gjorts.

Beslut har fattats om att kapseln skall transporteras i ett omslutande strålskydd fram till deponeringshålet, det vill säga även i deponeringstunneln. Beslutet innebär att såväl vissa överväganden under projektarbetet som att några av de deponeringstekniker som redovisas i denna rapport blir mindre aktuella. Icke desto mindre bör dessa överväganden och tekniker redovisas.

Avsikten med detta avsnitt är att skapa förutsättningar för förtydligandet av styrtekniska frågor aktuella under utvecklingsarbetet. Mycket i framställningen nedan kan därför ibland förefalla vara självklarheter av generell natur.

Inledningsvis ges definitioner på de begrepp som används i rapporten. Den ena frågan som ställs är manuell drift eller automatiserad drift. Den andra frågan är hur processoperatörens arbete skall utformas. Därefter beskrivs de avvägningar som förutses behöva göras i valet av styrsystem för deponering av kapslar med använt kärnbränsle i ett slutförvar.

Med **manuell drift** menas att operatören styr en maskin, en utrustning eller en process med ett system utan automatik eller med ett system där automatiken inte utnyttjas. Operatören övervakar processen genom att följa den okulärt eller med hjälp av instrument. Han eller hon korrigerar manuellt för avvikelser från avsett förlopp.

Manövrering innebär manuell drift via direkt kopplade reglage. Operatören styr varje rörelse under en operation. I strikta termer manövreras en maskin eller annan utrustning endast via direkt kopplade reglage. Detta utesluter styrning av till exempel en lastbilskran från en styrpulp med en så kallad joystick. I dagligt tal kan en sådan situation ändå uppfattas som manövrering. Denna vidare gränsdragning syftar således mer på manuell drift, med operatörens syn som enda återkoppling mellan process och operatör.

Motsatsen till manuell drift är **automatiserad drift**, där operatören styr, kontrollerar och övervakar processen med hjälp av ett styrsystem. Systemet övervakar processen med hjälp av sensorer och instrument och styr processen enligt ett program som lagrats i systemet. När processen avviker från det avsedda förloppet korrigerar styrsystemet processen. Operatörens medverkan är episodisk.

Fördelen med manuell drift är friheten att fatta beslut under processen: operatören kan anpassa processens gång eller ändra den utifrån de variationer i förhållanden som han eller hon observerar och parera för oväntade förlopp. Fördelen med automatisering är en större precision än enbart mänskliga ingrepp tillåter, vilket bland annat medför en bättre repeterbarhet.

I ett helautomatiserat ytterlighetsfall startar operatören processen och avslutar den i styrsystemet utan att ingripa dessemellan. Vanligen inrättas inte helautomatiserade styrsystem av flera skäl. Ett av dem är kostnaderna som uppförandet av ett sådant system innebär, och ett annat är önskemålet om flexibilitet.

Nästa fråga är hur **operatörens arbete** utformas. Operatören kan manövrera maskiner eller styra processen på eller invid maskinerna. Alternativt kan operatören styra från ett centralt beläget kontrollrum. I första fallet utförs processen inom synhåll för operatören och i det andra fallet utom synhåll. I det senare fallet används kameror för ge operatören möjligheten att följa processen okulärt.

Omfattningen av den information som skall överföras av ett kommunikationssystem beror inte endast av antalet funktioner som skall styras och av den information som styrsystemet kräver men i mycket stor utsträckning av om processen skall övervakas med ett kamerasystem eller inte.

Styrning eller manövrering inom synhåll (på engelska: line-of-sight remote control) kan ordnas med fast eller trådlös länkning inom några få meter. Ingen utrustning behövs för operatörens okulära övervakning av den process han styr.

För styrning eller manövrering från utom synhåll eller från ett kontrollrum (på engelska: teleoperated remote control) måste fasta länkar installeras. Övervakningen av processen med kameror, vilken kräver hög, snabb överföringskapacitet hos kommunikationssystemet, är avgörande i detta sammanhang. Investeringen i kommunikationssystem blir större för ett sådant styrsystem än för ett system där operatören vistas inom synhåll för händelseförloppet. Ett nödvändigt komplement till arbetet i ett kontrollrum för en industriell process är den rondering som operatören eller dess medhjälpare utför.

För en diskussion av automatisering, styrsystem och kommunikationssystem i gruvmiljö hänvisas till /5/.

För **valet av styrsystem** i deponerings-sammanhang samverkar flera faktorer till att graden av automatisering av samtliga operationer under deponeringen av kapslarna med använt kärnbränsle i slutförvaret bör vara hög. Detta innebär bland annat att manuell drift eller manövrering, där operatören har full frihet att fatta beslut bör förses med ett av operatören oberoende system vars uppgift **inte är att styra utan att hindra** fel operatörsbeslut med svåra konsekvenser. Till exempel, under transporter kan man låta fordonets styrsystem utnyttja ett guidesystem i tunneln som anvisar den "rätta" vägen. Fordonets styrsystem hindrar fordonet att lämna denna väg, avsiktligt eller oavsiktligt.

En dominerande faktor för behovet av automatisering är behovet av precision, vilken är en förutsättning för deponeringsprocessens **repeterbarhet** (kvalitetssäkring). Precis deponering i ett hål är en förutsättning för de snäva toleranser som är nödvändiga för inplaceringen av bentonitbufferten och av kapseln samt för säkerställandet av dess funktion. Behovet har även ekonomiska grunder. Precis navigering och styrning av fordonen medger trängre tunnlar, och därmed mindre volymer utbrutet berg och lägre kostnader.

Förekomsten eller avsaknaden av ett **strålskydd kring kapseln** är av avgörande betydelse för hur operatörens arbete skall inrättas. Det är även av avgörande betydelse för de åtgärder som kan eller måste vidtas vid missöden. Under arbetet med deponeringsvarianter respektive tekniker har SKB beslutat att kapslarna skall vara omslutna av ett strålskydd under hela deponeringsprocessen. När arbetet med utvecklingen av olika tekniska lösningar för horisontell deponering inleddes skulle dock såväl tekniker utan strålskydd som tekniker med strålskydd bearbetas. Konsekvenserna av förekomst eller avsaknad noteras därför i avsnittet "Fördelar och nackdelar" i den formella framställningen för varje teknisk lösning.

Om kapseln är avskärmd i exempelvis en strålskyddstubb kan en operatör vistas i närheten för att styra och kontrollera operationerna samt okulärt följa händelseförloppet. Transporten i tunnlar till deponeringshålet och deponeringen i hålet kan utföras inom synhåll för operatören.

Om kapseln inte är avskärmd är det inte möjligt för en människa att vistas i dess närhet eller i närheten av den utrustning som hanterar en kapsel. Operatören styr och kontrollerar då transporten i tunnlar och deponeringen från bakom en strålskärm i transporttunneln eller från ett centralt kontrollrum. Händelseförloppet är utom synhåll och för att operatören skall kunna följa det behövs ett internt övervakningssystem med kameror.

För att karakterisera det styr- och kommunikationstekniska behovet hos deponeringsteknikerna i denna rapport används begreppen "fjärrstyrning inom synhåll" och "fjärrstyrning med kameraövervakning".

I och med att SKB beslutat att deponering skall utföras med strålskydd kring kapseln är behovet av "fjärrstyrning med kameraövervakning" som motiveras av strålningen inte lika stort. Deponeringsprocessen kan styras från inom synhåll eller från ett kontrollrum utom synhåll för processen. Valmöjligheten finns kvar.

4 Tekniska lösningar avseende deponering med guiderör

4.1 Teknik 1a – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och två fordon

4.1.1 Allmän beskrivning

Bentonit och kapsel deponeras vid olika tidpunkter. Ett guiderör som tar stöd i en försänkning i deponeringshålets botten används för deponeringen av både bentonit och kapsel. I denna teknik utförs deponeringsprocessen i fem separata steg. Två olika fordon används vid deponeringen. Kapseln är strålskyddad.

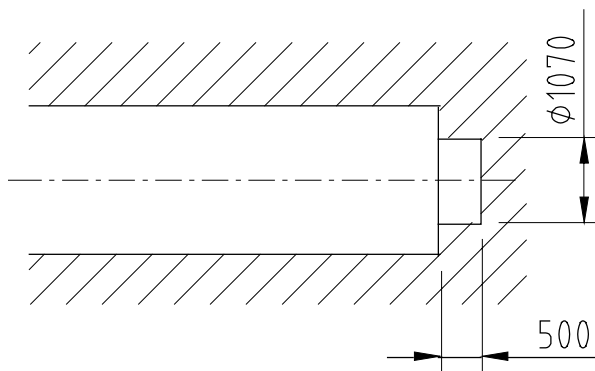
Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 13$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 7,3$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 0$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0$ meter

Dessa dimensioner ger en total utbruten bergvolym av 73 m^3 per m deponeringstunnel (exklusive deponeringshålets volym) eller 160 m^3 per deponeringshål.

Deponeringshålet har en centrerad fördjupning i den botten gaveln som stöd för guideröret, se figur 4-1 nedan.

Om deponeringshålen snedställs kan tunnelbredden och den utbrutna volymen minskas. De snedställda nischer som anordnas framför hålen för att underlätta borringen av hålen kan även formas för att ge deponeringsfordonet det manöverutrymme som behövs. Mellan hålen behöver tunneln endast vara något bredare än fordonet. Om hålen snedställs med 34° minskar den brutna bergvolymen med cirka 10 m^3 per meter deponeringstunnel jämfört med deponeringshål vinkelräta mot tunneln.



Figur 4-1. Försänkning i deponeringshålets botten.

Deponeringsprocessen

Deponeringssekvensen redovisas på ritningarna (se Bilaga 1):

- SKB-DEP-101
- SKB-DEP-102

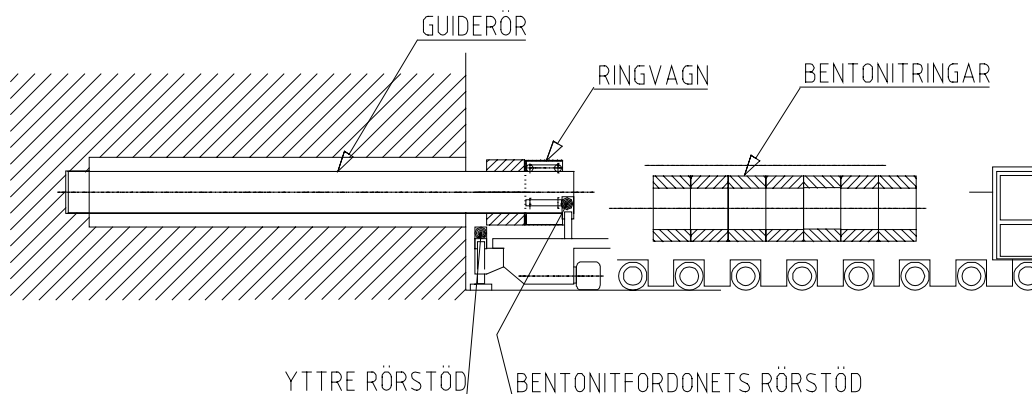
De fem stegen i deponeringsprocessen är följande:

1. guideröret placeras in i deponeringshålet,
2. bentonitringarna träs på utsidan av guideröret,
3. kapseln skjuts in i guideröret,
4. förseglande bentonitblock skjuts in i guideröret och
5. guideröret dras ut.

I början av deponeringsprocessen lastas guideröret på ett deponeringsfordon i centralområdet och deponeringsfordonet kör fram till första deponeringshålet. I fortsättningen av deponeringen kan fordonet hämta guideröret från det deponeringshål där den senaste kapseln deponerats.

Första steget (inskjutning av guideröret) inleds med att deponeringsfordonet med guideröret positioneras framför aktuellt deponeringshål. En rörformad matare (integrerad på fordonet) matar sedan ut guideröret ur ett tubformat strålskydd på deponeringsfordonet in i deponeringshålet. Guideröret skjuts in i en fördjupning i botten på hålet. Ett yttre rörstöd placeras under röret, guiderörsmataren frigörs, varefter deponeringsfordonet lämnar platsen.

I andra steget (deponering av bentoniten) används ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, här benämnt bentonitfordon. Bentoniten lastas på fordonet i centralområdet och transporteras till deponeringstunneln. Fordonet positioneras framför aktuellt deponeringshål, dockar mot det yttre rörstödet varvid elementen placeras ett i taget i hålet.



Figur 4-2. Deponering av bentonitringar utanpå guideröret.

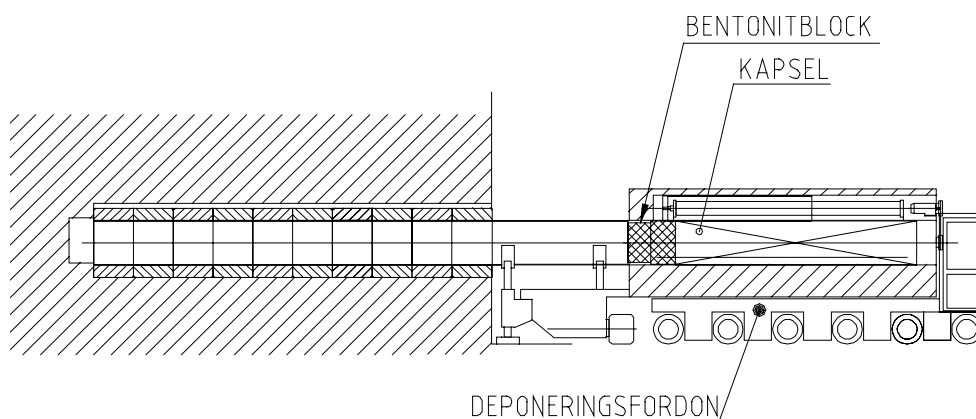
Deponeringssekvensen startar med att första bentonitringen lyfts upp av en lyftanordning integrerad på bentonitfordonet. Lyftanordningen lyfter ringen till samma höjd som guideröret, trär på ringen utanpå röret och skjuter den fram till det yttre röstödet. En rörformad vagn, här kallad ringvagn, placeras på guideröret utanför bentonitringen. Ett stöd på fordonet fälls fram och håller guideröret. Det yttre röstödet fälls bort varefter ringvagnen skjuter bentonitringen till botten av deponeringshålet och går sedan i retur. Yttre guideröstödet fälls fram och stöder guideröret, guideröstödet på fordonet fälls bort och ringvagnen lyfts bort från guideröret. Proceduren upprepas till dess alla bentonitringarna är på plats fram till deponeringshålets mynning. Fordonet lämnar hålet.

Inför det tredje steget (deponering av kapseln) transporteras kapseln med det använda bränslet ner till centralområdet, cirka 500 m under marknivån, med hjälp av ett yttransportfordon. Kapseln flyttas, antingen i centralområdet eller vid mynningen av den aktuella deponeringstunneln, till deponeringsfordonet. Deponeringsfordonet transporterar kapseln inuti ett tubformat strålskydd fram till deponeringshålet och dockas där med det yttre röstödet.

Kapseln skjuts in i guiderörets mynning av samma matare som guideröret skjutits in med i deponeringshålet. När kapseln kommit in i mynningen fälls mataren undan. Ett pneumatiskt aggregat fälls in från sidan av strålskyddet, in till centrumlinjen på kapseln. Med aggregatet skjuts kapseln in till önskat läge, i botten av guideröret. Därefter returneras pneumatiska aggregatet.

Efter att inmatningen slutförts är kapseln inuti det tidigare placerade guideröret, cirka 2 m innanför den yttersta bentonitringen. Innanför kapseln ligger ett bentonitblock, som passar inuti den innersta bentonitringen. Deponeringsfordonet lämnar deponeringshålet.

Fjärde steget (deponeringen av förseglade bentonitblocken) inleds med att deponeringsfordonet körs till centralområdet där det lastas med de förseglade bentonitblocken. Fordonet kör tillbaka till deponeringshålet och dockar återigen mot det yttre röstödet. Bentonitblocken lyfts med en integrerad lyftanordning, äntras i guiderörsmynningen och skjuts in inuti de redan deponerade ringarna (utanför kapseln) med hjälp av det pneumatiska aggregatet.



Figur 4-3. Deponering av kapsel.

I femte steget (guideröret dras ut ur deponeringshålet) används det pneumatiska aggregatet som mothåll mot det yttre bentonitblocket, som det nyss skjutit in, i guideröret. Ett annat mothåll anbringas mot den yttre bentonitringen. Guideröret dras tillbaks in i strålskyddet på deponeringsfordonet med hjälp av mataren. Fordonet körs sedan bort och positioneras vid nästa deponeringshål, där det skjuter in guideröret enligt steg ett. Alternativt går fordonet tillbaka till centralområdet, exempelvis i det fall deponeringssekvensen är slutförd.

4.1.2 Maskinbeskrivning

Bentonitelementen och kapseln deponeras vid olika tidpunkter, i fem separata steg. Guideröret utnyttjas vid deponeringen av både bentonit och kapsel. Två olika fordon används vid deponeringen: ett deponeringsfordon och ett bentonitfordon.

Deponeringsfordonet

Deponeringsfordonet positioneras tre gånger vid varje hål, utför olika arbeten vid dessa tillfällen, varför det måste vara utrustat med ett flertal komponenter.

Deponeringsfordonet utför följande aktiviteter:

- Första gången placeras guideröret in i deponeringshålet.
- Andra gången skjuts ett bentonitblock och kapseln in inuti guideröret.
- Tredje gången skjuts de förseglande bentonitblocken på plats och guideröret dras ut.

Fordonet är cirka 12,5 m långt, 2 m brett, 3 m högt och har en uppskattad totalvikt på 90 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 10 st. Varje hjul är styrt och drivet individuellt.

Deponeringsfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulburet fordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp som är installerad på fordonet (se avsnitt 3.3.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- ett tubformat strålskydd med rörformad matare (ringvagn) för inskjutning av guideröret respektive kapseln. Elmotordrivna rullar inuti mataren utför inskjutningen.
- en elmotordriven bärarm för att lyfta på ringvagnen på guideröret,
- två rörstöd för att hålla guideröret i deponeringshålet. Ena rörstödet kan kopplas loss från deponeringsfordonet. Bägge stöden är fällbara, så att bentonitringar kan passera förbi.
- en eldriven lyftanordning för bentonitblock,
- ett pneumatiskt inskjutningsaggregat för kapseln,
- två mothåll för att hålla kapsel respektive bentonitringar vid utdragning av guiderör, samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon, bentonitringar, guiderör och kapsel.

Bentonitfordon

Fordonet är cirka 12,5 m långt, 2 m brett, 2,7 m högt och har en uppskattad totalvikt på 35 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 8 st (4 axlar). Varje axel har egen drivning och är individuellt styrd.

Bentonitfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummi-hjulburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp som är installerad på fordonet (se avsnitt 3.3.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en elmotordriven lyftanordning för att placera bentonitringar på guideröret,
- ett röstöd för att hålla guideröret i deponeringshålet. Röstödet är fällbart, så att bentonitringar kan passera förbi.
- en elmotordriven rörformad ringvagn som skjuter bentonitringarna utanpå guideröret från bentonitfordonet in i deponeringshålet,
- en elmotordriven bärarm för att lyfta på ringvagnen på guideröret samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon, bentonitringar och guiderör.

4.1.3 Processbeskrivning

Tekniken beskrivs nedan steg för steg med den för tekniken avsedda maskinutrustningen:

1. Guideröret lastas på deponeringsfordonet vid första deponeringen i en deponeringssekvens. Detta sker i centralområdet.
2. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringstunneln och positioneras där framför aktuellt deponeringshål, i rak linje ut från hålet.
3. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
4. Guideröret matas in i deponeringshålet och styrs in i fördjupningen i bortre gaveln. Matningen sker med en ringformad matare försedd med rullar på innerdiametern.
5. Ett yttre röstöd placeras under röret utanför hålet.
6. Fordonet körs till centralområdet för att lasta kapseln. Guideröret och det yttre röstödet lämnas kvar.
7. Bentonitfordonet lastas under tiden med bentonitringarna i centralområdet.
8. Bentonitfordonet körs fram och dockar med det yttre röstödet.
9. En bentonitring lyfts upp och träs på guideröret, fram till det yttre röstödet, med en lyftanordning på fordonet.
10. En "ringvagn" placeras efter bentonitringen på guideröret. Vagnen svängs dit med en bärarm på bentonitfordonet.
11. Ett fordonsbundet stöd placeras under röret varefter det yttre röstödet fälls undan.
12. Ringvagnen drar sig framåt med rullar mot guideröret (och skjuter bentonitringen framför sig) in till botten av hålet.

13. Ringvagnen går i retur, det yttre röstödet fälls tillbaka och det fordonsbundna röstödet fälls undan.
14. Ringvagnen dockas med bärarmen och matar ut guideröret ur försänkningen i deponeringshålet.
15. Ringvagnen svängs undan från guideröret.
16. Steg 10 till 14 och 15 upprepas tills hela hålet är fyllt med bentonitringar.
17. Bentonitfordonet lämnar deponeringshålet. Guideröret och det yttre röstödet lämnas kvar.
18. Deponeringsfordonet körs fram och dockar med det yttre röstödet.
19. Ett bentonitblock och bränslekapseln skjuts in till kanten på guideröret med en linjär rörelse, rörelsen utförs med ett par kuls kruvar.
20. Kuls kruvarna går i retur.
21. Ett pneumatiskt mothåll fälls in från sidan av strålskyddet och skjuter in kapseln samt den inre bentonitblocket till botten av hålet.
22. Mothållet dras in och fälls undan till facket den kom ifrån.
23. Deponeringsfordonet lämnar hålet för att lastas med de förslutande bentonitringarna i centralområdet.
24. Fordonet dockar återigen med det yttre röstödet.
25. En integrerad lyftanordning på deponeringsfordonet hämtar bentonitblocken och placerar dem i guiderörets mynning.
26. Det pneumatiska mothållet fälls åter in till centrumlinjen.
27. Bentonitblocken matas in i guideröret (inuti bentonitringarna), en i sänder med mothållet tills dess hålet är fyllt.
28. Mothållet pressas mot det yttersta bentonitblocket.
29. Ett annat mothåll pressas mot den yttersta bentonitringen.
30. Deponeringsfordonets matare svängs i position och matar ut guideröret ur deponeringshålet, in i strålskyddet på deponeringsfordonet.
31. Det yttre röstödet lyfts tillbaka på fordonet, detta lämnar hålet och utför punkt 2 alternativt körs till centralområdet om deponeringssekvensen är avslutad.

4.1.4 Fördelar och nackdelar med teknik 1a

Sammanställningen av fördelar och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Samtliga fordon kan manövreras eller fjärrstyras på nära håll. Fjärrstyrning med kamerasystem är inte nödvändig.
2. Lätta (relativt) fordon.
3. Bentonitelementen är tillgängliga under en deponeringsprocess relativt enkelt och relativt länge.
4. Enkelt att reparera skadad bentonit innan kapseln deponeras.
5. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
6. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till stråltekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
7. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.

Nackdelar

1. Stor tunnelarea på grund av deponering med fordon på tvären i deponeringstunneln.
2. Flera fordon används, det vill säga ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
3. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
4. Strålskyddet innebär ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
5. Ett guiderör, som är längre än deponeringshålet, används.
6. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
7. Tiden mellan deponering av bentonit och kapsel är begränsad på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
8. Försänkning i deponeringshålets botten för stöd av guiderör.
9. Många hanteringsmoment vid deponeringen av bentonitringar.

4.2 Teknik 1b – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med delat guiderör och två fordon

4.2.1 Allmän beskrivning

Tekniken är i huvudsak samma som teknik 1a (föregående avsnitt) med skillnaden att guideröret sammansätts av två rör som gängas ihop. Syftet med denna delning av guideröret är att minska deponeringstunnelns bredd.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 8$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 6$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 0$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0$ meter

Dessa dimensioner ger en total bruten bergvolym av 40 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshållets volym) eller 100 m^3 per deponeringshål.

Om deponeringshålen snedställs kan tunnelbredden och den utbrutna volymen minskas. De snedställda nischer som anordnas framför hålen för att underlätta borrhningen av hålen kan även formas för att ge deponeringsfordonet det manöverutrymme som behövs. Mellan hålen behöver tunneln endast vara något bredare än fordonet. När hålet snedställs med 53° minskar den utbrutna bergvolymen med cirka 10 m^3 per meter deponeringstunnel jämfört med deponeringshål vinkelräta mot tunneln.

Deponeringsprocessen

Deponeringsprocessen för teknik 1b är i stort identisk med processen för teknik 1a. Skillnaden mellan dem är att guideröret är tvådelat i teknik 1b.

Guiderörsdelen gängas ihop efter att första halvan matats in i hålet med en skarvningsutrustning, integrerad på fordonet. Den andra guiderörsdelen är placerad utanför strålskyddskapseln. Isärtagningen går till på motsvarande sätt.

4.2.2 Maskinbeskrivning

Bentonitelementen och kapseln deponeras vid olika tidpunkter, i fem separata steg. Guideröret utnyttjas vid deponeringen av både bentonit och kapsel. Två olika fordon används vid deponeringen: ett deponeringsfordon och ett bentonitfordon.

Deponeringsprocessens genomförande och därtill nödvändig utrustning är i stort identiska för 1a och 1b teknikerna.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonet är lika fordonet för teknik 1a (avsnitt 4.1.2) men kompletteras med skarvutrustning för tvådelat guiderör.

Bentonitfordon

Bentonitfordonet är lika fordonet för teknik 1a (avsnitt 4.1.2).

4.2.3 Processbeskrivning

Tekniken är lika teknik 1a (avsnitt 4.1.3) med undantag för skarvningen av guideröret.

1–3. Identiskt med punkt 1–3 i teknik 1a.

4. Guiderörets första del matas in i deponeringshålet. Matningen sker med en ringformad matare ("ringvagn"), försedd med rullar på innerdiametern.

Guiderörets andra del gängas ihop med den första, hela röret matas in i deponeringshålet och styrs in i fördjupningen i botten. Matningen sker med samma ringformade matare ("ringvagn") som ovan.

5–30. Identiskt med punkt 5–30 i teknik 1a.

31. Deponeringsfordonets matare svängs i position och matar ut guideröret ur deponeringshålet, in i strålskyddet på deponeringsfordonet. Guideröret gängas isär efter att första halvan gått genom mataren.

32. Det yttre rörstödet lyfts tillbaka på fordonet, detta lämnar hålet och utför punkt 2 alternativt körs till centralområdet om deponeringssekvensen är avslutad.

4.2.4 För- och nackdelar

Sammanställningen av fördelar och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Samtliga fordon kan manövreras eller fjärrstyras på nära håll. Fjärrstyrning med kamerasystem är inte nödvändig.
2. Lätta (relativt) fordon.
3. Bentonitelementen är tillgängliga under en deponeringsprocess relativt länge och relativt enkelt.
4. Enkelt att reparera skadad bentonit före deponering av kapsel.
5. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
6. "Normala", enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till stråltekniska aspekter på grund av strålskyddscynder.
7. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.

Nackdelar

1. Stor tunnelarea på grund av deponering med fordon på tvären i deponeringstunneln. (Mindre tunnelarea än teknik 1a på grund av att guideröret delats).
2. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
3. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
4. Strålskyddet betyder ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
5. Ett tvådelat gängat guiderör (kortare än i teknik 1a) används.
6. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
7. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning.
8. Försänkning i deponeringshålets botten för stöd av guiderör.
9. Många hanteringsmoment vid deponering av bentonitringar.

4.3 Teknik 1c – Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse

4.3.1 Allmän beskrivning

Bentonit och kapsel deponeras vid olika tidpunkter. Ett guiderör som träts in i bentonitringarna används för deponeringen av kapseln. Kapseln skjuts in i röret med en plunge. Deponeringsprocessen utförs i fem separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen. Kapseln är inte strålskyddad under deponeringen.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 4$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 3,5$ meter
- Total höjd $H_2 = 4,5$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 0$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 16 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 45 m^3 per deponeringshål.

Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna i projekt JADE. För att ge tillräckligt spelrum när guideröret träts in i bentonitringarnas hål föreslås deras innerdiametern öka med 25 mm till 1 095 mm. För att bibehålla ringtjockleken på 290 mm i förutsättningarna föreslås ytterdiametern öka till 1 675 mm. Ringarnas bredd är cirka 600 mm. Samtliga bentonitringar och -block har två urtag i den yttre begränsningsytan för att de skall kunna hanteras med gaffelvagn.

Deponeringsprocessen

De fem stegen i deponeringsprocessen är följande:

1. bentonitblock och bentonitringar deponeras i hålet,
2. guideröret träs in i bentonitringarna,
3. kapseln skjuts in i guideröret,
4. guideröret dras ut samt
5. förseglande bentonitblocken skjuts in i hålet.

Första steget (deponering av bottenblock och bentonitringar) inleds med att bentoniten lastas på ett kombinerat transport- och deponeringsfordon, benämnt bentonitfordon, i centralområdet under jord på nivå -500 m och transporteras till deponeringstunneln och vidare till deponeringshålet. Fordonet positioneras framför aktuellt deponeringshål i ett väldefinierat läge varefter elementen placeras ett i taget i deponeringshålet med en gaffelvagn som lyfter block och ringar i de två urtagen.

Andra steget (ett guiderör träs in inuti bentonitringarna) inleds med att guideröret lastas på ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, ett fordon för guiderör, i centralområdet om det är första gången som en kapsel deponeras i slutförvaret, och körs till deponeringshålet. Fordonet positioneras framför aktuellt deponeringshål i ett väldefinierat läge, varefter guideröret matas in från fordonet in i bentonitringarnas centrumhål genom tre på varandra följande rörelser. Den första av dessa är en cardanorörelse /6-7/, som är en kombinerad rörelse i X- och Y-led. Denna följs sedan upp av två linjära rörelser.

Efter att den första kapseln deponerats förflyttas guideröret endast mellan deponeringshålen. Under väntetiden mellan deponeringarna ligger guideröret på guiderörsfordonet, vilket är parkerat antingen i deponeringstunneln bortom aktuellt deponeringshål eller i transporttunneln.

Inför det tredje steget (kapseln skjuts in i guideröret) transporteras kapseln med det använda bränslet ner till förvarsområdet cirka 500 m under marknivån till den aktuella deponeringstunneln med hjälp av ett yttransportfordon. Kapseln lastas om i deponeringstunneln till ett deponeringsfordon. Omlastning sker där för att undvika radioaktiv strålning i transporttunnlarna.

I tredje steget transporterar deponeringsfordonet kapseln fram till det aktuella deponeringshålet. Fordonet positioneras framför hålet i ett väldefinierat läge, varefter kapseln matas in genom en likadan rörelse som för guideröret. Kapselns position efter slutförd inmatning är inuti det tidigare placerade guideröret. Risk för strålningsexponering förekommer under steg tre, varför deponeringsfordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning.

I det fjärde steget dras guideröret tillbaka med hjälp av fordonet för guideröret. Detta sker med samma utrustning som i steg två. Risk för strålningsexponering förekommer vid steg fyra, varför fordonet för guiderör är fjärrstyrt med kameraövervakning.

I femte steg läggs de fyra främre bentonitblocken in i deponeringshålet med likadant förfarande som i första steget. Risk för strålningsexponering förekommer vid inplaceringen av det första blocket (men inte vid de övriga) i steg fem, varför bentonitfordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning.

4.3.2 Maskinbeskrivning

Bentonit, guiderör och kapsel deponeras vid olika tidpunkter, i fem separata steg.

Tre olika fordon används vid deponeringen: ett bentonitfordon, ett fordon för guiderör och ett deponeringsfordon.

Bentonitfordon

Bentonithanteringens redovisas med följande ritningar:

- Bentonitfordonets utseende JADE 000 0110
- Bentonitvagns utseende JADE 000 0118
- Hantering av bentonitelement JADE 000 0119

Bentonitfordonet är cirka 8,5 m långt, 2 m brett, 2,7 m högt och har en uppskattad totalvikt på 35 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 8 st (fyra axlar). Varje axel har egen drivning och är individuellt styrd.

Bentonitfordonets huvuddelar är:

- ett gummihjulsburet bentonitfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp som är installerad på fordonet (se avsnitt 3.3.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- vattentank och pump för att hydrauliskt kunna lyfta och sänka bentonitelementen på bentonitvagnen,
- en elmotor driven manipulator för att placera bentonitblock och ringar på bentonitvagn,
- en gaffeltrucksliknande bentonitvagn. Gafflarna går med hjul eller rullar mot deponeringshålets botten. Under transport i deponeringshålet hålls bentonitringarna på plats med takplåt och vattenkuddar.
- en fällbar landgång som förbinder fordonet med deponeringshålet,
- en elmotor driven matarkedja för transport av bentonitvagn i deponeringshålet samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av bentonitfordon och bentonitvagn.

Fordon för guiderör

Hanteringens av guiderör visas med följande ritningar:

- Fordonets utseende JADE 000 0111
- Cardanorörelse SKB-DEP-106

Fordonet är cirka 7 m långt, 2 m brett, 2,5 m högt och har en uppskattad totalvikt på 15 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 6 st (tre axlar). Varje axel har egen drivning och är individuellt styrd.

Fordonets huvuddelar är:

- ett gummihjulsburet fordon för guiderör, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp som är installerad på fordonet (se avsnitt 1.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en fällbar landgång som förbinder fordonet med deponeringshålet,
- en vridningsmekanism (cardanorörelse, dvs en kombinerad X-Y rörelse) med elmotor-drivna kuls kruvar för positionering av guideröret axiellt med hålen i bentonitringarna,
- en kombination av elmotordriven matarkedja och linjär skruvmatning för inskjutning och återtagning av guideröret, samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och guiderör.

Deponeringsfordon

Hanteringen av kapseln framgår av följande ritningar:

- Deponeringsfordonets utseende se ritning JADE 000 0112
- Hantering av kapsel se ritning JADE 000 0113

Fordonet är cirka 7 m långt, 2 m brett, 2,8 m högt och har en uppskattad totalvikt på 45 ton. Antalet hjul är 10 st.

Huvuddelarna utgörs av:

- ett rälsbundet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp som är installerad på fordonet (se avsnitt 1.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en fällbar landgång som förbinder fordonet med deponeringshålet,
- en vridningsmekanism (cardanorörelse, dvs en kombinerad X-Y rörelse) med elmotor-drivna kuls kruvar för positionering av en bädd-konstruktion bärande en rörhylsa ("kapselhylsa" som omsluter kapseln) axiellt med hålet i guideröret,
- en elmotordriven matarkedja för anslutning av bädd/kapselhylsa till guideröret,
- kapselhylsan som utgör ytterväggarna för en hydraulisk cylinder där kapseln själv är kolven. Inskjutning av kapseln i guideröret utförs med hjälp av denna hydraulik-funktion. (Vattentank och pump behövs i detta fall för hydrauliken.), samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel. Fordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning eftersom kapseln ej är avskärmad.

4.3.3 Processbeskrivning

1. Bentonitblock och bentonitringar lastas på bentonitfordonet i centralområdet.
2. Bentonitfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
3. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
4. Bentonitfordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar första bentonitblocket från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.
6. Bentonitblocket på gaffeln lyfts ("lyftkuddar") och fixeras mot bentonitvagnens takplåt. Vagnen vrids (cirka 90°) i det horisontella planet till deponeringshålets längdriktning varefter bentonitblocket skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.
7. När bentonitblocket är i position töms lyftkuddarna på sitt vatten och blocket vilar på golvet i deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar resten bentonitringarna, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd fram till kapselns främre gavel.
8. Bentonitfordonet körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
9. Fordonet för guiderör lastas under tiden i centralområdet alternativt parkeras i deponeringstunneln bortom aktuellt deponeringshål.
10. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
11. Deponeringshål och bentonitbuffert kontrolleras visuellt.
12. Fordonets bakre del, varifrån rörelsen in i deponeringshålet utgår, sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbrygga.
13. Guideröret liggande på en bärande struktur ("guiderörsbädd"), matas in i deponeringshålet med en Cardanorörelse.
14. Guideröret skjuts in, från bädden, inuti bentonitringarna med en linjär rörelse efter justering för äntring.
15. Guiderörsbädden backas tillbaka på fordonet. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
16. En kontroll av deponeringshålets främre del utförs.
17. Yttransportfordonet kör fram till deponeringstunnelns mynning och intar dockningsposition med uppställt deponeringsfordon inne i deponeringstunneln. Mynningen på deponeringstunneln förses med en flyttbar strålskärm.
18. Kapseln matas från sitt strålskydd på yttransportfordonet till deponeringsfordonets kapselhylsa.
19. Deponeringsfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
20. Fordonets bakre del sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbrygga.
21. Kapselhylsan, liggande på en "bädd", förs in i deponeringshålet.

22. Badden/kapselhylsan dockas med guideröret med en linjär rörelse.
23. Kapseln matas in inuti guideröret med hjälp av hydraulikfunktion.
24. Badd/kapselhylsa backas tillbaka på fordonet. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
25. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 12).
26. Guiderörsbädden förs in i deponeringshålet (se även 13). Ett mothåll anbringas på kapseln och bentonitringarna.
27. Guideröret dras ut ur deponeringshålet med en linjär rörelse (upp på guiderörsbädden) så att den går fri från bentonitringarna.
28. Guideröret backas tillbaka på fordonet.
29. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt bentonitfordonet.
30. Bentonitfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 4).
31. Resterande bentonitblock matas in i deponeringshålet enligt samma procedur som i punkt 5 till och med 7.

4.3.4 För- och nackdelar med teknik 1c

Sammanställningen av fördelar och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Låg tunnelkostnad på grund av liten tunnelarea.
2. Lätta (relativt) fordon.
3. Hydrauliska principen för inskjutning av kapseln medger möjlighet för kompakt konstruktion.
4. Kapseln och bentonitelementen har under en deponeringsprocess relativt lång och enkel tillgänglighet för kontroll.
5. Enkelt att reparera skadad bentonit innan kapseln deponeras.
6. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
7. Låg personmedverkan i deponeringstunnel på grund av fjärrstyrning med kameraövervakning.
8. Bästa möjliga stråltekniska säkerhet vid incidentfri drift på grund av fjärrstyrning med kameraövervakning.

Nackdelar

1. Urtag i bentonitelementen.
2. Eventuell efterfyllning av urtagen i bentoniten.
3. Guiderör används.
4. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
5. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
6. Den hydrauliska inskjutningen innebär hanteringen av 4–5 000 liter medium.
7. Olja som medium för hydrauliska systemet bör uteslutas ur säkerhetssynvinkel (eventuella läckage).
8. Vattenhydraulik förutsätter speciella byggkomponenter (vattnets låga smörjningsförmåga).
9. Fjärrstyrning med kameraövervakning innebär högre kostnad (installation och rivning av kommunikationsnät).
10. Även vid enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet krävs extraordinära åtgärder på grund av strålning.
11. Omlastning av kapseln sker ”mobilt” och ej med utnyttjandet av fasta, (stabila) installationer.
12. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering i helt paket; teknik 4c).
13. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
14. Ovisshet om den påverkan på bentonitbufferten som eventuellt åstadkoms när guideröret skjuts in.

4.4 Teknik 1c- – Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse vid deponeringshålet

4.4.1 Allmän beskrivning

Teknik 1c- är i huvudsak identisk med teknik 1c. Skillnaden finns i maskinutrustningen: kapseln skjuts in i guideröret med en skruv i stället för plunge i teknik 1c.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 4$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 3,5$ meter
- Total höjd $H_2 = 4,5$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 0$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 16 m³ per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 45 m³ per deponeringshål.

Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna, se teknik 1c, avsnitt 4.3.1.

Deponeringsprocessen

Deponeringsprocessen för teknik 1c- är identisk med processen för teknik 1c, se avsnitt 4.3.1 för en beskrivning.

För att undvika strålningsriskerna i fjärde och femte stegen (guideröret dras ut och de förseglande bentonitblocken deponeras), och för att eliminera behovet av fjärrstyrning med kameraövervakning i dessa steg, har ett kompletterande moment i processen diskuterats. Om ett bentonitblock som täcker gaveln deponeras i steg tre efter kapseln kommer den potentiella strålkällan att bli avskärmad. Risken för strålningsexponering uteblir då i de efterföljande stegen.

4.4.2 Maskinbeskrivning

Bentonit, guiderör och kapsel deponeras vid skilda tidpunkter, i fem separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen: ett bentonitfordon, ett fordon för guideröret och ett deponeringsfordon.

Bentonitfordon

Bentonitfordonet är lika fordonet för teknik 1c, se avsnitt 4.3.2.

Fordon för guiderör

Fordonet för guiderör är lika fordonet i teknik 1c, se avsnitt 4.3.2.

Deponeringsfordon

Hanteringen av kapsel framgår av följande ritningar:

- Deponeringsfordonets utseende JADE 000 0112
- Hantering av kapsel JADE 000 0113
- Stödvagn nr 1 och 2 JADE 000 0117

Fordonet är cirka 7 m långt, 2 m brett, 2,8 m högt och har en uppskattad totalvikt på 45 ton. Antalet hjul är 10 st.

Deponeringsfordonets huvuddelar är:

- rälsbundet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen,
- huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet (se avsnitt 3.3.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- fällbar landgång som förbinder fordonet med deponeringshålet,

- vridningsmekanism (cardanorörelse, dvs en kombinerad X–Y rörelse) med elmotor-drivna kuls kruvar för positionering av kapselbädden axiellt med hålet i guideröret,
- elmotor driven matarkedja för anslutning av kapselbädden till guideröret,
- kapselbädd med elmotor drivna kuls kruvar för inskjutning av kapseln i guideröret (Alternativt kan inskjutningen utföras med hydraulisk kolv. Vattentank och pump behövs i detta fall för hydrauliken.) samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel. Fordonet är fjärrstyrt eftersom kapseln ej är avskärmad.

4.4.3 Processbeskrivning

1. Bentonitblock och bentonitringar lastas på bentonitfordonet i centralområdet.
2. Bentonitfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
3. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
4. Bentonitfordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar första bentonitblocket från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.
6. Bentonitblocket på gaffeln lyfts ("lyftkuddar") och fixeras mot bentonitvagnens takplåt. Vagnen vrids (cirka 90°) i det horisontella planet till deponeringshålets längdriktning varefter bentonitblocket skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.
7. När bentonitblocket är i position töms lyftkuddarna på sitt vatten och blocket vilar på golvet i deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar resterande bentonitringar, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd fram till kapselns främre gavel.
8. Bentonitfordonet körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
9. Fordonet för guiderör lastas under tiden i centralområdet alternativt parkeras i deponeringstunneln bortom aktuellt deponeringshål.
10. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
11. Deponeringshål och bentonitbuffert kontrolleras visuellt.
12. Fordonets bakre del, varifrån rörelsen in i deponeringshålet utgår, sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbrygga.
13. Guideröret, som ligger på en bärande struktur ("guiderörsbädd"), matas in i deponeringshålet med en cardanorörelse.
14. Guideröret skjuts in, från bädden, inuti bentonitringarna med en linjär rörelse efter justering för äntring.
15. Guiderörsbädden backas tillbaka på fordonet. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.

16. En kontroll av deponeringshålets främre del utförs.
17. Yttransportfordonet kör fram till deponeringstunnelns mynning och intar dockningsposition med uppställt deponeringsfordon inne i deponeringstunneln. Mynningen på deponeringstunneln förses med en flyttbar strålskärm.
18. Kapseln matas från sitt strålskydd på yttransportfordonet till deponeringsfordonet.
19. Deponeringsfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
20. Fordonets bakre del sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbrygga.
21. Kapseln, som ligger på en "kapselbädd", förs in i deponeringshålet.
22. Kapselbädden dockas med guideröret genom en linjär rörelse.
23. Kapseln matas in inuti guideröret med en linjär rörelse.
24. Kapselbädden backas tillbaka på fordonet. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
25. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 12).
26. Guiderörbädden förs in i deponeringshålet (se även 13). Ett mothåll anbringas på kapseln och bentonitringarna.
27. Guideröret dras ut ur deponeringshålet med en linjär rörelse (upp på guiderörbädden) så att den går fri från bentonitringarna.
28. Guideröret backas tillbaka på fordonet.
29. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt bentonitfordonet.
30. Bentonitfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 4).
31. Resterande bentonitblock matas in i deponeringshålet enligt samma procedur som i punkt 5 till och med 7.

4.4.4 För- och nackdelar med teknik 1c-

Sammanställningen av fördelar och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Låg tunnelkostnad på grund av liten tunnelarea.
2. Lätta (relativt) fordon.
3. Kapseln och bentonitelementen är tillgängliga för kontroll relativt länge och enkelt under en deponeringsprocess.
4. Enkelt att reparera skadad bentonit innan kapseln deponeras.

5. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
6. Låg personmedverkan i deponeringstunnel på grund av fjärrstyrning med kameraövervakning.
7. Bästa möjliga stråltekniska säkerhet vid incidentfri drift på grund av fjärrstyrning med övervakning.

Nackdelar

1. Urtag i bentonitelementen.
2. Eventuell efterfyllning av urtagen i bentoniten.
3. Guiderör används.
4. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
5. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
6. Fjärrstyrning med kameraövervakning leder till högre kostnad.
7. Även vid enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet krävs extraordinära åtgärder på grund av strålning.
8. Omlastning av kapseln sker ”mobilt” och ej med utnyttjandet av fasta, (stabila) installationer.
9. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering i helt paket; teknik 4c).
10. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vatten-tillströmning till deponeringshålet.
11. Ovisshet om den påverkan som eventuellt åstadkoms på bentonitbufferten när guideröret skjuts in.

4.5 Teknik 1c+ – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Lavettrörelse vid deponeringshålet

4.5.1 Allmän beskrivning

Teknik 1c+ är i huvudsak identisk med teknik 1c. Skillnaderna är följande:

- Kapseln är strålskyddad under deponeringen.
- Guideröret och kapseln utför en lavettrörelse på sina respektive fordon framför deponeringshålet.

Kapseln matas ut från deponeringsfordonet in i hålet med en kulskruv, analogt teknik 1c-. Plunge analogt teknik 1c kan övervägas.

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera strålningsläckage.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 6,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 3,5$ meter
- Total höjd $H_2 = 7,1$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,1$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 34 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshålet) eller 70 m^3 per deponeringshål.

Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna, se teknik 1c, avsnitt 4.3.1.

Deponeringsprocessen

De fem stegen i deponeringsprocessen är följande:

1. bentonitblock och bentonitringar placeras in i deponeringshålet,
2. guideröret träs in i bentonitringarna,
3. kapseln skjuts in i guideröret,
4. guideröret dras ut samt
5. förseglande bentonitblock skjuts in i hålet.

Första steget (bentonitelement läggs in i deponeringshålet) är identiskt med första steget i teknik 1c, se avsnitt 4.3.1.

Andra steget (ett guiderör träs in i bentonitringarna) inleds med att guideröret lastas på ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, ett fordon för guiderör, i centralområdet om det är första gången som en kapsel deponeras i slutförvaret och körs till deponeringshålet. Fordonet positioneras framför aktuellt deponeringshål i ett väldefinierat läge. Guideröret matas från fordonet in i bentonitringarnas centrumhål med hjälp av tre på varandra följande rörelser. Den första av dessa är en vridning cirka 90° i horisontalplanet (kallas även för lavettrörelse), denna följs sedan upp av två linjära rörelser.

Efter att den första kapseln deponerats förflyttas guideröret endast mellan deponeringshålen. Under väntetiden mellan deponeringarna ligger guideröret på fordonet, vilket är parkerat antingen i deponeringstunneln bortom aktuellt deponeringshål eller i transporttunneln.

Inför det tredje steget (kapseln skjuts in i guideröret) transporteras kapseln med det använda bränslet ner till förvarsoområdet cirka 500 m under marknivån och till den aktuella deponeringstunneln med hjälp av ett yttransportfordon. Kapseln lastas om, antingen i centralområdet eller vid mynningen av den aktuella deponeringstunneln, till ett deponeringsfordon som är försett med ett tubformat strålskydd.

I tredje steget transporterar deponeringsfordonet kapseln inne i strålskyddet fram till deponeringshålet. Fordonet positioneras framför det aktuella deponeringshålet. Kapseln matas in i guideröret genom fyra på varandra följande rörelser. Den första är en vridning i cirka 90° av hela strålskyddet i horisontella planet (lavettrörelse). Sedan skjuts strål-

skyddstuben fram i försänkningen vid deponeringshålets mynning. Denna rörelse följs av ytterligare två linjära rörelser. Kapselns position efter slutförd inmatning är inuti det tidigare placerade guideröret. Risk för strålningsexponering förekommer under steg tre, när strålskyddstuben dragits tillbaka ur deponeringshålets försänkning, varför deponeringsfordonet måste vara fjärrstyrt med kameraövervakning.

I det fjärde steget dras guideröret tillbaka med hjälp av fordonet för guiderör. Detta sker med samma utrustning som i steg två. Risk för strålningsexponering förekommer vid steg fyra, varför fordonet för guiderör är fjärrstyrt med kameraövervakning.

Femte steget (deponeringen av förseglande bentonitblock) är identiskt med femte steget i teknik 1c, se avsnitt 4.3.1. Risk för strålningsexponering förekommer vid inplaceringen av det första blocket (men inte vid de övriga) i steg fem, varför bentonitfordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning.

För att undvika strålningsriskerna vid steg tre, fyra och fem och därmed eliminera behovet av kameraövervakning i dessa steg, har ett kompletterande moment i processen diskuterats. Om ett bentonitblock som täcker kapselns gavel deponeras efter kapseln i steg tre kommer den potentiella strålkällan att bli avskärmad och risken för strålningsexponering uteblir i de efterföljande stegen. Detta extra moment har ännu ej integrerats i maskinbeskrivningen.

4.5.2 Maskinbeskrivning

Deponeringen av bentonit, guiderör och kapsel sker åtskilt, vilket medför att deponeringsprocessen utförs i fem separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen: ett bentonitfordon, ett fordon för guiderör och ett deponeringsfordon.

Bentonitfordonet

Bentonitfordonet är lika fordonet i teknik 1c, se avsnitt 4.3.2, med undantaget att fällbara landgängen måste sträcka sig över hela längden av försänkningen i deponeringshålets mynning.

Fordon för guiderör

Fordonets utseende framgår av ritning:

- JADE 000 0115

Fordonet är cirka 7 m långt, 2 m brett, 2,5 m högt och har en uppskattad totalvikt på 15 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 6 st (tre axlar). Varje axel har egen drivning och är individuellt styrd.

Fordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet fordon för guiderör, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp är installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en guiderörsbädd på elmotordriven kuggkrans som vrider guideröret cirka 90° för positionering axiellt med deponeringshålet,

- en kombination av elmotordriven matarkedja och linjär skruvmatning för inskjutning och återtagning av guideröret samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och guiderör.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av ritningarna:

- JADE 000 0114
- JADE 000 0116

Fordonet är cirka 7 m långt, 2 m brett, 3 m högt och har en uppskattad totalvikt på 90 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 20 st (10 dubbelmontage). Varje hjulenheter är styrta och drivna individuellt.

Deponeringsfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummi-hjulburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet (se avsnitt 3.1.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstubb på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Elmotordrivna kuls kruvar för linjär förflyttning av strålskyddstuben in i deponeringshålets försänkning.
- Öppningsmekanism för strålskyddstubbens lock.
- Kapselbädd inuti strålskyddstuben med elmotordrivna kuls kruvar för inskjutning av kapseln i guideröret, se ritning JADE 000 0117. (Alternativt kan inskjutningen utföras med hydraulisk kolv, se ritning JADE 000 0113. Vattentank och pump behövs i detta fall för hydrauliken.)
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

4.5.3 Processbeskrivning

1. Bentonitblock och bentonitringar lastas på bentonitfordonet i centralområdet.
2. Bentonitfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
3. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
4. Bentonitfordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad, sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar första bentonitblocket från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.

6. Bentonitblocket på gaffeln lyfts ("lyftkuddar") och fixeras mot bentonitvagnens takplåt. Vagnen vrids (cirka 90°) i det horisontella planet till deponeringshålets längdriktning varefter bentonitblocket skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.
7. När bentonitblocket är i position töms lyftkuddarna på sitt vatten och blocket vilar på golvet i deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar resterande bentonitringar, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd fram till kapselns främre gavel.
8. Bentonitfordonet körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
9. Fordonet för guiderör lastas under tiden i centralområdet alternativt parkeras i deponeringstunneln bortom aktuellt deponeringshål.
10. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
11. Deponeringshål och bentonitbuffert kontrolleras visuellt.
12. Guideröret, som ligger på en bärande struktur ("guiderörsbädd"), vrids cirka 90° i det horisontella planet (lavetrörelse) på fordonet.
13. Guideröret skjuts från bädden in inuti deponeringshålet fram till den yttersta bentonitringen med en linjär rörelse.
14. Guideröret (från bädden) skjuts in inuti bentonitringarnas centrumhål efter justering för äntring.
15. Guiderörsbädden backas tillbaka på fordonet. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
16. En kontroll av deponeringshålets främre del utförs.
17. Deponeringsfordonet, som tidigare lastats i centralområdet alternativt vid mynningen på deponeringstunneln, körs fram, positioneras och stabiliseras vid deponeringshålet.
18. Strålskyddet, innehållande kapseln som ligger på en bärande struktur ("kapselbädd"), vrids cirka 90° i det horisontella planet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
19. Strålskydd, kapsel och kapselbädd skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse mot bergväggen in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
20. Kapseln, som ligger på kapselbädden, matas in inuti deponeringshålet fram till guideröret med en linjär rörelse.
21. Kapseln skjuts in från bädden inuti guideröret.
22. Kapselbädden backas tillbaka på fordonet. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt guiderörsfordonet.
23. Guiderörsfordonet positioneras framför deponeringshålet så att fordonets mittsektion, där lavetten är placerad, hamnar i rätt läge.
24. Guiderörsbädden förs in i deponeringshålet. Ett mothåll anbringas på kapseln och bentonitringarna.
25. Guideröret dras ut ur deponeringshålet, upp på bädden, med en linjär rörelse så att den går fri från bentonitringarna.
26. Guideröret backas tillbaka på fordonet.
27. Guiderörsfordonet körs undan för att ge plats åt bentonitfordonet.

28. Bentonitfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 4).
29. Resterande bentonitblock matas in i deponeringshålet enligt samma procedur som i punkt 5 till och med 7.

4.5.4 För- och nackdelar

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponerings tekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Samtliga fordon kan manövreras eller fjärrstyras på nära håll. Behovet av kameraövervakning kan elimineras genom en enkel ändring i logistiken.
2. Lätta (relativt) fordon.
3. Under en deponeringsprocess är bentonitelementen tillgängliga relativt länge och enkelt.
4. Enkelt att reparera skadad bentonit innan kapseln deponeras.
5. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
6. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till stråltekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
7. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.

Nackdelar

1. Urtag i bentonitelementen.
2. Eventuell efterfyllning av urtagen i bentoniten.
3. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
4. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
5. Strålskyddet betyder ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
6. Guiderör används.
7. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
8. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
9. Ovisshet om den påverkan på bentonitbufferten som åstadkoms när guideröret skjuts in.

4.6 Teknik 1c* – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse

4.6.1 Allmän beskrivning

Teknik 1c* är i huvudsak identisk med teknik 1c. Skillnaderna är följande:

- Kapseln är strålskyddad.
- Genom att göra försänkningen i deponeringshålets mynning djupare än vid andra tekniker kan utrymmet för cardanorörelsen optimeras med avseende på deponeringstunnelns bredd.

Kapseln matas ut från deponeringsfordonet in i hålet med en kulskruv, analogt teknik 1c-. Plunge analog teknik 1c kan övervägas.

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera strålningsläckage.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 4$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 3,5$ meter
- Total höjd $H_2 = 4,5$ meter
- Försänkningsdiameter $D = 2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 2,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 16 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 45 m^3 per deponeringshål.

Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna i projekt JADE, se **teknik** 1c, avsnitt 4.3.1. Ett ytterligare avsteg är att de yttre förseglande bentonitblocken kommer att ha ytterdiametern cirka 2,2 m för att anpassas till försänkningens diameter.

Deponeringsprocessen

Deponeringsprocessen för teknik 1c* är identisk med processen för teknik 1c, se avsnitt 4.3.1 för en beskrivning.

För att undvika strålningsriskerna vid steg tre (kapseln skjuts in), fyra (guideröret dras ut) och fem (de förseglande bentonitblocken deponeras) och därmed eliminera behovet av kameraövervakning i dessa steg, har ett kompletterande moment i processen diskuterats. Om ett bentonitblock som täcker kapselns gavel deponeras efter kapseln i steg tre kommer den potentiella strålkällan att bli avskärmad och risken för strålningssexponering uteblir i de efterföljande stegen. Detta extra moment har ännu ej integrerats i maskinbeskrivningen.

4.6.2 Maskinbeskrivning

Bentonit, guiderör och kapsel deponeras vid skilda tidpunkter i fem separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen: ett bentonitfordon, ett fordon för guiderör och ett deponeringsfordon.

Bentonitfordon

Bentonitfordonet är lika fordonet för teknik 1c, se avsnitt 4.3.2, med följande undantag:

- Landgången måste sträcka sig över hela längden av försänkningen i deponeringshålets mynning.
- Bentonitpluggarna kommer att ha en annan ytterdiameter än bentonitringarna. Bentonitfordonet måste därför anpassas för att kunna hantera bägge dessa ytterdiametrar.

Fordon för guiderör

Hanteringen av guiderör redovisas på följande ritningar:

- Fordonets utseende JADE 000 0111
- Cardanorörelse SKB-DEP-106D

Fordonet för guiderör är lika fordonet för teknik 1c, se avsnitt 4.3.2, med undantaget att landgången måste sträcka sig över hela längden av försänkningen i deponeringshålets mynning.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonet är lika fordonet i teknik 1c, se avsnitt 4.3.2, med följande undantag:

- Kapseln är försedd med strålskydd.
- Landgången måste sträcka sig över hela längden av försänkningen i deponeringshålets mynning.

4.6.3 Processbeskrivning

1. Bentonitblock och bentonitringar lastas på bentonitfordonet i centralområdet.
2. Bentonitfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
3. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
4. Bentonitfordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar första bentonitblocket från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.
6. Bentonitblocket på gaffeln lyfts med ”lyftkuddar” och fixeras mot bentonitvagnens takplåt. Vagnen vrids (cirka 90°) i det horisontella planet till deponeringshålets längdriktning varefter bentonitblocket skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.
7. När bentonitblocket är i position töms lyftkuddarna på sitt vatten och blocket vilar på golvet i deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar resten bentonitringarna, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd fram till läget för kapselns främre gavel.

8. Bentonitfordonet körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
9. Fordonet för guiderör lastas under tiden i centralområdet alternativt parkeras i deponeringsstunneln bortom aktuellt deponeringshål.
10. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
11. Deponeringshål och bentonitbuffert kontrolleras visuellt.
12. Fordonets bakre del, varifrån rörelsen in i deponeringshålet utgår, sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbrygga.
13. Guideröret liggande på en bärande struktur ("guiderörsbädd"), matas in i deponeringshålet med en Cardanorörelse.
14. Efter kontroll och justering av läget skjuts guideröret in i bentonitringarna med en linjär rörelse.
15. Guiderörsbädden backas tillbaka på fordonet. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
16. En kontroll av deponeringshålets främre del utförs.
17. Deponeringsfordonet, tidigare lastad i centralområdet alternativt vid mynningen på deponeringsstunneln, körs fram, positioneras och stabiliseras vid deponeringshålet.
18. Fordonets bakre del sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbrygga.
19. Strålskyddet med kapseln på en kapselbädd matas in i deponeringshålet med hjälp av en Cardanorörelse.
20. Kapselbädden dockas med guideröret med en linjär rörelse.
21. Kapseln matas in inuti guideröret med en linjär rörelse.
22. Kapselbädden backas tillbaka in i strålskyddet och detta backas tillbaka på deponeringsfordonet, som körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
23. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 12).
24. Guiderörsbädden förs in i deponeringshålet (se även 13). Ett mothåll anbringas på kapseln och bentonitringarna.
25. Guideröret dras ut ur deponeringshålet med en linjär rörelse (upp på guiderörsbädden) så att den går fri från bentonitringarna.
26. Guideröret backas tillbaka på fordonet.
27. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt bentonitfordonet.
28. Bentonitfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 4).
29. Resterande bentonitblock matas in i deponeringshålet enligt samma procedur som i punkt 5 till och med 7.

4.6.4 För- och nackdelar med teknik 1c*

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponerings tekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Låg tunnelkostnad på grund av liten area.
2. Samtliga fordon manövreras eller fjärrstyres på nära håll. Behovet av fjärrstyrning med kameraövervakning kan elimineras genom en enkel ändring i logistiken.
3. Lätta (relativt) fordon.
4. Bentonitelementen har under en deponeringsprocess relativt lång och enkel tillgänglighet.
5. Enkelt att reparera skadad bentonit före deponering av kapsel.
6. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
7. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till stråltekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
8. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.

Nackdelar

1. Ökad kostnad på grund av deponeringshålets djupa försänkning i dess mynning.
2. Urtag i bentonitelementen.
3. Eventuell efterfyllning av urtagen i bentoniten.
4. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
5. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
6. Strålskyddet betyder ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
7. Behov av guiderör.
8. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
9. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
10. Ovisshet om den påverkan som eventuellt åstadkoms på bentonitbufferten när guideröret skjuts in.
11. Större diameter på de yttre förseglande bentonitblocken.

4.7 Teknik 1c+* – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Lavettrörelse i transporttunneln

4.7.1 Allmän beskrivning

Teknik 1c+* är i huvudsak identisk med teknik 1c+, som i sin tur bygger på teknik 1c. Skillnaden gentemot teknik 1c+ är, att strålskyddstuben med kapsel utför sin lavettrörelse, d.v.s. vrids 90° i horisontalplanet, innan den går in i deponeringstunneln och transporten där sker med kapseln ”på tvären”. Syftet är att reducera deponeringstunnelns bredd genom att undvika att vrida kapseln i denna tunnel.

Skillnaden mellan teknik 1c+* och teknik 1c är således följande:

- Kapseln är strålskyddad under deponeringen.
- Kapseln utför en lavettrörelse på deponeringsfordonet i transporttunneln.

Kapseln matas ut från deponeringsfordonet in i hålet med en kulskruv, analogt teknik 1c-. Plunge analogt teknik 1c kan övervägas.

Guideröret kan utföra antingen en cardano- eller en lavettrörelse framför deponeringshålet.

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera strålningsläckage.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 6,2$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 3,5$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,1$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,1$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 27 m³ per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 65 m³ per deponeringshål.

Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna i projekt JADE, se teknik 1c, avsnitt 4.3.1.

Deponeringsprocessen

De fem stegen i deponeringsprocessen är följande:

1. bentonitblock och bentonitringar placeras in i deponeringshålet,
2. guideröret träs in i bentonitringarna,
3. kapseln skjuts in i guideröret,
4. guideröret dras ut samt
5. förseglande bentonitblock skjuts in i hålet.

Första steget (bentonitelement läggs in i deponeringshålet) är identiskt med första steget i teknik 1c, se avsnitt 4.3.1.

Andra steget (ett guiderör träs in i bentonitringarna) inleds med att guideröret lastas på ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, ett fordon för guiderör, i centralområdet om det är första gången som en kapsel deponeras i slutförvaret och körs till deponeringshålet. Fordonet positioneras framför aktuellt deponeringshål i ett väldefinierat läge. Guideröret och dess strålskydd vrids 90° i horisontalplanet antingen genom en lavetrörelse eller genom en cardanörörelse. Denna rörelse följs sedan upp av två linjära rörelser.

Efter att den första kapseln deponerats förflyttas guideröret endast mellan deponeringshålen. Under väntetiden mellan deponeringarna ligger guideröret på fordonet, vilket är parkerat antingen i deponeringstunneln bortom aktuellt deponeringshål eller i transporttunneln.

Inför det tredje steget (kapseln skjuts in i guideröret) transporteras kapseln med det använda bränslet ner till förvarsområdet cirka 500 m under marknivån och till den aktuella deponeringstunneln med hjälp av ett yttransportfordon. Kapseln lastas om, antingen i centralområdet eller vid mynningen av den aktuella deponeringstunneln, till ett deponeringsfordon som är försett med ett tubformat strålskydd. Kapseln och dess strålskydd vrids 90° i en lavetrörelse i transporttunneln vid deponeringstunnelns mynning.

I tredje steget transporterar deponeringsfordonet kapseln inne i strålskyddet fram till deponeringshålet. Fordonet positioneras framför det aktuella deponeringshålet. Kapseln matas in i guideröret genom tre på varandra följande rörelser. Strålskyddstuben skjuts fram i försänkningen vid deponeringshålets mynning. Denna rörelse följs av ytterligare två linjära rörelser. Kapselns position efter slutförd inmatning är inuti det tidigare placerade guideröret. Risk för strålningsexponering förekommer under steg tre, när strålskyddstuben dragits tillbaka ur deponeringshålets försänkning, varför deponeringsfordonet måste vara fjärrstyrt med kameraövervakning. Behovet av kameraövervakning kan relativt enkelt elimineras med hjälp av ett gaveltäckande bentonitblock. Se nedan.

I det fjärde steget dras guideröret tillbaka med hjälp av fordonet för guiderör. Detta sker med samma utrustning som i steg två. Risk för strålningsexponering förekommer vid steg fyra, varför fordonet för guiderör är fjärrstyrt med kameraövervakning. Behovet av fjärrstyrning kan relativt enkelt elimineras med hjälp av ett gaveltäckande bentonitblock, som förs in samtidigt som kapseln. Se nedan.

Femte steget (deponeringen av förseglande bentonitblock) är identiskt med femte steget i teknik 1c, se avsnitt 4.3.1. Risk för strålningsexponering förekommer vid inplaceringen av det första blocket (men inte vid de övriga) i steg fem, varför bentonitfordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning.

För att undvika strålningsriskerna vid steg tre, fyra och fem och därmed eliminera behovet av kameraövervakning i dessa steg, har ett kompletterande moment i processen diskuterats. Om ett bentonitblock som täcker kapselns gavel deponeras efter kapseln i steg tre kommer den potentiella strålkällan att bli avskärmat och risken för strålningsexponering uteblir i de efterföljande stegen. Detta extra moment har ännu ej integrerats i maskinbeskrivningen.

4.7.2 Maskinbeskrivning

Bentonit, guiderör och kapsel deponeras vid skilda tidpunkter, i fem separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen: ett bentonitfordon, ett fordon för guiderör och ett deponeringsfordon. Dessa fordon är samma som beskrivits för teknik 1c+.

Bentonitfordon

Bentonitfordonet för teknik 1c+* är lika fordonet för metod 1c, se avsnitt 4.3.2, med undantaget att fällbara landgången måste sträcka sig över hela längden av försänkningen i deponeringshålets mynning.

Fordon för guiderör

Fordonet för guiderör i teknik 1c+* är lika fordonet i teknik 1c+, se avsnitt 4.5.2 (lavett-rörelse) eller lika fordonet i teknik 1c, se avsnitt 4.3.2 (cardanorörelse).

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonet för teknik 1c+* är lika fordonet för teknik 1c+, se avsnitt 4.5.2.

4.7.3 Processbeskrivning

1. Bentonitblock och bentonitringar lastas på bentonitfordonet i centralområdet.
2. Bentonitfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
3. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
4. Bentonitfordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad, sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar första bentonitblocket från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.
6. Bentonitblocket på gaffeln lyfts ("lyftkuddar") och fixeras mot bentonitvagnens takplåt. Vagnen vrids (cirka 90°) i det horisontella planet till deponeringshålets längdriktning varefter bentonitblocket skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.
7. När bentonitblocket är i position töms lyftkuddarna på sitt vatten och blocket vilar på golvet i deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar resten bentonitringarna, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd fram till kapselns främre gavel.
8. Bentonitfordonet körs undan för att ge plats åt fordonet för guiderör.
9. Fordonet för guiderör lastas under tiden i centralområdet, alternativt parkeras fordonet i deponeringstunneln bortom aktuellt deponeringshål.
10. Fordonet för guiderör körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
11. Deponeringshål och bentonitbuffert kontrolleras visuellt.

12. Guideröret liggande på en bärande struktur ("guiderörsbädd") och vrids cirka 90° i det horisontella planet (lavettrörelse) på fordonet.
13. Guideröret skjuts från bädden in inuti deponeringshålet fram till den yttersta bentonitringen med en linjär rörelse.
14. Efter lägesjustering skjuts guideröret från bädden in inuti bentonitringarnas centrumhål.
15. Guiderörsbädden backas tillbaka på fordonet. Fordonet för guiderör körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
16. En kontroll av deponeringshålets främre del utförs.
17. Deponeringsfordonet, tidigare lastat i centralområdet alternativt vid mynningen på deponeringstunneln, utför en lavettrörelse i korsningen av transporttunneln och aktuell deponeringstunnel.
18. Deponeringsfordonet körs fram i deponeringstunneln med strålskyddet på tvären, positioneras och stabiliseras vid aktuellt deponeringshål.
19. Strålskydd, kapsel och kapselbädd skjuts fram med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse mot bergväggen in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
20. Kapseln liggande på kapselbädden matas in inuti deponeringshålet fram till guideröret med en linjär rörelse. Kapseln skjuts in från bädden inuti guideröret.
21. Kapselbädden backas tillbaka på fordonet. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt guiderörsfordonet.
22. Guiderörsfordonet positioneras framför deponeringshålet så att fordonets mittsektion, där lavetten är placerad, hamnar i rätt läge.
23. Guiderörsbädden förs in i deponeringshålet. Ett mothåll anbringas på kapseln och bentonitringarna.
24. Guideröret dras ut ur deponeringshålet, upp på bädden, med en linjär rörelse så att den går fri från bentonitringarna.
25. Guideröret backas tillbaka på fordonet.
26. Guiderörsfordonet körs undan för att ge plats åt bentonitfordonet.
27. Bentonitfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (se även punkt 4).
28. Resterande bentonitblock matas in i deponeringshålet enligt samma procedur som i punkt 5 till och med 7.

4.7.4 För- och nackdelar

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponerings tekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Låg tunnelkostnad på grund av liten tunnelarea (mindre än i teknik 1c+).
2. Samtliga fordon kan manövreras eller fjärrstyras på nära håll. Behovet av fjärrstyrning med kameraövervakning kan elimineras genom en enkel ändring i logistiken.
3. Lätta (relativt) fordon.
4. Bentonitelementen har under en deponeringsprocess relativt lång och enkel tillgänglighet.
5. Enkelt att reparera skadad bentonit före deponering av kapsel.
6. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
7. "Normala", enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till stråltekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
8. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.

Nackdelar

1. Urtag i bentonitelementen.
2. Eventuell efterfyllning av urtagen i bentoniten.
3. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
4. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
5. Strålskyddet betyder ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
6. Guiderör används.
7. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
8. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
9. Ovisshet om den påverkan på bentonitbufferten som eventuellt åstadkoms när guideröret skjuts in.
10. Transporten i deponeringstunneln får en osäkrare karaktär. Strålskyddet med kapseln (60–70 ton) ligger på tvären på deponeringsfordonet.

4.8 Teknik 2 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med ej återtaget, delat guiderör och tre fordon.

Snedställda deponeringshåll

4.8.1 Allmän beskrivning

Bentoniten och kapseln deponeras vid olika tidpunkter. För deponeringen av kapseln används ett guiderör ”i delar” som inte återtas. Deponeringsprocessen utförs i tre separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen. Kapseln är strålskyddad.

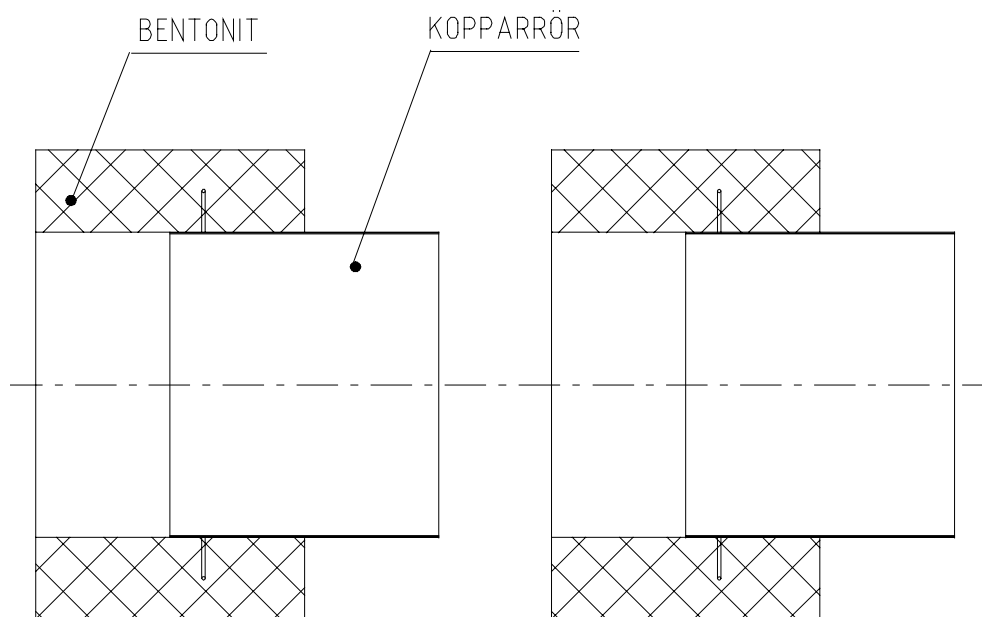
Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna i projekt JADE: varje bentonitelement är fodrat på insidan med en bit guiderör av koppar. Röret är lika långt som bentonitringen men förskjutet en halv längd. En pinnfläns på röret, inbakad i bentonitringen, håller ihop bentoniten med guideröret.

Tekniken redovisas på ritning:

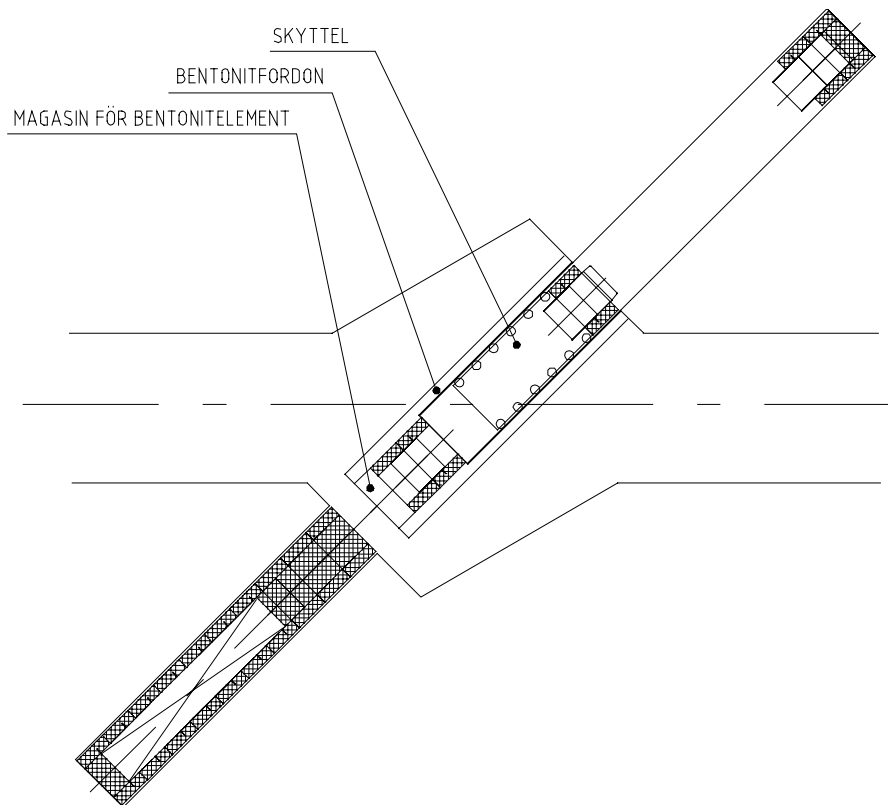
- SKB-DEP-201

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 4$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,1$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter



Figur 4-4. Sammansatt bentonitring och guiderör.



Figur 4-5. Deponering med snedställda deponeringshål.

Deponeringshålen är snedställda mot deponeringstunneln med nischer, se figur 4-5. Vinkeln är cirka 48°. Deponeringshålet har försetts med en främre försänkning för att eliminera strålningsläckage.

Dessa dimensioner ger en total utbruten bergvolym av 18 m³ per meter deponeringstunnel (exkl deponeringshålets och nischernas volym) eller cirka 100 m³ per deponeringshål.

Deponeringsprocessen

De tre deponeringsstegen är:

1. bentonitblocken och bentonitelementen deponeras,
2. kapseln deponeras samt
3. de förseglande bentonitblocken deponeras.

Första steget (deponeringen av bentonit- och guiderörselement) inleds med att de kombinerade bentonit- och guiderörselementen lastas på ett bentonitfordon i centralområdet och transporteras till det aktuella deponeringshålet. Fordonet positioneras framför hålet i ett väldefinierat läge.

Bentonitringarna placeras, en i taget, med hjälp av en fordonsbunden skyttel, som styrs med rullar mot hålets väggar och drivs av en pneumatiskcylinder. När bentonitringarna monteras i hålet skjuts de samman och ett sammanhängande guiderör bildas.

Inför andra steget (kapseln skjuts in inuti guideröret) transporteras kapseln ner till centralområdet, 500 m under marknivån, med hjälp av ett yttransportfordon. Kapseln lastas om, antingen i centralområdet eller vid mynningen av den aktuella deponeringstunneln, till ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, benämnd deponeringsfordon, vilket är försett med ett tubformat strålskydd.

I andra steget transporterar deponeringsfordonet kapseln fram till deponeringshålet. Bakom kapseln ligger ett bentonitblock för att avskärma strålning. Fordonet positioneras på plats i ett väldefinierat läge, i rak linje ut från hålet. Kapseln och bentonitblocket skjuts in i guideröret genom en linjär rörelse (pneumatikcylinder) till hålets botten.

Risk för strålningsläckage förekommer vid dockningen mot deponeringshålet. Detta kan undvikas med en fördjupning vid deponeringshålets mynning, i vilken strålskyddscylindern skjuts in.

Tredje steget (förseglingen av hålet med bentonitblock) inleds med att bentonitblocken lastas på ett bentonitblocksfordon i centralområdet och transporteras till det aktuella deponeringshålet. Fordonet positioneras i ett väldefinierat läge, varefter blocken placeras ett i taget i hålet.

4.8.2 Maskinbeskrivning

Bentonitelement och kapsel deponeras vid olika tidpunkter. Deponeringsprocessen utförs i tre separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen: ett bentonitringfordon, ett deponeringsfordon och ett bentonitblocksfordon.

Bentonitringfordon

Fordonet är cirka 10 m långt, 2 m brett, 2,7 m högt och har en uppskattad totalvikt på 25 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 8 st (4 axlar). Varje axel har egen drivning och är individuellt styrd.

Bentonitfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet fordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en rullförsedd skyttel, som drivs av en pneumatisk cylinder, för inplacering av bentonitringarna i deponeringshålet,
- ett bentonitmagasin samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och bentonitringar.

Deponeringsfordon

Fordonet är cirka 7,5 m långt, 3,5 m brett, 3 m högt och har en uppskattad totalvikt på 90 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 10 st. Varje hjul är styrt och drivet individuellt.

Deponeringsfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet fordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- ett tubformat strålskydd för kapseln,
- plunge med hydraulik för inplacering av kapseln i guideröret samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Bentonitblockfordon

Fordonet är cirka 7 m långt, 2 m brett, 2,7 m högt och har en uppskattad totalvikt på 15 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 6 st (3 axlar). Varje axel har egen drivning och är individuellt styrd.

Bentonitblocksfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet fordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en lyftanordning för att placera bentonitblock i guiderörets mynning,
- en skjutare driven av pneumatisk cylinder för inskjutning av bentonitblock i guideröret samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och bentonitblock.

4.8.3 Processbeskrivning

1. Bentonitringarna (med integrerade guiderörsbitar) och det inre bentonitblocket lastas på bentonitringfordonet i omvänd ordning mot hur de skall deponeras, detta sker i centralområdet.
2. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
3. Fordonet körs bort till deponeringstunneln och positioneras där framför aktuellt deponeringshål, i rak linje ut från hålet.
4. En fordonsbunden skyttel plockar första bentonitelement (bentonit-blocket) från ett magasin på fordonet och för den in till botten av deponeringshålet.
5. Skytteln går i retur, hämtar ett nytt element och monterar detta i det förra så att ett heltäckande rör bildas. Rörelsen utförs med en pneumatiskcylinder.
6. Skytteln fyller deponeringshålet ut till mynningen med bentonitringar med guiderör. Skytteln äntrar varje bentonitring i den föregående.
7. Bentonitringfordonet körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
8. Bentonitbufferten och det monterade guideröret kontrolleras visuellt.
9. Deponeringsfordonet, tidigare lastad i centralområdet alternativt vid mynningen på deponeringstunneln, körs fram, positioneras och stabiliseras vid deponeringshålet.

10. Kapseln matas in inuti guideröret med en linjär rörelse (pneumatisk cylinder).
11. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt bentonitblocksfordonet.
12. Bentonitbufferten och det monterade guideröret (främre delen) kontrolleras visuellt.
13. Bentonitblocksfordonet körs fram, positioneras och stabiliseras vid deponeringshålet.
14. Blocken lyfts, en i sänder, med den integrerade lyftanordningen och äntras i guiderörets mynning.
15. Blocken skjuts in, en i sänder, i guideröret med pneumatikcylindern.

4.8.4 För- och nackdelar för teknik 2

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponerings tekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Liten tunnelarea på grund av snedställda deponeringshål i förhållande till deponeringstunneln.
2. Samtliga fordon kan manövreras eller fjärrstyras på nära håll. Fjärrstyrning med kameraövervakning är inte nödvändig.
3. Lätta (relativt) fordon.
4. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
5. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålnings tekniska aspekter på grund av strålskyddscynder.
6. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.

Nackdelar

1. Bentonitelement med guiderörskedel av koppar.
2. Kvarlämnat guiderör.
3. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.
4. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
5. Strålskyddet betyder ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
6. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
7. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
8. Behov av nischer vid deponeringshål för att få liten tunnelbredd.

5 Övriga tekniska lösningar avseende deponering ”i delar”

5.1 Teknik 3 – Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med tre olika fordon. Tudelade bentonitringar. Snedställda deponeringshål

5.1.1 Allmän beskrivning

Bentonitblocken, tudelade bentonitringarna och kapseln deponeras vid olika tidpunkter. Kapseln läggs ovanpå de undre ringhalvornas delningsyta. Deponeringsprocessen utförs i tre separata steg. Tre olika fordon används vid deponeringen. Kapseln är inte strålskyddad.

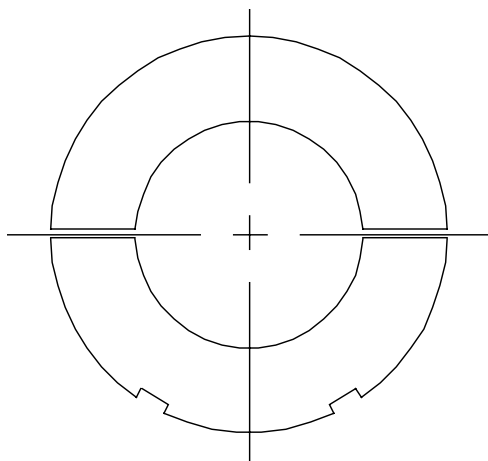
Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna i projekt JADE, se figur 5-1. Tekniken i sig bygger på tudelade bentonitringar och hanteringen med gaffelvagn kräver två urtag i den yttre begränsningsytan i de undre bentonithalvorna.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 4$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 0$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0$ meter

Deponeringshålen är snedställda med nischer mot deponeringstunneln.

Den utbrutna bergvolymen är 18 m^3 per meter deponeringstunnel (exkl. deponeringshållets och nischernas volym) eller 100 m^3 per deponeringshål vid sex meters vinkelrätt avstånd mellan hålen.



Figur 5-1. Tudelad bentonitring.

Deponeringsprocessen

Deponeringen av bentonitringshalvor och kapsel redovisas på ritningarna:

- SKB-DEP-301
- SKB-DEP-304

De tre stegen i deponeringsprocessen är:

1. bottenblock och nedre halvan av bentonitringarna deponeras,
2. kapseln deponeras samt
3. övre halvan av bentonitringarna och de förseglande blocken deponeras.

Det första steg (deponeringen av nedre halvan av bentonitringarna) inleds med att bentonithalvorna och bottenblocket lastas på ett kombinerat transport- och deponeringsfordon, benämnt bentonitfordon 1 i centralområdet och transporteras till det aktuella deponeringshålet. Fordonet positioneras framför hålet och elementen placeras ett i taget i hålet med en gaffeltruckliknande vagn. Bentonitelementen placeras ut till deponeringshålets kant.

Inför det andra steget (deponeringen av kapseln) transporteras kapseln med det använda bränslet ner till centralområdet, cirka 500 m under marknivån, med hjälp av ett yttransportfordon och vidare till deponeringstunnelns mynning. Kapseln flyttas till ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, benämnt deponeringsfordon. Deponeringsfordonet transporterar kapseln till deponeringshålet.

I det andra steget positioneras fordonet i rak linje ut från deponeringshålet. En larvbandgående kapselbärare, integrerad på fordonet, lyfter upp kapseln på kapselbärarens undersida och transporterar in den i hålet. Bandvagnen förs fram på de deponerade ringhalvornas plana ytor. Risk för strålningsexponering förekommer vid steg två varför deponeringsfordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning.

I det tredje steg (deponering av de övre bentonithalvorna och de förseglande blocken) lastas bentonithalvorna och bentonitblocken på ett kombinerat transport- och deponeringsfordon, benämnt bentonitfordon 2, i centralområdet och transporteras till det aktuella deponeringshålet. Fordonet positioneras på plats i ett väldefinierat läge. En bentonitbärare, integrerad på fordonet, transporterar in elementen ovanpå de deponerade bentonithalvorna in till rätt position i hålet. Bäraren går i retur varvid rörelseschemat upprepas till dess deponeringshålet är fyllt ut till kanten av deponeringshålet. De förseglande blocken lyfts sedan upp med en lyftanordning mitt för centrumhålet mellan bentonithalvorna och skjuts in med hjälp av en pneumatikcylinder. Risk för strålningsexponering förekommer vid steg tre varför deponeringsfordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning.

5.1.2 Maskinbeskrivning

Deponeringen av komponenterna sker vid olika tidpunkter. Processen utförs i fem separata steg.

Tre olika fordon används vid deponeringen: två bentonitfordon och ett deponeringsfordon.

Bentonitringarna deponeras i halvor, den övre ytan på de undre halvorna utnyttjas som ”körbana” för inläggningen av kapseln och de övre ringhalvorna.

Bentonitfordon 1

Fordonet är cirka 8,5 m långt, 2 m brett, 2,7 m högt och har en uppskattad totalvikt på 35 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 8 st (fyra axlar). Varje axel har egen drivning och är individuellt styrd.

Bentonitvagnens utförande redovisas på ritning:

- JADE 000 0118

Bentonitfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet bentonitfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- vattentank och pump för att hydrauliskt kunna lyfta och sänka bentonitelementen på bentonitvagnen,
- en elmotordriven manipulator för att placera bentonitblock och ringar på bentonitvagnen,
- en gaffeltruckliknande bentonitvagn. Gafflarna går med hjul eller rullar mot deponeringshålets botten. Under transport i deponeringshålet hålls bentonitringarna på plats med takplåt och vattenkuddar.
- en fällbar landgång som förbinder fordonet med deponeringshålet,
- en elmotordriven matarkedja för transport av bentonitvagn i deponeringshålet samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av bentonitfordon och bentonitvagn.

Deponeringsfordon

Deponeringfordonets utseende framgår av ritning:

- SKB-DEP-302

Fordonet är cirka 7 m långt, 2 m brett, 3,5 m högt och har en uppskattad totalvikt på 50 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 10 st. Varje hjul är styrt och drivet individuellt.

Deponeringsfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en kapselbärare för att föra in kapseln i deponeringshålet. Kapseln lyfts upp på bärens undersida med lyftband och hålls på plats av dessa under transport in i deponeringshålet. Kapselbäraren drivs framåt med hjälp av larvband med vilka den vandrar in i deponeringshålet, ovanpå de tidigare deponerade bentonithalvorna. Larvbanden drivs av elmotorer.
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel. Fordonet är fjärrstyrt eftersom kapseln ej är avskärmad.

Bentonitfordon 2

Bentonitfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet bentonitfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en bentonitbärare för att föra in övre bentonitringshalvorna i deponeringshålet. Bentonitringshalvorna lyfts upp på bärarens undersida med lyftband och hålls på plats av dessa under intransport i deponeringshålet. Bentonitbäraren drivs framåt med hjälp av larvband med vilka den vandrar in i deponeringshålet, ovanpå de redan deponerade bentonithalvorna. Larvbanden drivs av elmotorer.
- en elmotordriven lyftanordning för inplacering av de förseglande bentonitblocken i hålet i bentonitringshalvorna samt
- pneumatisk kolv för att skjuta dessa bentonitblock på plats.

5.1.3 Processbeskrivning

1. De undre halvorna av bentonitringsarna samt det inre bentonitblocken lastas på bentonitfordon 1 i centralområdet.
2. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
3. Bentonitfordonet 1 körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
4. Fordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar de första bentonitelementet (bentonitblocket) från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.
6. Elementet på gaffeln lyfts med lyftbälg och fixeras mot taket på bentonitvagnen. Vagnen vrids därefter i det horisontella planet till deponeringshålets längsriktning (cirka 90°) varvid elementet skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.
7. När elementet är i position töms vattenkuddarna på sitt vatten och elementet vilar på golvet i deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar alla bentonitringsar, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd fram till hålets mynning.
8. Bentonitfordon 1 körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
9. Deponeringshålet och bentoniten kontrolleras visuellt.
10. Yttransportfordonet kör fram till deponeringstunnelns mynning och intar dockningsposition med uppställt deponeringsfordon inne i deponeringstunneln. Mynningen på deponeringstunneln förses med en portabel strålskärm.
11. Kapseln matas från sitt strålskydd på yttransportfordonet till deponeringsfordonet.
12. Deponeringsfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet.
13. Kapselbäraren lyfter upp kapseln med hjälp av lyftband.

14. Kapselbäraren transporterar in kapseln i deponeringshålet.
15. Kapselbäraren lägger ner kapseln på de undre bentonithalvorna och går i retur till deponeringsfordonet.
16. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt bentonitfordon 2.
17. Bentonitfordon 2 kör fram och dockar med deponeringshålet.
18. Bentonitbäraren lyfter upp de övre bentonithalvorna, vandrar in i deponeringshålet och lägger ner dem en i sänder.
19. Ett förseglande bentonitblock lyfts och förs in i bentonitöppningen inuti deponeringshålet med lyftanordningen på bentonitfordonet.
20. En pneumatikcylinder fälls in i centrumlinjen och skjuter in blocket mot kapseln.
21. Cylindern går i retur och fälls undan.
22. Punkt 19 till 21 utförs cykliskt till dess deponeringshålet är fullt.

5.1.4 För- och nackdelar med teknik 3

Sammanställningen över fördelar och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponerings tekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Låg tunnelkostnad på grund av liten tunnelarea då deponeringshålen är snedställda i förhållande till deponeringstunneln.
2. Lätta (relativt) fordon.
3. Kapseln och bentonitelementen har under en deponeringsprocess relativt lång och enkel tillgänglighet för kontroll.
4. Enkelt att reparera skadad bentonit före deponering av kapseln.
5. Låg personmedverkan i deponeringstunnel på grund av fjärrstyrning.
6. Bästa möjliga strålteknisk säkerhet vid incidentfri drift på grund av fjärrstyrning.
7. Ingen eller minimal relativ rörelse mellan kapsel och bentonit vid deponering av kapsel.

Nackdelar

1. Tudelade bentonitringar.
2. Undre bentonitringshalvorna utnyttjas som lastbärande ytor vid deponering av kapsel och övre bentonitringshalvor.
3. Behov av nischer vid deponeringshål för att få liten tunnelbredd.
4. Flera fordon används, dvs ett ökat antal byggkomponenter vilket i sin tur höjer sannolikheten för driftstörningar i processen.

5. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
6. Högre kostnad på grund av kameraövervakningen för fjärrstyrningen.
7. Även vid enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet krävs extraordinära åtgärder på grund av strålning.
8. Omlastning av kapseln sker "mobilt" och ej med utnyttjandet av fasta, (stabila) installationer.
9. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering i helt paket; teknik 4c).
10. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.

5.2 Teknik 6 – Deponering av strålskyddad kapsel "i delar" med två fordon. Strålskyddstub med plunge

5.2.1 Allmän beskrivning

Bentonit och kapsel deponeras vid olika tidpunkter. I denna teknik utförs deponeringsprocessen i tre separata steg. Två olika fordon används vid deponeringen. Tekniken har stora likheter med teknik 1c+* (se avsnitt 4.7).

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 6,2$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 3,5$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,1$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 27 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 65 m^3 per deponeringshål.

Bentonitelementens mått och utformning avviker från förutsättningarna i projekt JADE. Samtliga bentonitringar och -block har två urtag i den yttre begränsningsytan för att de skall kunna hanteras med gaffelvagn.

Deponeringsprocessen

Tekniken redovisas på ritning:

- JADE 000 0120A

De tre stegen i deponeringsprocessen är följande:

1. de första bentonitelementen deponeras,
2. kapseln deponeras samt
3. de avslutande bentonitblocken deponeras.

I första steget (deponering av de första bentonitelementen) lastas bentonitelementen på ett kombinerat transport- och deponeringsfordon, benämnt bentonitfordon, och transporteras till deponeringstunneln och till det aktuella deponeringshålet. Fordonet positioneras framför detta hål. En gaffelvagn placerar elementen i deponeringshålet, ett i taget. Hålet fylls med ringar fram till blivande läget för kapselns gavel mot deponeringstunneln.

Inför det andra steget (deponeringen av kapseln) transporteras kapseln med det använda bränslet ner till centralområdet, cirka 500 m under marknivån, med hjälp av ett yttransportfordon och vidare till deponeringstunnelns mynning. Kapseln flyttas till ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, benämnt deponeringsfordon. Deponeringsfordonet transporterar kapseln till deponeringstunneln. Framför deponeringstunnelns mynning utför kapseln och dess strålskydd en lavetrörelse, dvs vrids 90° i horisontalplanet. Fordonet transporterar därefter kapseln till deponeringshålet.

I det andra steget positioneras och stabiliseras fordonet framför det aktuella deponeringshålet. Kapseln skjuts in i hålet i bentonitringarna med två linjära rörelser. Den första matar strålskyddet med kapseln i fram till de tidigare deponerade bentonitringarna. Den andra rörelsen matar kapseln ut ur strålskyddet och in i bentonitringarna. Risk för strålningsexponering förekommer vid steg två varför deponeringsfordonet är fjärrstyrt med kameraövervakning.

I tredje steget läggs de tillslutande bentonitblocken in i deponeringshålet med likadant förfarande som i steg ett.

5.2.2 Maskinbeskrivning

Deponeringen av kapsel och bentonitringar och bentonitblock sker åtskilt vilket medför att deponeringsprocessen utförs i tre separata steg. Kapseln skjuts in i bentonitringarna direkt från strålskyddscyldern med en plungecylinder. Två olika fordon används vid deponeringen: ett bentonitfordon och ett deponeringsfordon.

Bentonitfordon

Bentonitfordonet är identiskt med bentonitfordonet beskrivet i teknik 1c+ kapitel 4.5 och redovisas på följande ritningar:

- Bentonitfordonets utseende JADE 000 0110
- Bentonitvagns utseende JADE 000 0118
- Hantering av bentonitelement JADE 000 0119

Deponeringsfordon

Deponeringsprocessens genomförande och därtill nödvändig utrustning är i stor utsträckning identisk med det, som gäller för teknik 1c+ (se kapitel 4.5).

Kapselbädd och tillhörande drivning utgår. Kapseln ligger direkt i strålskyddscyldern och skjuts in i bentonitringarna med hjälp av en plungecylinder.

5.2.3 Processbeskrivning

1. Bentonitblock och bentonitringar lastas på bentonitfordonet i centralområdet.
2. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
3. Bentonitfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
4. Bentonitfordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad, sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar första bentonitblocket från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.
6. Bentonitblocket på gaffeln lyfts med lyftkuddar och fixeras mot bentonitvagnens takplåt. Vagnen vrids cirka 90° i det horisontalplanet till deponeringshålets längdsriktning, varefter bentonitblocket skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.
7. När bentonitblocket är i position töms lyftkuddarna på sitt vatten och blocket vilar på golvet i deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar resten bentonitringarna, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd fram till kapselns främre gavel.
8. Bentonitfordonet körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
9. Deponeringsfordonet, tidigare lastat i centralområdet alternativt vid mynningen på deponeringstunneln, utför en lavetrörelse i korsningen av transporttunneln och aktuell deponeringstunnel.
10. Deponeringsfordonet körs fram i deponeringstunneln med strålskyddet på tvären, positioneras och stabiliseras vid aktuellt deponeringshål.
11. Strålskyddstuben med kapseln matas in i deponeringshålet fram till bentonitringarna med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse.
12. Plungekolven trycksättes och kapseln tillsammans med det gaveltäckande bentonitblocket skjuts då in inuti bentonitringarna.
13. Då kapseln är i rätt position backas strålskyddstuben ut ur deponeringshålet, varefter även lavetrörelsen går i retur.
14. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt bentonitfordonet.
15. Bentonitfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (jfr punkt 4).
16. Resterande bentonitblock matas in i deponeringshålet enligt samma procedur som i punkt 5–7.

5.2.4 För- och nackdelar med teknik 6

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponerings tekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Samtliga fordon kan manövreras eller fjärrstyras från nära håll. Kameraövervakning för fjärrstyrningen är inte nödvändig.
2. Lätta (relativt) fordon.
3. Bentonitelementen har under en deponeringsprocess relativt lång och enkel tillgänglighet.
4. Enkelt att reparera skadad bentonit före deponering av kapsel.
5. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
6. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålnings tekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
7. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.

Nackdelar

1. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer felsannolikheten för driftstörningar i processen.
2. Upprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
3. Strålskyddet betyder ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
4. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
5. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
6. Skador på bentoniten, som uppkommer vid inskjutning av kapseln, är ej åtkomliga för reparation. Bentonitkross kan hamna mellan kapselände och bottenblock.

5.3 Teknik 8 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med två fordon. Strålskyddstub med plunge. Kapseln delvis utanför strålskyddet i deponeringshålet. Lavettrörelse i transporttunneln

5.3.1 Allmän beskrivning

Tekniken är i huvudsak identisk med teknik 6. Skillnaden är att i första processteget fylls deponeringshålet med bentonitringarna till ett läge som motsvarar endast tre fjärdedelar av kapselns längd.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 6,2$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 3,5$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,1$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2 - 0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 27 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 65 m^3 per deponeringshål.

Bentonitelementens mått och utformning avviker från vad som beskrivits i förutsättningarna för utvecklingsarbetet för KBS-3-metoden. Innerdiametern föreslås minska med 10 mm till 1 060 mm för de innersta tre fjärdedelarna av ringarna för att det skall finnas tillräckligt utrymme mellan kapseln och deponeringshålets vägg när återstående ringar skjuts på plats efter att kapseln deponerats. Dessa återstående ringar, vilka motsvarar cirka en fjärdedel av kapsellängden, har innerdiameter 1 070 mm enligt förutsättningarna. Samtliga bentonitringar och -block har två urtag i den yttre begränsningsytan för att de skall kunna hanteras med gaffelvagn.

Deponeringsprocessen

De tre stegen i deponeringsprocessen är:

1. de första bentonitelementen deponeras,
2. kapseln deponeras samt
3. övriga bentonitelement deponeras.

Det första steget (deponeringen av de första bentonitelementen) inleds med att bentoniten lastas på bentonitfordonet i centralområdet och transporteras till deponeringstunneln och vidare till aktuellt deponeringshål. Fordonet positioneras framför hålet. Det bakre bentonitblocket deponeras och därefter deponeras ett lämpligt antal bentonitringar, så att inlagda buffertens längd motsvarar cirka tre fjärdedelar av kapsellängden.

I det andra steget (deponeringen av kapseln) lastas kapseln i deponeringsfordonets strålskydd och körs genom transporttunneln till deponeringstunneln. Vid denna tunnels mynning utför strålskyddet med kapseln en lavettrörelse. Fordonet kör in i deponeringstunneln med kapseln ”på tvären” och positioneras framför deponeringshålet. Kapseln

skjuts in inuti de tidigare inplacerade bentonitringarna genom två linjära rörelser. Den första rörelsen matar strålskyddstuben med kapseln in i deponeringshålets försänkning. Den andra rörelsen matar kapseln ut ur strålskyddet och in i bentonitringarna.

I det tredje steget (deponeringen av de tillslutande bentonitelementen) lastas återstående bentonitelement på bentonitfordonet i centralområdet och körs till deponeringshålet. De tillslutande bentonitelementen deponeras i deponeringshålet med likadant förfarande som i steg ett.

5.3.2 Maskinbeskrivning

Deponeringsprocessens genomförande och därtill nödvändig utrustning är i stor utsträckning identisk med de som gäller för teknik 6.

Bentonitfordon

Bentonitfordonet är uppbyggt och fungerar på samma sätt som i teknik 6. Ett undantag utgörs av utformningen av bentonitvagnen, som lägger in elementen från fordonet in i deponeringshålet.

Deponeringsfordon

Kapselns linjära matning ut ur strålskyddstuben sker likadant som vid teknik 6 med hjälp av en plungecylinder. Skillnaden är att strålskyddstuben i den här tekniken är försedd med radiellt verkande klämkomponenter. När cirka tre fjärdedelar av kapsellängden är frammatad ur strålskyddstuben nyper dessa komponenter kapselns kvarvarande del i strålskyddstuben. Därmed elimineras det gap, som behövs att kunna mata kapseln med hjälp av plungecylindern. Kapseln blir fastlåst och ”uppriktad”. I detta ”uppriktade” läge matas strålskyddstuben in vidare i deponeringshålet och därmed skjuts även kapselns uthängande del in i tidigare inlagd buffert.

5.3.3 Processbeskrivning

1. Bentonitblock och bentonitringar med innerdiameter 1 060 mm lastas på bentonitfordonet i centralområdet.
2. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
3. Bentonitfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål.
4. Bentonitfordonets bakre del, där bentonitvagnens gångbana och drivning är installerad, sammanlänkas med deponeringshålets nedre, horisontella yta genom nedfällning av en fällbar landgång.
5. Bentonitvagnen plockar första bentonitblocket från ett magasin på fordonet med en gaffelkonstruktion.
6. Bentonitblocket på gaffeln lyfts med lyftkuddar och fixeras mot bentonitvagnens takplåt. Vagnen vrids cirka 90° i horisontalplanet till deponeringshålets längdriktning, varefter bentonitblocket skjuts in i hålet med hjälp av en enkelböjlig kedja.

7. När bentonitblocket är i position töms lyftkuddarna på sitt vatten och blocket vilar på botten av deponeringshålet. Vagnen dras ut och hämtar resterande bentonitringar, en i sänder, tills bufferten är uppbyggd till cirka tre fjärdedelar av kapsellängden.
8. Bentonitfordonet körs undan för att ge plats åt deponeringsfordonet.
9. Deponeringsfordonet, tidigare lastad i centralområdet alternativt vid mynningen på deponeringstunneln körs fram till korsningen mellan transporttunnel och deponeringstunnel.
10. Strålskyddstuben med kapseln vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
11. Deponeringsfordonet körs fram i deponeringstunneln, positioneras och stabiliseras vid aktuellt deponeringshålet.
12. Strålskyddstuben med kapseln matas in i deponeringshålet en bit innanför mynningen.
13. Plungecylindern trycksättes och kapseln matas fram cirka tre fjärdedelar av sin längd.
14. Matningen stannar och de radiella klämkomponenterna nyper till.
15. Rörelse nr 12 fortsätter tills kapseln intar sitt läge i bufferten.
16. Då kapseln är i rätt position upphör klämfunktionen och strålskyddstuben backas ut ur deponeringshålet.
17. Deponeringsfordonet körs undan för att ge plats åt bentonitfordonet.
18. Bentonitfordonet körs fram och positioneras vid deponeringshålet och sammanlänkas med deponeringshålet (jfr punkt 4).
19. Resterande bentonitringar med innerdiameter 1 070 mm, samt bentonitblocken matas in i deponeringshålet enligt samma procedur som i punkt 5 till och med 7.

5.3.4 För- och nackdelar med teknik 8

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponerings tekniker som presenteras i föreliggande rapport. Tekniken skiljer sig minimalt från teknik 6 kapitel 5.2 och nedanstående för- och nackdelar är i jämförelse med den tekniken.

Fördelar

1. Kapselns inskjutning i bufferten sker under grepp (mindre risk för "plöjning").
2. Samtliga fordon kan manövreras eller styras från nära håll. Kameraövervakning för fjärrstyrningen är inte nödvändig.
3. Lätta (relativt) fordon.
4. Bentonitelementen har under en deponeringsprocess relativt lång och enkel tillgänglighet.
5. Enkelt att reparera skadad bentonit före deponering av kapsel.

6. Möjlighet att deponera kapseln i ett förutbestämt läge (gäller rotationsvinkeln kring kapselns längdaxel).
7. "Normala", enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålnings tekniska aspekter på grund av strålskyddscynder.
8. Omlastning av kapseln kan utföras (även) i centralområdet med utnyttjandet av fasta, stabila installationer.
9. Förenklad deponeringsprocess.

Nackdelar

1. Kapseln skall utsättas för klämgrepp och böjpåkänning.
2. Behov för två olika bentonitringar föreligger.
3. Flera fordon används, dvs ett ökat antal maskinkomponenter, vilket i sin tur höjer felsannolikheten för driftstörningar i processen.
4. Uppprepningar av olika moment i processen leder till förhöjd felsannolikhet i genomförandet.
5. Strålskyddet betyder ökad last, tyngre deponeringsfordon, kraftigare konstruktion för respektive hanteringsaggregat.
6. Svårt att reversera deponeringsprocessen (vid jämförelse med deponering av helt paket; teknik 4c).
7. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning till deponeringshålet.
8. Skador på bentoniten, som uppkommer vid inskjutning av kapseln, är ej åtkomliga för reparation. Bentonitkross kan hamna mellan kapselände och bottenblock.
9. Urtag i bentonitelementen.
10. Eventuell efterfyllning av urtag i bentonitelementen.

6 Tekniska lösningar avseende deponering med vridbart laddningsrör

6.1 Teknik 4a – Deponering av strålskyddad kapsel i ett paket med vridbart laddningsrör. Snedställda deponeringshål. Ingen lavettrörelse

6.1.1 Allmän beskrivning

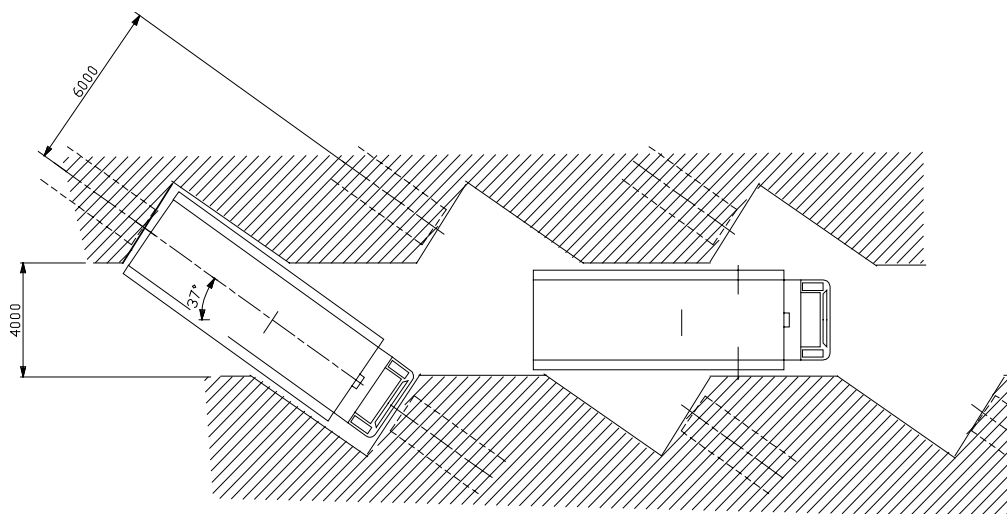
Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ändblocken deponeras tillsammans i ett paket, i ett steg, med hjälp av ett vridbart, skopformat laddningsrör. Endast ett fordon används vid deponeringen. Ingen strålningsrisk förekommer vid deponeringen.

Tekniken redovisas på nedanstående ritningar:

- Lastningsstation SKB-DEP-412
- Deponeringstunnel och -hål SKB-DEP-414
- Laddningsrör SKB-DEP-407
- Laddningsrörets vridningslägen SKB-DEP-408

Deponeringshålen är snedställda cirka 37° mot deponeringstunneln. Hålen på motstående väggar ordnas så att respektive triangulära nischer tillsammans skapar en yta med area $4 \times 12 = 48 \text{ m}^2$ diagonalt över deponeringstunneln, se figur 6-1 nedan. Nischväggen där hålet är placerat är 4 m bred och den andra nischväggen är 6,6 m. Hålen och nischerna placeras så att det vinkelräta avståndet mellan deponeringshålen blir 6 m (delningen i deponeringstunnelns riktning blir cirka 10 m).

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera läckage av strålning från kapseln.



Figur 6-1. Snedställda deponeringshål i teknik 4a.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 4$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 18 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 130 m^3 per deponeringshål.

Deponeringsprocess

Deponeringsprocessen utförs i ett enda steg framför deponeringshålet. Processen föregås av uppbyggnaden av paketet i en fast installation i centralområdet.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och bentonitringar till ett paket direkt i ett laddningsrör. För detta utnyttjas fasta installationer i centralområdet.

Paketet och laddningsröret lastas sedan på ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, deponeringsfordonet. Fordonet körs fram till det aktuella deponeringshålet, dockar hålet med aktern och positioneras i rak linje ut från hålet.

Från detta läge matas laddningsröret ut ur strålskyddscylindern och in i deponeringshålet fram till botten av hålet. I denna position roteras laddningsröret ett halvt varv kring sin längdaxeln, vilket resulterar i att hela paketet rullar ur det skopformade laddningsröret och hamnar på deponeringshålets botten. Efter deponeringen går laddningsröret i retur till deponeringsfordonet och vidare till centralområdet.

6.1.2 Maskinbeskrivning

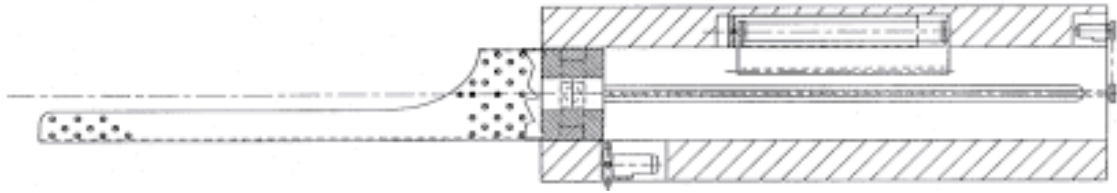
Deponeringen av kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ändblocken vid vardera gaveln sker tillsammans i ett paket. Deponeringen sker i ett steg. Deponeringen sker från ett och samma fordon, här kallat deponeringsfordon, vilket är försett med ett integrerat tubformat strålskydd. Deponeringen sker rakt bakåt från deponeringsfordonet, ingen lavetrörelse utförs således. Triangulära nischer är sprängda i deponeringstunneln för att spara utrymme.

Deponeringsfordon

Fordonet är cirka 10,5 m långt, 3,5 m brett, 3,7 m högt och har en uppskattad totalvikt på 140 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Deponeringsfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.



Figur 6-2. Strålskyddscynder med utskjutet laddningsrör.

- ett laddningsrör för paket med kapsel, bentonitringar och bentonit-ändblock inuti strålskyddstuben, se figur 6-2 ovan. Laddningsröret är försett med elmotordriven inskjutningsenhet, vridenhet, mothåll och gripenhet.
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel. Fordonet är fjärrstyrt eftersom kapseln ej är avskärmad.

Deponeringsfordonet utrustas med två laddningsrör. Det ena röret används i centralområdet till att bygga kapsel- och bentonitpaketet i medan det andra används i den pågående deponeringsprocessen.

6.1.3 Processbeskrivning

1. Bentonitringarna och alla förseglande bentonitblock monteras till ett paket direkt i laddningsröret. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Laddningsröret ligger horisontellt upplagt skilt från strålskyddet. Efter färdig montering skjuts en yttre rörhylsa över laddningsröret.
2. Det monterade och preparerade laddningsröret reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ner i det uppresta laddningsröret (lämpligen från en ovanliggande våning, där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis placeras ett bentonitblock på övre änden, varefter laddningsröret fälls tillbaka till horisontellt läge.
3. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och lämnar ett tomt laddningsrör. Laddningsröret lämnas i ett sådant läge att punkt 1 kan genomföras. Fordonet dockar med hotcellen och drar in det förberedda laddningsröret i strålskyddet.
4. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringstunneln, positioneras och stabiliseras framför aktuellt deponeringshål, rakt ut från hålet.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
6. Strålskyddet med kapseln och bentonitelementen liggande i laddningsröret skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse mot bergväggen in i en försänkning i deponeringshålets mynning.
7. Laddningsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulsruvar.
8. Ett vridaggregat kopplas ihop med laddningsröret och utförs en vridrörelse cirka ett halvt varv.
9. Från sidan (innanför strålskyddet) fälls en pneumatisk enhet in i linje med laddningsröret. En mothållskraft installeras på yttersta bentonitblocket.
10. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

6.1.4 För- och nackdelar med teknik 4a

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Endast ett fordon används.
2. Manövrering eller fjärrstyrning från nära håll kan användas genom hela processen. Kameraövervakning är inte nödvändig för fjärrstyrningen.
3. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålnings tekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
4. Relativ okänslighet för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av att kapsel och bentonit deponeras samtidigt.
5. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
6. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
7. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
8. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.
9. Endast ett laddningsrör och ett paket med kapsel och samtliga bentonitelement.
10. Ingen lavettrörelse och därmed färre komponenter och operationer.

Nackdelar

1. Stor tunnelarea medför högre kostnad.
2. Tungt fordon.
3. Risk för rörelsehindrande störningar i samverkan mellan bergvägg och laddningsrör. Lossade bergsflisor kan kila fast laddningsrör.
4. Ovisshet om den påverkan som eventuellt åstadkommes på bentonitbufferten när laddningsröret töms.
5. Under laddningsrörets ”tömning” gör kapseln i bentonitbufferten en okontrollerad avrullningsrörelse.
6. Hantering av två ”paket” (fördubbling av vissa funktioner).
7. Behov av nisch vid deponeringshål.
8. Komplicerad uppställning för dockning.

6.2 Teknik 4b – Deponering av strålskyddad kapsel i ett paket med vridbart laddningsrör. Lavettrörelse vid deponeringshålet

6.2.1 Allmän beskrivning

Tekniken är i huvudsak identisk med teknik 4a (avsnitt 6.1) med följande skillnader:

- Deponeringshålen är borrarade i vinkelrät riktning mot deponeringstunnelns längdaxel.
- Deponeringstunneln innehåller inga nischer.
- Kapsel- och bentonitpaketet samt dess strålskydd utför en lavettrörelse i deponeringstunneln framför deponeringshålet.

Tekniken redovisas på nedanstående ritningar:

- Transport och deponeringsläge SKB-DEP-415
- Deponeringssekvens SKB-DEP-418
- Laddningsrör SKB-DEP-407
- Laddningsrörets vridningslägen SKB-DEP-408

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera läckage av strålning från kapseln.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 10$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 6,5$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är cirka 53 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 120 m^3 per deponeringshål.

Deponeringsprocessen

Deponeringsprocessen utförs i ett enda steg framför deponeringshålet, analogt processen i teknik 4a. Processen föregås av uppbyggnaden av paketet i en fast installation i centralområdet.

Uppbyggnaden av bentonit- och kapselpaketet är identisk med den i teknik 4a, se avsnitt 6.2.1.

Det färdigbyggda paketet och laddningsröret lastas sedan på ett kombinerat transport- och inskjutningsfordon, deponeringsfordonet. Fordonet körs fram till det aktuella deponeringshålet och positioneras i rak linje ut från hålet.

Strålskyddet med paketet utför en lavetrörelse, dvs vrids 90° i horisontalplanet. Från detta läge matas laddningsröret ut ur strålskyddscylindern och in i deponeringshålet fram till botten av hålet. I denna position roteras laddningsröret ett halvt varv kring sin längdaxel, vilket resulterar i att hela paketet rullar ur det skopformade laddningsröret och hamnar på deponeringshålets botten. Efter deponeringen går laddningsröret i retur till deponeringsfordonet och vidare till centralområdet.

6.2.2 Maskinbeskrivning

Eftersom deponeringsprocessen för teknik 4b är i stort identisk med den för teknik 4a är den därtill nödvändiga utrustningen nästan identisk med den för teknik 4a. Skillnaden är lavetrörelsen, som påverkar fordonets strukturella utformning och genomförandet av dess operationer.

6.2.3 Processbeskrivning

1. Bentonitringarna och blocken monteras till ett paket direkt i laddningsröret. Detta sker i djupförvarets centralområde med utnyttjande av fasta installationer. Laddningsröret ligger horisontellt upplagt skilt från strålskyddet. Efter färdig montering skjuts en yttre rörhylsa över laddningsröret.
2. Det monterade och preparerade laddningsröret reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ner i det uppresta laddningsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat).
3. Avslutningsvis placeras ett bentonitblock på övre änden, varefter laddningsröret faller tillbaka till horisontellt läge.
4. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och lämnar ett tomt laddningsrör. Laddningsröret lämnas i ett sådant läge att punkt 1 kan genomföras. Fordonet dockar med hotcellen och drar in det förberedda laddningsröret i strålskyddet.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
6. Deponeringsfordonet körs fram till deponeringstunneln, positioneras och stabiliseras framför aktuellt deponeringshål.
7. Strålskyddet med kapseln och bentonitelementen liggande i laddningsröret vrids 90° i horisontalplanet med lavetrörelsen på fordonet. Rörelsen utförs med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
8. Kapselpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse mot bergväggen in i en försänkning i deponeringshålets mynning.
9. Laddningsröret matas ur strålskyddet in i deponeringshålet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulsruvar.
10. Ett vridaggregat kopplas ihop med laddningsröret och utför en vridrörelse cirka 180°.
11. Från sidan (innanför strålskyddet) faller en pneumatisk enhet in i linje med laddningsröret. En mothållskraft installeras på yttersta bentonitskivan.
12. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

6.2.4 För- och nackdelar med teknik 4b

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Endast ett fordon används.
2. Manövrering eller fjärrstyrning från nära håll kan användas genom hela processen. Kameraövervakning är inte nödvändig för fjärrstyrningen.
3. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålnings tekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
4. Relativ okänslighet för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av att kapsel och bentonit deponeras samtidigt.
5. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
6. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
7. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
8. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.
9. Endast ett laddningsrör och ett paket med kapsel och samtliga bentonitelement.

Nackdelar

1. Stor tunnelarea medför högre kostnad.
2. Tungt fordon.
3. Risk för rörelsehindrande störningar i samverkan mellan bergvägg och laddningsrör. Lossade bergsflisor kan kila fast laddningsrör.
4. Ovisshet om den påverkan som eventuellt åstadkommes på bentonitbufferten när laddningsröret töms.
5. Under laddningsrörets ”tömning” gör kapseln i bentonitbufferten en okontrollerad avrullningsrörelse.
6. Hantering av två ”paket” (fördubbling av vissa funktioner).
7. Större tunnelarea.

6.3 Teknik 4c – Deponering av strålskyddad kapsel i två paket med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavettrörelse vid deponeringshålet

6.3.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ändblocken vid vardera gaveln deponeras tillsammans som ett paket med hjälp av ett vridbart, skopformat laddningsrör. De förseglande bentonitblocken deponeras i ett separat paket efter det första, vilket innebär att deponeringsprocessen utförs i två steg. Endast ett fordon används vid deponeringen, deponeringsfordon. Ingen strålningsrisk förekommer vid deponeringen.

Teknik 4c har stora likheter med teknik 4b: den enda skillnaden är att i 4b deponeras kapsel och bentonit i ett paket i stället för i två paket i 4c.

Tekniken redovisas på följande ritningar:

- Lastningsstation SKB-DEP-419
- Deponeringsfordonets utseende JADE-000-0420
- Deponeringslägen SKB-DEP-416c
- Deponeringssekvens SKB-DEP-417
- Laddningsrör SKB-DEP-407
- Laddningsrörets vridningslägen SKB-DEP-408

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera läckage av strålning från kapseln.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,9$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 37 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 90 m^3 per deponeringshål.

Deponeringsprocess

När kapseln anlärt till slutförvarets nivå, cirka 500 m under markytan, byggs den ihop med omgivande bentonitringar och två ändblock till ett paket, direkt i ett så kallat "laddningsrör", analogt teknik 4a och 4b. De förseglande bentonitblocken byggs ihop till ett separat paket i ett annat laddningsrör direkt på fordonet. Paketens ihopbyggnad sker i djupförvarets centralområde med utnyttjandet av fasta installationer. Paketet flyttas till ett tubformat strålskydd på deponeringsfordonet.

I första steget körs fordonet fram till det aktuella deponeringshålet och positioneras där i deponeringsposition för det första paketet. Strålskyddscylindern vrids i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas laddningsröret (vilken innehåller kapselpaketet) med hjälp av en kombination av olika rörelser ut ur strålskyddscylindern och in i deponeringshålet fram till botten av hålet. I denna position roteras laddningsröret ett halvt varv kring sin längdaxel, vilket resulterar i att hela paketet rullar ur laddningsröret och hamnar på deponeringshålets botten. Efter deponeringen går laddningsröret i retur till deponeringsfordonet.

I det andra steget flyttas fordonet till deponeringspositionen för det andra paketet. De förseglande bentonitblocken deponeras med hjälp av ett vridbart laddningsrör som utför ett likadant rörelseschema som i steg ett.

6.3.2 Maskinbeskrivning

Deponeringen av kapseln, de omslutande bentonitringarna och bentonitblock vid vardera gaveln sker tillsammans i ett paket. De förseglande bentonitblocken deponeras i ett separat paket efter det första, vilket innebär att deponeringsprocessen utförs i två steg.

Deponeringen sker från ett och samma fordon, här kallat deponeringsfordon, vilket är försett med ett integrerat tubformat strålskydd.

Deponeringsfordon

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,7 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummihjul) är 36 st (18 dubbelmontage). Varje dubbelmontage har egen drivning och är individuellt styrda.

Deponeringsfordonets huvuddelar utgörs av:

- ett gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen,
- en huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- en strålskyddstubb på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet,
- ett laddningsrör för paket med kapsel, bentonitringar och bentonit-ändblock inuti strålskyddstuben,
- laddningsrör för bentonitändblock, och varje laddningsrör är försett med elmotor-driven inskjutningsenhet, vridenhet, mothåll och gripenhet, samt
- positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel. Fordonet är fjärrstyrt eftersom kapseln ej är avskärmad.

6.3.3 Processbeskrivning

1. Bentonitringarna och ett bentonitblock monteras till ett paket i laddningsrör 1. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Laddningsröret ligger horisontellt upplagt skilt från strålskyddet. Efter färdig montering skjuts en yttre rörhylsa över laddningsröret.
2. Det monterade och preparerade laddningsröret reses vertikalt och placeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ner i det uppresta laddningsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis placeras ett gaveltäckande block på övre änden varefter laddningsröret fälls tillbaka till horisontellt läge.
3. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och lämnar ett tomt laddningsrör. Laddningsröret lämnas i ett sådant läge att punkt 1 kan genomföras. Laddningsröret för bentoniten laddas med bentonitpluggar direkt på fordonet. Fordonet dockar med "hotcellen" och drar in det förberedda laddningsröret i strålskyddet.
4. Deponeringsfordonet körs fram till deponeringstunneln, samt positioneras och stabiliseras framför aktuellt deponeringshål.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
6. Strålskyddet (innehållande kapseln och bentonitbufferten liggande i laddningsröret) vrids cirka 90° i det horisontella planet (lavettrörelse) på fordonet. Rörelsen utförs med hjälp av en elmotordriven konstruktion (kuggkranslager).
7. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i en försänkning i deponeringshålets mynning.
8. Laddningsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge där laddningsröret nästan har lämnat strålskyddet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
9. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kuls kruvarna kopplas ifrån laddningsröret och går i retur.
10. Från sidan (innanför strålskyddet) fälls ett kombinerat grip- och vridaggregat in i linje med drivenheten och laddningsröret. Dessa tre enheter kopplas ihop och utför återigen en linjär matningsrörelse. Denna rörelse för laddningsröret till dess rätta läge i deponeringshålet samtidigt som grip- och vridaggregatet hamnar innanför mynningen.
11. Gripenheten låser fast sig mot bergväggen och vridenheten vrider laddningsröret cirka 180° kring den horisontella längdaxeln. Kapselpaketet hamnar på deponeringshålets botten varvid laddningsröret hamnar i tomrummet mellan bentonitbuffert och bergvägg och blir avlastat. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att göra en ompositionering.
12. Deponeringshålet (främre delen) kontrolleras visuellt.
13. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
14. Skyddshylsan (innehållande bentonitblocken liggande laddningsrör 2) vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavettrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordrivet kuggkranslager.

15. Bentonitpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
16. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det redan deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
17. När rätt läge är nått finns en del av laddningsröret kvar i skyddshylsan. Med skyddshylsan som mothåll vrids laddningsröret cirka 180° kring den horisontella längdaxeln. Bentonitpluggar hamnar på deponeringshålets botten varvid laddningsröret hamnar i tomrummet mellan bentoniten och väggen och blir avlastat.
18. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

6.3.4 För- och nackdelar med teknik 4c

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Endast ett fordon används.
2. Manövrering eller fjärrstyrning från nära håll kan användas genom hela processen. Kameraövervakning är inte nödvändig för fjärrstyrningen.
3. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålnings tekniska aspekter på grund av strålskyddscynder.
4. Relativ okänslighet för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av att kapsel och bentonit deponeras samtidigt.
5. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
6. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
7. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
8. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.

Nackdelar

1. Stor tunnelarea medför högre kostnad.
2. Tungt fordon.
3. Risk för rörelsehindrande störningar i samverkan mellan bergvägg och laddningsrör. Lossade bergsflisor kan kila fast laddningsrör.
4. Ovisshet om den påverkan som eventuellt åstadkommes på bentonitbufferten när laddningsröret töms.
5. Under laddningsrörets ”tömning” gör kapseln i bentonitbufferten en okontrollerad avrullningsrörelse.
6. Hantering av två ”paket” (fördubbling av vissa funktioner).

6.4 Teknik 4c* – Deponering av strålskyddad kapsel i två delar med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavettrörelse i transporttunneln

6.4.1 Allmän beskrivning

Tekniken är i huvudsak identisk med teknik 4c (avsnitt 6.3), med skillnaden att strålskyddstuben med kapsel utför sin lavettrörelse innan den går in i deponeringstunneln.

Tekniken redovisas på följande ritningar:

- Deponeringsfordonets utseende JADE-000-0420
- Deponeringslägen SKB-DEP-416c
- Deponeringssekvens SKB-DEP-417
- Lastningsstation SKB-DEP-419

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera läckage av strålning från kapseln.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 1.4; figur 1-2):

- Bredd $B = 6,6$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,7$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 32 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshål) eller 80 m^3 per deponeringshål.

Deponeringsprocessen

Deponeringsprocessen för teknik 4c* är identisk med processen i teknik 4c, se avsnitt 6.3.1, med skillnaden att strålskyddstuben med sin kapsel utför en lavettrörelse i transporttunneln innan deponeringsfordonet går in i deponeringstunneln.

6.4.2 Maskinbeskrivning

Deponeringsfordonet är identiskt med fordonet i teknik 4c, se avsnitt 6.3.2.

Deponeringsfordonet utrustas med två laddningsrör för paket med kapsel. Det ena röret används i centralområdet till att bygga kapsel- och bentonitpaketet i medan det andra används i den pågående deponeringsprocessen.

6.4.3 Processbeskrivning

- 1–3. Identiskt med punkt 1–3 i teknik 4c.
4. Deponeringsfordonet körs bort till korsningen mellan transport- och den aktuella deponeringstunneln. Fordonet stabiliseras.
5. Strålskyddet (innehållande kapseln och bentonitbufferten liggande i laddningsröret) vrids cirka 90° i det horisontella planet (lavettrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
6. Deponeringsfordonet körs in i deponeringstunneln och positioneras samt stabiliseras framför aktuellt deponeringshål. Kapselpaketet är tvärställt under transporten i deponeringstunneln.
7. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
- 8–20. Identiskt med punkt 7–19 i teknik 4c.

6.4.4 För- och nackdelar med teknik 4c*

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Lägre tunnelkostnad än i 4c.
2. Användning av endast ett fordon.
3. Manövrering eller fjärrstyrning på nära håll kan användas genom hela processen. Kameraövervakning är inte nödvändig för fjärrstyrningen.
4. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålningstekniska aspekter på grund av strålskyddscynder.
5. Relativ okänslighet för vattentillströmning till deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
6. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
7. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”. (Se även nackdelar punkt 5).
8. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
9. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.

Nackdelar

1. Tungt fordon.
2. Risk för rörelsehindrande störningar i samverkan mellan bergvägg och laddningsrör. Lossade bergsflisor kan kila fast laddningsrör.
3. Ovisshet om den påverkan som eventuellt åstadkommes på bentonitbufferten när laddningsröret töms.
4. Under laddningsrörets ”tömning” gör kapseln i bentonitbufferten en okontrollerad avrullningsrörelse.

7 Övriga tekniska lösningar avseende deponering ”i paket”

7.1 Teknik 5 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med larvbandgående gaffelvagn och ett deponeringsfordon

7.1.1 Allmän beskrivning

Tekniken är i huvudsak identisk med teknik 4c*. Skillnaden är att laddningsröret ersatts med en gaffeltruckliknande vagn.

Med denna ändring uppnås följande:

- Kapselpaketet läggs ner i deponeringshålet i stället för att rulla ut ur laddningsröret.
- Ingen okontrollerad avrullning mellan kapsel och bentonitbuffert i det sista deponeringsmomentet.
- Lägre belastning på bergbotten i deponeringshålet.

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning för att eliminera läckage av strålning.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 6,6$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,7$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergvolymen är 32 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshålet) eller 80 m^3 per deponeringshål.

Bentonitelementen avviker från förutsättningarna i projekt JADE. Samtliga bentonitblock och -ringar har två urtag i yttre begränsningsytan för att de skall kunna hanteras av gaffelvagnen.

Deponeringsprocessen

Deponeringsprocessen i teknik 5 är i huvudsak identisk med processen i teknik 4c, se avsnitt 6.3.1. Liksom i teknik i 4c*, utför strålskyddet med kapselpaketet i teknik 5 lavetterörelsen i transporttunneln innan fordonet går in i deponeringstunneln.

7.1.2 Maskinbeskrivning

Deponeringsfordonet är i huvudsak identiskt med fordonet i teknik 4c, se avsnitt 6.3.2. Skillnaderna är att:

- Laddningsröret utgår och ersätts av en larvbandgående gaffelvagn.

- Vrid-, grip- och mothållsenheter utgår ur den tillhörande rörelse- och kontrollutrustning.

Gaffelvagnens utförande framgår av ritning JADE 000 0426. De två gafflar, som bär hela kapselpaketet, vilar på rullar sammanbundna med varandra med ett ändlöst flexibelt band. Dessa band är i kontakt med berget. Gafflarna är försedda med lyftkuddar för lyftning och sänkning av kapselpaketet.

7.1.3 Processbeskrivning

1. Bentonitringar och ett block monteras till ett paket direkt i ett monteringsrör vars inre inhyser den larvbandförsedda gaffelkonstruktionen. Detta sker i djupförvarets centralområde med utnyttjande av fasta installationer. Monteringsröret ligger horisontellt upplagt, skilt från strålskyddet.
2. Monteringsröret reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta röret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis placeras ett förslutande block på den övre änden, varefter röret fälls tillbaka till horisontellt läge.
3. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och parkerar en tom gaffelkonstruktion i det uppställda monteringsröret, så att punkt 1 kan genomföras. Fordonet dockar sedan med hotcellen och drar in den förberedda, lastade gaffeln (men ej monteringsröret) i strålskyddet.
4. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringstunnelns mynning, positioneras och stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
5. Strålskyddet med kapseln och bentonitbufferten liggande på strålskyddets botten och med lyftkuddarna på gafflarna nedsänkta, vrids cirka 90° i horisontalplanet.
6. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
7. Deponeringsfordonet körs fram till aktuellt deponeringshål, positioneras och stabiliseras.
8. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse mot bergväggen in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
9. Gafflarnas lyftkuddar fylls, kapselpaketet lyfts, körs ut ur strålskyddet, in i deponeringshålet fram till ett läge, där gafflarna nästan har lämnat strålskyddet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
10. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kuls kruvarna kopplas ifrån gafflarna och går i retur.
11. Innanför strålskyddet fälls en förlängare in i linje med drivenheten och gafflarna. Dessa tre enheter kopplas ihop och utför en linjär matningsrörelse, som transporterar kapselpaketet vilande på gafflarna till dess rätta läge i deponeringshålet.
12. Lyftkuddarna töms, kapselpaketet läggs ner på deponeringshålets golv och gafflarna blir avlastade.
13. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att göra en ompositionering.
14. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.

15. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
16. Skyddshylsan med bentonitblocken liggande på en gaffelkonstruktion vrids cirka 90° i det horisontalplanet på fordonet med hjälp av en elmotor driven konstruktion med ett kuggkranslager.
17. Bentonitpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse mot bergväggen, in i försänkningen kring mynningen.
18. Gafflarna matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det redan deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotor drivna kuls kruvar.
19. När rätt läge är nått töms lyftkuddarna, kapselpaketet läggs ner på deponeringshålets golv och gafflarna blir avlastade.
20. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

7.1.4 För- och nackdelar med teknik 5

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Endast ett fordon används.
2. Fjärrstyrning på nära håll kan användas genom hela processen. Behovet av kameraövervakning för fjärrstyrningen kan elimineras genom en enkel ändring i logistiken.
3. ”Normala”, enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till strålningstekniska aspekter på grund av strålskyddscynder.
4. Relativ okänslighet för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
5. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
6. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
7. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
8. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.
9. Förenklad möjlighet att åstadkomma heltäckande takskydd för kapselpaketet under hela deponeringsprocessen.
10. Möjlighet att återta kapselpaketet efter avslutad deponering.
11. Mindre känslig för bergskross än teknik 4c och 4c*.

Nackdelar

1. Tungt fordon.
2. Urtag i bentonitelementen.
3. Eventuell efterfyllning av urtag i bentonitelementen.

7.2 Teknik 7 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” på utlagda gejdrar med ett fordon

7.2.1 Allmän beskrivning

Kapsel och bentonit deponeras tillsammans i ett paket på utlagda gejdrar som sedan återtats. Deponeringsprocessen utförs i fyra steg. Två olika fordon. Ingen risk för strålningsexponering.

Med användningen av gejdrar framför ett laddningsrör som i teknik 4c* uppnås följande:

- Deponeringshålets vägg har ingen direkt kontakt med kapselpaketet under inmatningen.
- Kapselpaketet läggs ner i deponeringshålet i stället för att rulla ut ur laddningsröret.
- Ingen okontrollerad avrullning mellan kapsel och bentonitbuffert i det sista deponeringsmomentet.

Deponering med gejdrar i deponeringshål redovisas i ritning:

- JADE MLH 1010b

Deponeringshålets mynning har försetts med en försänkning i syfte att undvika läckage av strålning.

Lämpliga dimensioner på deponeringstunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 6,6$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,7$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Den utbrutna bergsvolymen är 32 m^3 per meter deponeringstunnel (exklusive deponeringshålet) eller 80 m^3 per deponeringshål.

Bentonitelementens form och dimensioner avviker från förutsättningarna i projekt JADE. Samtliga bentonitblock och -ringar har två urtag på den yttre begränsningsytan för gejderna. Troligen måste dessa efterfyllas med bentonit när paketet deponerats. När de dras ut kan gejderna orsaka lokala skador på bentonitbufferten.

Deponeringsprocessen

De fyra stegen i deponeringsprocessen är följande:

1. gejderna läggs ut,
2. paketet med kapsel och bentonit deponeras,
3. de förseglande bentonitblocken deponeras samt
4. gejderna återtats.

I det första steget hämtar gejderfordonet gejderna från det hål där en kapsel senast deponerats och flyttar dem till aktuellt deponeringshål.

Inför det andra steget (deponeringen av paketet med kapsel och bentonit) monteras kapseln, när den anlånt till slutförvarets centralområde, ihop med bentonitblock och bentonitringar i ett monteringsrör försett invändigt med gejdrar och glidskenor.

Det andra steget inleds med att deponeringsfordonet drar in paketet med monteringsrör in i sitt strålskydd. Paketet transporteras till deponeringstunnelns mynning där strålskyddet utför en lavetrörelse. Fordonet går in i tunneln med sin last ”på tvären” fram till det aktuella deponeringshålet där det positioneras.

Kapseln matas med tre linjära rörelser ut från fordonet in i hålet. I den första rörelsen skjuts strålskyddet in i försänkningen i hålets mynning. Gejderna i strålskyddet och i hålet möts och låses ihop. I den andra rörelsen matas paketet in i hålet glidande på gejderna fram till ett läge där paketet nästan lämnat strålskyddet. I den tredje rörelsen avslutas inskjutningen av paketet med en kulskruv. Kulskraven går i retur, gejderna frigörs och strålskyddet tas tillbaka.

I det tredje steget (deponeringen av de förslutande bentonitblocken) positioneras deponeringsfordonet om framför deponeringshålet, varefter de förseglade blocken placeras ut med hjälp av gejdrar på ett sätt motsvarande det för paketet.

I det fjärde steget dras gejderna ut av gejderfordonet.

7.2.2 Maskinbeskrivning

Deponeringsprocessens genomförande och därtill nödvändig utrustning är i stor utsträckning identisk med de som gäller för teknik 4c* (se avsnitt 4.3).

Deponeringsfordon

Fordonet är i huvudsak identiskt med fordonet i teknik 4c. Laddningsröret och tillhörande vrid-, grip- och mothållsenhet utgår.

Fordon för gejdrar

Ett fordon för iläggning och utdragning av gejdrar ur deponeringshålet.

7.2.3 Processbeskrivning

1. Bentonitringar och ett block monteras till ett paket direkt i ett monteringsrör, vars insida är försedd med fastmonterade gejdrar med glidskenor. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Monteringsröret ligger horisontellt upplagt, skilt från strålskyddet.
2. Monteringsröret reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta röret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis placeras ett förslutande block på den övre änden, varefter röret fälls tillbaka till horisontellt läge.

3. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och parkerar ett tomt monteringsrör, så att punkt 1 kan genomföras. Fordonet dockar sedan med hotcellen och drar in det förberedda, lastade monteringsröret i strålskyddet. Kapselpaketet vilar på glidskenor, vilka i sin tur vilar på gejderna i strålskyddet.
4. Deponeringsfordonet körs bort till korsningen mellan transport- och den aktuella deponeringstunneln. Fordonet stabiliseras.
5. Strålskyddet (innehållande kapseln och bentonitbufferten liggande i laddningsröret) vrids cirka 90° i det horisontella planet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
6. Under tiden har ett särskilt fordon tagit ut gejderna ur det senast färdigställda deponeringshålet och lagt in dem i det nästkommande.
7. Deponeringshålet kontrolleras visuellt.
8. Deponeringsfordonet körs in i deponeringstunneln och positioneras samt stabiliseras framför aktuellt deponeringshål. Kapselpaketet är tvärställt under transporten i deponeringstunneln.
9. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse mot bergväggen i en försänkning kring deponeringshålets mynning. Rörelsen resulterar samtidigt i att gejderna i strålskyddet och i deponeringshålet möts och låses ihop.
10. Kapselpaketet matas ut ur strålskyddet glidande på gejderna in i deponeringshålet fram till ett läge, där paketet nästan har lämnat strålskyddet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulsruvar.
11. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kulsruvarna kopplas från bakstycket på paketet och går i retur.
12. En förlängare innanför strålskyddet fälls in från sidan i linje med drivenheten och bakstycket. Dessa tre enheter kopplas ihop och utför återigen en linjär matningsrörelse (se punkt 8). Denna rörelse för kapselpaketet glidande på gejderna till dess rätta läge i deponeringshålet.
13. Matningsrörelsen går i retur, gejderna säras (fordon/hål), fordonet frigörs från bergväggen och är redo att göra en ompositionering.
14. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
15. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
16. Skyddshylsan med bentonitblocken liggande på gejderna vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
17. Bentonitpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse mot bergväggen i försänkningen kring deponeringshålets mynning. Gejderna sammankopplas.
18. Bentonitblocken matas ut ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det redan deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med elmotordrivna kulsruvar.
19. När rätt läge är nått går matningsrörelsen i retur, gejderna säras (fordon/hål), fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.
20. Fordonet för gejderna positionerar sig mot deponeringshålet. Mothåll anbringas på det yttersta bentonitblocket och gejderna dras successivt ut.

7.2.4 För- och nackdelar med teknik 7

Sammanställningen över för- och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i en jämförelse med de övriga horisontella deponeringstekniker som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Manövrering eller fjärrstyrning på nära håll kan användas genom hela processen. Kameraövervakning är inte nödvändig för fjärrstyrningen.
2. "Normala", enkla incidentsituationer med deponeringsfordonet kan åtgärdas utan hänsyn till stråltekniska aspekter på grund av strålskyddscyliner.
3. Relativ okänslighet för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
4. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering "i paket").
5. Mindre risk för felhantering vid deponering "i paket".
6. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
7. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en "verkstad".
8. Möjlighet att återta kapselpaketet efter avslutad deponering.
9. Okänslig för bergskross.
10. Möjlighet att åstadkomma heltäckande takskydd för kapselpaketet under hela deponeringsprocessen.
11. Möjlighet att återta kapselpaketet efter avslutad deponering.
12. Ingen samverkan mellan bergvägg och kapselpaket.

Nackdelar

1. Tungt fordon.
2. Urtag i bentonitelementen.
3. Eventuell efterfyllning av urtag i bentonitelementen.
4. Hantering av gejdrar.
5. Risk för skador på bentonitelementen när gejdrarna dras ut.

8 Feleffektanalys

En feleffektanalys har genomförts på de tre tekniker som studerades i utvecklingsfas 2, dvs 1c-, 1c+ och 4c, samt en MLH teknik. Syftet var att ta fram ett underlag för jämförelse av deponering med och utan strålskydd kring kapseln. I analysen identifieras de moment i deponeringsprocessen som är kritiska ur strålskyddssynpunkt.

De två första teknikerna är deponeringstekniker ”i delar” i vilka bentoniten placeras först i deponeringshålet och kort därefter deponeras kapseln. I deponeringen används ett guiderör med (1c+) eller utan (1c-) strålskydd kring kapseln i deponeringstunneln. I teknik 4c deponeras kapseln och bentoniten ”i paket”, det vill säga samtidigt, med hjälp av ett vridbart laddningsrör. Feleffektanalysen för teknik 1c- har kompletterats med en konsekvensanalys där felfrekvens och kostnader för incidenter har bedömts.

Feleffektanalysen för MLH tekniken redovisas i rapporten för utvecklingen av MLH tekniker, seriell deponering /4/.

8.1 Feleffektmatris, uppbyggnad

I feleffektanalysen bryts deponeringsprocessen först upp i diskreta steg som kallas aktiviteter. I nästa etapp identifieras de olika typer av fel som kan störa en normaldrift och som måste avhjälpas för att deponeringen skall kunna fortgå. För varje fel utgår man från ett värsta tänkbara fall. Orsaken till felet tas inte upp. För varje insats som krävs för att avhjälpa felet måste hänsyn tas till om strålning förekommer eller ej.

Arbetsgången var följande:

- En beskrivning av utrustningen som används i teknikerna beskrevs i en arbetsrapport och lämnades till Bengt Lönnerberg, ABB Atom.
- Under det att Bengt Lönnerberg utförde sin analys bröts deponeringsprocessen ner i strålningssituationer i en beskrivning, se Bilaga 2, som också lämnades till honom.
- Bengt Lönnerberg analyserade processen ur en strålskyddsteknisk synvinkel. Rapporten återges som Bilaga 3.
- ÅF-I utförde en feleffektanalys, se Bilaga 4.

Insatsen för att rätta till felet värderas kvantitativt på en tregradig skala med avseende på:

- tidsåtgången för åtgärden (T)
- strålningsteknisk säkerhet vid avhjälpandet (S)
- resursbehov för avhjälpandet (R).

Skalan är relativ: värderingen görs relativt andra tekniker och andra aktiviteter i processen. Värderingen beror givetvis också på uppdelningen av processen i aktiviteter. Det är således vanskligt att jämföra de värden som erhållits här för horisontella deponeringsteknikerna (KBS-3 H) samt för MLH-tekniken, som analyserades samtidigt, med de värden som erhållits i en annan feleffektanalys, till exempel den för KBS-3 V, vertikala deponeringstekniker. Skalan som använts här anges nedan.

Tidsåtgång:

T = 1, mindre än en dag.

T = 2, från två till fem dagar.

T = 3, mer än fem dagar.

Säkerhet

S = 1, inga extra säkerhetsåtgärder med avseende på strålning krävs.

S = 2, vissa extra säkerhetsåtgärder med avseende på strålning krävs.

S = 3, betydande extra säkerhetsåtgärder med avseende på strålning krävs.

Resursbehov

R = 1, driftspersonal.

R = 2, reparationspersonal.

R = 3, extraordinära insatser.

Dessa så kallade TSR-koder för aktiviteter i processen summeras och bearbetas så att de olika deponeringsalternativen kan jämföras ur strålskyddssynpunkt.

De två nyckeltalen som använts här är:

TSR_A : summan av antal gånger parametrarna T, S eller R gavs ett värde "3" under genomgången av processen aktivitet för aktivitet.

S: summan av antalet gånger parametern S gavs värdet "2" och två gånger antalet gånger den gavs värdet "3". Till exempel, om S=3 i en aktivitet och S=2 i tre aktiviteter blir nyckeltalets värde fem.

8.2 Resultat av feleffektanalysen

För feleffektmatriserna hänvisas till Bilaga 4. Resultatet av analysen har sammanställts i tabell 8-1 med hjälp av nyckeltalen TSR_A och S vilka definierats ovan:

Tabell 8-1. Nyckeltalen för de tre deponeringstekniker som studerats i fas 2.

Nyckeltal	Deponeringsteknik		
	1c-	1c+	4c
TSR_A	10	3	0
S	14	8	5

Skillnaden mellan de två teknikerna med guiderör är att i teknik 1c- är kapseln inte strålskyddad medan den är det i teknik 1c+. Avsaknaden av strålskydd, vilket återspeglas i skillnaden mellan nyckeltalen för båda tekniker, gör att åtgärderna som behövs för att avhjälpa ett fel blir komplexa. I teknik 1c- blir varje åtgärd komplicerad när fel uppstår i något moment där kapseln transporteras eller hanteras. När kapseln är strålskyddad förenklas alla åtgärder. Enda kvarvarande kritiska moment i teknik 1c+ är inskjutningen av kapseln i guideröret, vilken ensamt orsakar värdet "3" för nyckeltalet TSR_A .

I teknik 4c är kapseln strålskyddad under processen och den placeras med omslutande bentonit i ett paket i hålet. Ur strålskyddssynpunkt vore således deponering "i paket" att föredra framför deponering "i delar" med till exempel guiderör.

8.3 Konsekvensanalys

För teknik 1c- utfördes dessutom en konsekvensanalys i syfte att, så långt det är möjligt, kvantifiera konsekvenserna av en teknik utan strålskydd under deponeringsprocessen. En sådan analys utförs genom att:

- beskriva olika huvudtyper för möjliga incidenter,
- sammanställa de relevanta följderna av incidenterna,
- uppskatta tid och kostnad för åtgärd samt
- bedöma sannolikheten för dessa incidenttyper.

Nedan ges en sammanfattning av utförd analys.

8.3.1 Beskrivning av olika typer av incident

Fem typer av incident har identifierats och beskrivs nedan i stigande grad av komplexitet för de avhjälpande åtgärderna:

- A. Kapseln fastnar när den matas ut från deponeringsfordonet in i deponeringshålet. Konstruktionen som bär upp kapseln är låst. Fordonet är låst. Alla komponenter befinner sig i "normalposition". Kapseln är oskadd.
- B. Inmatningen av kapseln skenar och kan inte avbrytas. Kapseln och konstruktionen som bär upp den hamnar utanför "normalpositionen". Detta kan innebära antingen att kapseln förflyttats utanför ordinarie rörelseschema men är kvar på fordonet eller att kapseln har lämnat fordonet och exempelvis fallit ner på tunnelgolvet. Fordonet står kvar på sin position. Kopparkapseln har skadats men inte den tryckbärande stål-kapseln.
- C. Som B ovan, men även stål-kapseln har skadats under incidenten eller under efterföljande arbeten och måste därmed bytas.
- D. Som B ovan, men fordonets position har rubbats. Antingen har fordonet förflyttats i sidled (det är inte möjligt att komma förbi fordonet och vidta åtgärder) eller så har fordonet kommit i rullning och befinner sig inte längre framför hålet.
- E. Som B ovan, men händelsen inträffar vid ett deponeringshål närmast deponeringstunnelns mynning. Användningen av transporttunneln påverkas.

8.3.2 Följdeffecker

En incident får både direkta följdfecker och kopplade följdfecker. Till de direkta följdfecker hör de åtgärder som behövs för att kunna fortsätta deponeringen av kapseln. Till de kopplade effekterna hör exempelvis att deponerings- och inkapslingsverksamheten står still under tiden åtgärderna genomförs.

Till exempel, en kedja av följdfecker (åtgärder) för incidenttyp A kan se ut på följande sätt. Utrustning måste föras fram till deponeringsutrustningen som fastnat. Där avlastas deponeringsfordonet och frigörs. Detta fordon repareras vid behov. Kapseln placeras på detta fordon vilket dockas med ytfordonets transportskydd. Kapseln lastas om. Deponeringshålet rensas och deponeringen kan återupptas.

För att utföra åtgärderna efter en incident behövs en särskild utrustning, en så kallad arbetsplattform. Tillverkningen av denna arbetsplattform tar så pass lång tid att den inte kan beställas först när en incident inträffat. Utrustningen måste vara tillgänglig redan vid början av deponeringen i slutförvaret.

Till de kopplade följdfeckerna hör det stillestånd i deponeringen, med eventuellt följd-stillestånd i t ex inkapslingen, som kan uppstå när deponeringsfordonet blir låst av en incident. Antingen accepteras detta stillestånd (med medföljande kostnader) eller så måste redundans finnas för deponeringsfordonet. Med detta reservfordon kan andra, inkommande kapslar deponeras i en annan deponeringstunnel. Reservfordonet måste finnas från början av deponering i slutförvaret.

8.3.3 Sannolikheten för incidenter

Incidenterna kan ha olika felkällor inom såväl styrteknik, elektronik, mekanik, drivteknik som enskilda mekaniska komponenter. Felkällan kan finnas på olika ställen, exempelvis i deponeringsfordonet eller i deponeringshålet. En heltäckande sammanställning av orsaker och en bedömning av sannolikheter att specifika fel uppstår skulle emellertid föra för långt i detta skede.

I bedömningen av frekvensen för felen används därför skalan i en rapport från Institutet för Verkstadsteknisk Forskning (IVF) om feleffektanalys /8/, se tabell 8-2. Denna skala är baserad på erfarenheten från tillverkningsindustrin. Bedömningen av sannolikheten för incidenter av typ A till E återges i tabell 8-3.

Tabell 8-2. Bedömningen av felsannolikheter enligt /8/.

Bedömningstal	Felsannolikhet	Bedömningskriterier
1	1 på 10 000	Mycket liten sannolikhet att fel inträffar. Fel antas förekomma sällan eller aldrig
2	1 på 5 000	Liten sannolikhet att fel inträffar
3	1 på 2 000	Fel antas förekomma ibland
4	1 på 1 000	Viss sannolikhet att fel inträffar Fel antas förekomma
5	1 på 500	Fel antas förekomma
6	1 på 200	Fel antas förekomma
7	1 på 100	Hög sannolikhet att fel inträffar. Fel antas vara vanligt förekommande
8	1 på 50	Fel antas vara vanligt förekommande
9	1 på 20	Mycket hög sannolikhet

Tabell 8-3. Sannolikheten för incidenter för deponeringsteknik 1c- och antal incidenter under deponeringstiden.

Incidenttyp	Bedömning	Bedömningstal	Antal incidenter
A	viss sannolikhet att fel inträffar	4	5
B	fel antas förekomma ibland	3	2,5
C	liten sannolikhet men händer ibland	mellan 2 och 3	1,5
D	liten sannolikhet	2	1
E	mycket liten sannolikhet	2	1

Med detta bedömningssystem skulle det totala antalet incidenter under deponeringen av 5 000 kapslar alltså vara elva stycken. Detta ger en felfrekvens på 0,22 %.

Författarnas bedömning är att felfrekvensen i verkligheten, och därmed kostnaderna, troligen kommer att bli högre än denna beräknade frekvens.

Erfarenheten i det amerikanska "space shuttle" programmet är hitintills att frekvensen för incidenter med dödlig utgång är cirka 10 gånger större än 0,22 %. Frekvensen för incidenter som endast stör verksamheten är 200 à 300 gånger större än dessa 0,22 %.

8.4 Slutsatser

Slutsatsen från feleffektanalysen är att deponering bör utföras, så långt det är möjligt, med ett strålskydd kring kapseln. Även små fel blir svåra att avhjälpa när kapseln ligger bar på deponeringsfordonet. Analysen av konsekvenserna av incidenter för den teknik där strålskydd inte används kring kapseln antyder att incidenter kommer att inträffa och att de orsakar betydande merkostnader. Beslut att strålskydd kring kapseln skall ingå i alla varianter för KBS-3-metoden har tagits av SKB.

Ur resultatet från feleffektanalysen framgår även att teknik 4c, deponering "i paket", är att föredra framför de två deponeringstekniker "i delar" (1c- och 1c+) som ingick i denna analys.

Efter att feleffektanalysen utförts har teknikerna modifierats med hänsyn till resultaten från denna och nya tekniska lösningar har utvecklats. För dessa andra tekniker har ingen feleffektanalys genomförts. Rangordningen ovan av dessa tre tekniker (1c-, 1c+ och 4c) har således begränsad användbarhet när det gäller att välja ut en teknik eller ett fåtal tekniker bland de sutton som beskrivits i denna rapport.

9 Jämförelse

9.1 Inledning

I föreliggande rapport har teknik- och maskinbeskrivningar sammanställts för sjutton tekniker att deponera en kapsel i ett horisontellt hål. Dessa tekniker har tagits fram successivt varvid nya tekniker har utvecklats utgående från en analys av starka respektive svaga sidor i tidigare tekniker. I sammanställningen har även ingått de fördelar och nackdelar som har identifierats för varje teknik.

I detta avsnitt jämförs dessa sjutton tekniker översiktligt i syfte att identifiera en teknik eller ett fåtal tekniker som kan utvecklas vidare. Utifrån befintligt underlag kan inte jämförelsen vara annat än kvalitativ. Den bedömning av teknikernas utvecklingspotential som lämnas är författarnas. Särdragen för teknikerna presenteras i jämförelsematrisen i nästa avsnitt.

9.2 Jämförelsematris för teknikerna för horisontell deponering

I jämförelsematrisen i tabell 9-1 nedan sammanställs grundläggande data och de viktigaste urvalskriterier för de alternativa deponeringsteknikerna. Nedan lämnas en förklaring till rubrikerna i matrisen.

Typ av deponering

Kapsel och bentonit deponeras vid olika tidpunkter ("i delar") eller samtidigt ("i paket").

Deponeringen karakteriseras av









Deponeringen karakteriseras av dels om strålskydd används kring kapseln, dels vilken teknik som används för att placera bentonit och kapsel i deponeringshålet. Huvudsakligen har studerats guiderör för deponeringen "i delar", laddningsrör, samt gaffelvagn eller gejdtrar för deponering "i paket".


Kapselns rörelse

Tunnelns bredd bestäms av hur kapseln och eventuellt omgivande bentonit förs in i deponeringshålet från fordonet. De lösningar som studerats är:

- Fordonet dockar till hålet med aktern och kapseln skjuts ut över aktern.
- Kapseln och eventuellt strålskydd runt om denna utför en cardanrörelse framför hålet.
- Kapseln och eventuellt strålskydd utför en lavettrörelse ovanpå fordonet framför deponeringshålet.
- Kapseln och eventuellt strålskydd utför en lavettrörelse ovanpå fordonet i transport-tunneln.


Tabell 9-1. Jämförelsematrix – horisontell deponering (en kapsel/deponeringshål).

		Deponeringsteknik																
		1A	1B	1C	2	3	4A	4B	1C-	1C+	4C	1C*	1C+*	4C*	5	6	7	8
Typ av deponering	"i delar" "i paket"	x	x	x	x	x			x	x		x	x			x		x
							x	x			x			x	x		x	
Deponeringen karakteriseras av	avskärmad kapsel guiderör laddningsrör bandgående gaffeltruck gejdrar	ja x	ja x	nej x	ja x	nej	ja	ja	nej x	ja x	ja	ja x	ja x	ja x	ja	ja	ja	ja
							x	x			x			x		x		x
Kapselns rörelse karakteriseras av	dockning med akter lavetrörelse vid deponeringshålet lavetrörelse i transporttunneln cardanorörelse	x	x		x	x	x				x				x	x	x	x
								x		x	x			x				x
Relativrörelse under inplaceringen i deponeringshålet	utrustning/berg utrustning/bentonit kapsel/bentonit	nej ja nej	nej ja nej	nej ja nej	ja nej nej	ja ja nej	ja ja ja	ja ja ja	ja ja nej	ja ja nej	ja ja ja	ja ja nej	ja ja nej	ja ja ja	ja nej nej	ja nej ja	nej nej nej	ja nej ja
Deponeringstunneln 	bredd x höjd [m]	13x4	8x4	4x3,5	4x4	4x4	4x4	10x4	4x3,5	6,5x3,5	7,5x4	4x3,5	6,2x3,5	6,6x4	6,6x4	6,2x3,5	6,6x4	6,2x3,5
Deponeringshål	i vinkel (90°) snett med nischer	x	x	x		x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
					x	x	x											
Antal fordon		2	2	3	3	3	1	1	3	3	1	3	3	1	1	2	2	2
Bedömning																		

 = Angivna mått är baserade endast på deponeringens behov (utrustning och rörelse).

 = Mellanstadium i teknikutvecklingen. Innehåller potential för vidareutveckling.

 = Vidareutvecklade tekniker med målsättning av mindre tunnelarea (smalare tunnel).

 = Vidareutvecklade tekniker med bibehållen "paket"-deponering.

Relativrörelse

Om komponenterna i deponeringshålet (bentonit, kapsel, berg, utrustningen) i något skede rör sig relativt varandra har detta betydelse för de mekaniska påfrestningarna som de utsätts för. Till exempel, kapseln rör sig relativt bentoniten i teknik 6 och 8 när den glider in över ringarna.

Deponeringstunneln

Uppskattad bredd och höjd på deponeringstunneln anges tillsammans med tunnelns tvärsnittsarea.

Deponeringshål

För vissa tekniker har föreslagits att hålen snedställs.

Antalet fordon

Det antal som används för deponeringsprocessen.

Bedömning

Följande informationer lämnas i denna rad:

- tekniker utan någon markering är sådana tekniker som valdes bort under ett tidigare skede i utvecklingsarbetet,
- tekniker med markering är utvecklingsbara tekniker. Observera att skillnaden mellan t ex 1c+, 1c* och 1c+* är liten. Att 1c+* utvecklats ur 1c+ innebär inte att 1c+ i sin helhet förkastas,
- tekniker som märkts "▷" är de tekniker som har utgjort ett mellanresultat och samtidigt utgjort grunden för vidareutvecklingen av teknikerna i layoutskede E,
- tekniker som märkts "⇐" är de tekniker som innesluter sådana layoutstyrande lösningar som syftar till att minska deponeringstunnelns area,
- tekniker som märkts "⊙" är de tekniker som innesluter sådana layoutstyrande lösningar som syftar till att minska antalet rörelser och omfattningen hos rörelserna i deponeringshålet.

9.3 Redovisning

Nedan följer en redovisning av de deponeringsalternativ som bedöms som mest utvecklingsbara och slutsatser avseende dels strålskyddsfrågor, dels valet mellan deponering "i delar" eller "i paket".

9.3.1 Strålskydd

Om kapseln är strålskyddad eller inte har betydelse för flera aspekter:

- Ett strålskydd för kapseln (med eller utan omgivande bentonit) innebär att fordonet blir tyngre, vilket kan vara till nackdel.
- Avsaknad av strålskydd för med sig att deponeringsprocessen inte kan övervakas på nära håll, okulärt, av operatören utan måste övervakas med ett kamerasystem. Det senare innebär större investeringar i fasta teleförbindelser.
- Om kapseln inte är skärmd krävs vid varje incident extraordinära insatser med till exempel fjärrstyrda robotar för att korrigera processen.

En slutsats i feleffektanalysen, som redovisades i avsnitt 8, är att deponering bör utföras, så långt det är möjligt, med ett strålskydd kring kapseln. Beslut att strålskydd kring kapseln skall ingå i alla varianter för KBS-3-metoden har tagits av SKB.

Feleffektanalysen visade dessutom ett lägre antal incidenter med strålningstekniska komplikationer för deponering ”i paket”. I en sådan teknik består deponeringsprocessen av en enda hanteringssekvens för en strålskyddad kapseln. Den omgivande bentonitbufferten utgör för övrigt en del av strålskyddet.

Risk för strålningsexponering förekommer inte endast under transporten i deponeringstunneln. Även om kapsel är skärmd finns en risk för läckage i deponeringsteknikerna ”i delar” när kapseln skall skjutas ut från strålskyddstuben på fordonet in i exempelvis bentonitringarnas centrumhål. Strålskyddet tätar inte nödvändigtvis mot bergväggen i denna fas av processen. För att eliminera denna risk har föreslagits att försänkningar ordnas i hålets mynning så att strålning inte kan läcka ut. Försänkningen innebär dock något högre kostnader.

Ett annat moment i en deponering ”i delar” där strålning kan läcka ut är när kapseln deponeras och innan ett tillslutande bentonitblock med lämpliga dimensioner kommit på plats. Exponeringsrisken kan elimineras genom att deponera ett av de tillslutande blocken tillsammans med kapseln, se till exempel teknik 1a, 4c eller 4c*.

9.3.2 Deponering ”i delar”

I en deponering ”i delar” placeras bentonitelementen och kapsel i deponeringshålet vid olika tidpunkter. Först placeras bentonitbufferten i deponeringshålet och kort därefter deponeras kapseln. Kapseln måste passas in i bentonitringarnas centrumhål. Kapselns vikt och längd, deponeringshålets djup samt de snäva toleranser som hör till slutförvarets funktion ställer därvid särskilda krav.

Att skjuta in ett tungt föremål som glider på bentonitringarna innebär alltid en risk för att föremålet, dvs kapseln, skall plöja i ringarna. Det finns en risk att ringarna kan krossas, att kross lösgörs, skjuts fram och hindrar kapseln från att skjutas in helt. Risken finns också att kapseln helt kör fast. För att reducera påfrestningar på bentonitelementen under kapselns inskjutning har några tekniska utföranden studerats. Guideröret är dels en hjälp att styra in kapseln i centrumhålet, dels en anordning för att undvika dynamiska belastningar av bentonitelementen i deras kontakt med kapseln. Kapseln belastar bentoniten direkt när guideröret dras ut, men endast statiskt. Guideröret är dock en maskinkomponent som hanteras av ett särskilt fordon i många tekniker och som med nuvarande utformning kräver en större tunnelbredd än själva kapseln gör.

Flera varianter av guiderörstekniken har beskrivits i denna rapport. I de första teknikerna (1a och 1b) vilar guideröret i en försänkning i deponeringshålets bortre gavel, vilket innebär längre rör. I de senare teknikerna (1c och dess varianter) träs röret in i bentonitringarnas centrumhål. Röret är lättare än kapseln och kan enklare riktas under inskjutningen. Vinsten jämfört med 1a är kortare rör, och därmed smalare deponeringstunnlar.

I teknik 6 och 8 träs kapseln direkt i ringarnas centrumhål, utan guiderör. Vinsten är färre maskinkomponenter. Nackdelen är att inga åtgärder vidtas för att skydda bentonitringarna från kapselns dynamiska påverkan vid inskjutningen.

Idag finns inte tillräckligt underlag för att avgöra om guideröret är nödvändigt eller om det kan undvaras som i teknik 6 och 8. Kunskap om blockens hållfasthet, om statistiska variationen av dessa egenskaper måste tas fram för att en rättvis bedömning skall kunna göras.

Några problem med bentonitelementens mekaniska egenskaper förutses inte under elementens deponering i hålet, utan osäkerheterna finns huvudsakligen i påverkan under inskjutningen av kapseln.

En deponering enligt teknik 2 med ett guiderör ”i delar” som inte återtats är mindre attraktivt: i en första analys blir kostnaderna högre, samtidigt som bentonitbuffertens tänkta funktion sannolikt påverkas på ett sätt som i sin tur skulle påverka förvarets långsiktiga säkerhet.

En annan teknik för deponering ”i delar” är den som studerats i teknik 3 med bentonitringar delade i två halvor. Ena halvan läggs in i botten av hålet, kapseln bärs in och läggs ovanpå ringhalvorna samt avslutningsvis bärs övre halvan av ringarna in. Jämfört med andra tekniker innebär denna att nedre bentonitelementen belastas av vagnen som bär in kapseln och gaffelvagnen som bär in de övre elementen. Detta innebär en risk för åverkan på elementen, med okända konsekvenser för buffertens funktion.

I samtliga tekniker för deponering ”i delar” finns ett repetitivt moment, när bentonitelementen placeras en i taget i deponeringshålet. Sannolikheten för fel ökar, men om felet uppmärksammas snabbt är konsekvenserna små. Kontrollmöjligheterna är goda.

9.3.3 Deponering ”i paket”

I en deponering ”i paket” packas bentonitringar och bentonitblock omkring kapseln i en verkstad (hot cell) i centralområdet. Paketet skjuts sedan in i deponeringshålet. Bentoniten ger ett visst strålskydd för kapseln under deponeringsprocessen.

De dynamiska påfrestningarna som orsakas av kapseln på bentonitringarna är små. Däremot kan inskjutningen av paketen innebära andra dynamiska påfrestningar på bentonitelementen, på paketets ytteryta. Paketets stora vikt påverkar även berget om vikten inte fördelas över en större yta. Risken finns att flisor eller kross lösgörs, från bentonitbufferten eller från berget, och på ett eller annat sätt hindrar fullföljandet av deponeringen i ett hål, t ex genom att kila fast laddningsröret.

Deponering ”i paket” innebär tyngre fordon eftersom både kapsel (30 ton) och bentonit skall deponeras samtidigt.

I fyra av teknikerna ”i paket” används ett laddningsrör. När det skjuts in i hålet med dess last (kapseln och omgivande bentonitbuffert) skall röret vridas ett halvt varv. Skopan rullar på bergväggen. När skopan nått ett visst läge rullar paketet ut av egen kraft. Det är

en oprövad teknik som måste demonstreras i full skala. Det finns en risk att laddningsröret kilas fast av bergsflisor eller kross. Den okontrollerade urullningen av paketet ut ur skopan kan påverka bentonitelementen. Farhågor har framförts om att laddningsröret och dess last kunde kilas fast av den s. k. byråldseffekten när röret roteras och när det dras ut. De geometriska förhållanden under utdragningen är sådana att fastkilning av den anledningen är föga sannolik.

De två övriga teknikerna ”i paket”, 5 och 7, utvecklades som alternativ till teknikerna med laddningsrör. Berget belastas mindre genom att paketet lyfts in med en gaffelvagn eller glids in på skenor. Nackdelen är att urtag görs i bentonitelementen för gafflarna eller gejderna, vilket kan behöva efterfyllas efter att paketet deponerats. Spåren gör det dock möjligt att enkelt återta paketet efter slutförd deponering om behov skulle uppstå, så länge spåret inte fyllts igen eller vatten hunnit strömma till hålet.

9.3.4 Deponering ”i paket” contra deponering ”i delar”

Fördelarna med deponering ”i paket” är:

- Ett enda fordon används.
- Paketet monteras under kontrollerade förhållanden i en central verkstad.
- Teknikerna är mindre känsliga för degraderingen av bentonit som orsakas av att vatten strömmar till hålet, eftersom bentonit och kapsel deponeras samtidigt.
- Risker för skador på bentoniten orsakade av en plöjande kapsel finns inte.
- Risker för felhantering är mindre.
- Det är mindre omständligt att reversera processen.

Fördelarna med deponering ”i delar” är:

- Fordonen är relativt lätta.
- Under en deponeringsprocess är bentonitelementen tillgängliga relativt enkelt och relativt länge för kontroll och eventuella åtgärder.
- Det är enkelt att laga skadad bentonit innan kapseln deponeras.
- Tunnelareorna är små.

9.4 Slutsatser och rekommendationer

I jämförelsematrisens rad "Bedömning" har sju tekniker utmärkts. Två av dem, 1c+ och 4c, är utgångspunkten ur vilka de övriga fem, 1c*, 1c+*, 4c*, 5 och 7, utvecklats. Det huvudsakliga resultatet i utvecklingsarbetet, layoutskede E /1/, utgörs av att antalet potentiella deponeringstekniker har minskats till dessa fem tekniker. Denna uppsättning av tekniker innesluter de alternativa layoutstyrande lösningar som rekommenderas vara grunden för den mera detaljinriktade arbeten i projekteringsskedet (layoutskede D /1/).

De layoutstyrande lösningar är följande:

- kapseln skall vara avskärmd under hela deponeringsprocessen (tubformad strålningsdämpande (g) skärm),
- deponeringsprocessen skall ha ett minimerat rörelseinhåll vid deponeringshålets mynning [omfördelning av nödvändiga rörelser (1c+*, 4c*) eller kombination av positionerings- och inmatningsrörelser (1c*)],
- deponeringsprocessen skall ha ett minimerat rörelseinhåll inne i deponeringshålet [deponering "i paket" med integrerad vridning (4c*) eller deponering "i paket" utan vridning (5, 7)].

Referenser

- /1/ **SKB, 1992.** Project on alternative system study (PASS). Final report. SKB TR 93-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /2/ **SKB, 2001.** Project JADE. Comparison of Repository Systems. Summary of results. SKB TR-01-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /3/ **Jansson L, Nicklasson A, Jendenius H, Idoff M, Lindblom K, Bjerke E, Jansson P, SWECO VBB VIAK AB, 2001.** Metod- och maskinbeskrivning av utrustning för deponering av kapslar i vertikala deponeringshål. SKB Djupförvar R-01-35.
- /4/ **Kalbantner P, ÅF-Energikonsult AB, 2001.** Process- och maskinbeskrivning av utrustning för deponering av kapslar i medellånga deponeringshål. SKB Djupförvar R-01-34.
- /5/ **Kämpe J, 1995.** Position determination in underground mines. Tekniska Högskolan i Luleå, examensarbete HLU-TH-EX 1995:212-E.
- /6/ **Chironis N P, 1965.** Mechanisms, linkages and mechanical controls. Mc Graw, Hill Book Company, New York.
- /7/ **Sályi I, 1961.** Gépész- és villamosmérnökök kézikönyve (1, 2). Műszaki könyvkiadó, Budapest.
- /8/ **Fritz C, 1990.** Feleffektanalys (FMEA) för svensk industri. Institutet för Verkstadsteknisk Forskning, rapport IVF-Resultat 89632.

Ritningar till sammanställningen över deponeringstekniker att deponera kapslar i horisontella deponeringshåll

I denna bilaga har sammanställts samtliga ritningar till vilka hänvisningar förekommer i rapporten. Två ritningsförteckningar har upprättats: en där ritningarna grupperats efter tekniker, en där det kan utläsas vilka deponeringstekniker ritningen hör till. Efter förteckningarna har ritningarna samlats.

Ritningar fördelade på tekniker

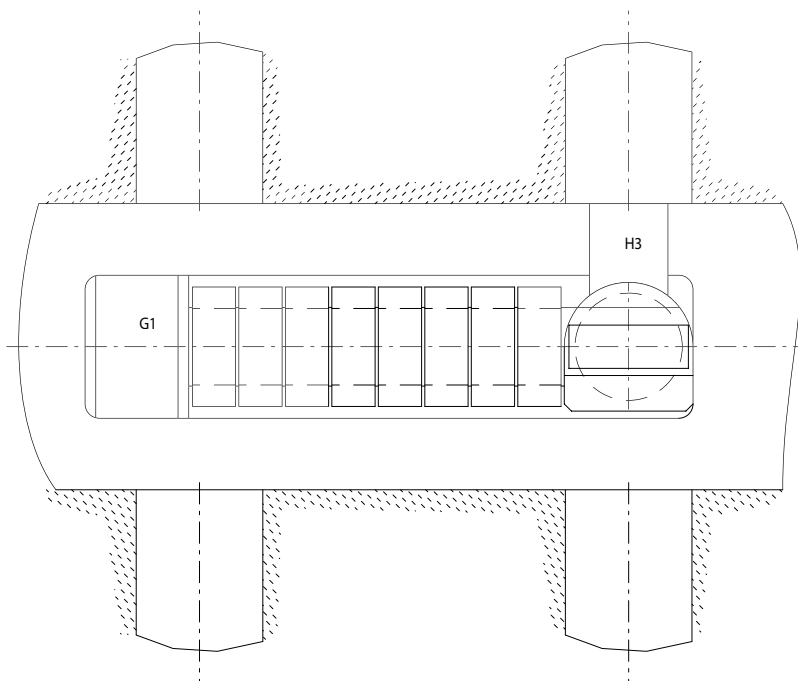
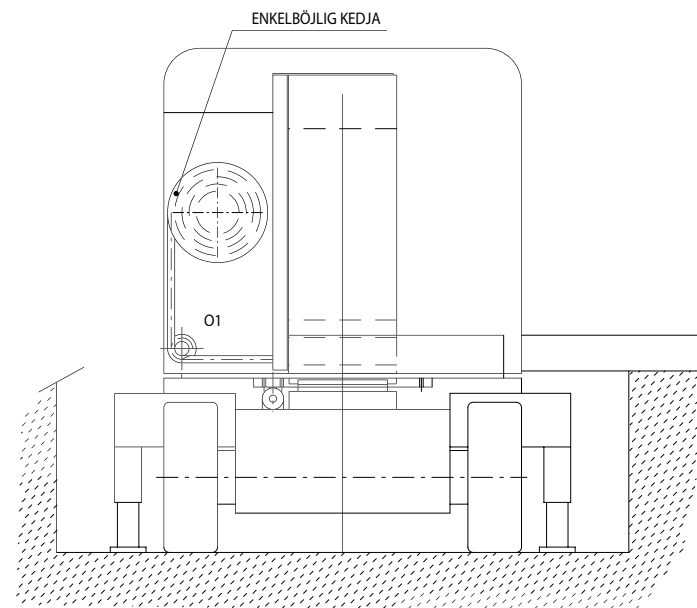
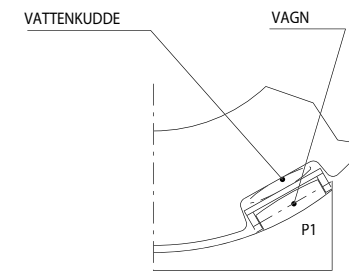
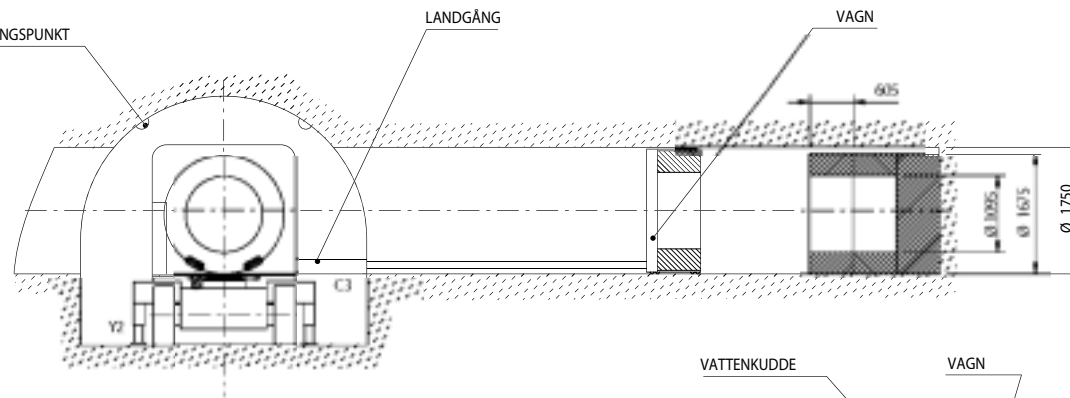
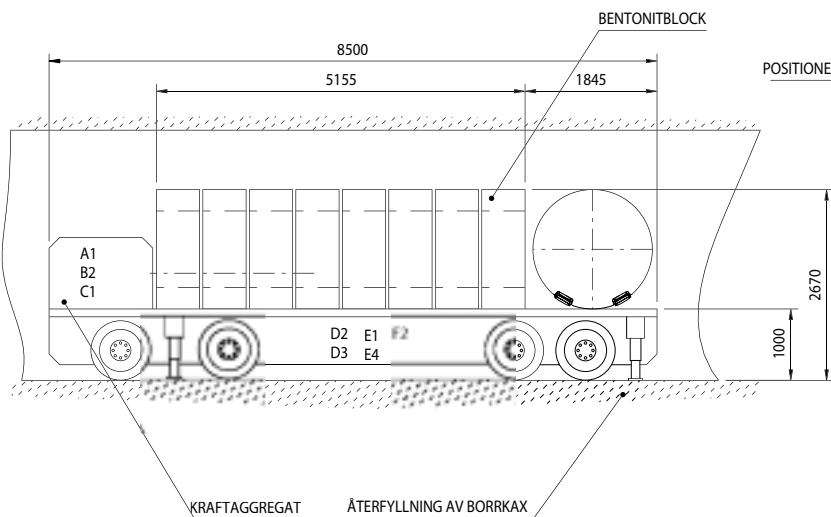
Teknik	Ritningsnr	Benämning
1A	SKB-DEP-101	Deponeringssekvens
	SKB-DEP-102	Deponeringssekvens
1B	SKB-DEP-101	Deponeringssekvens
	SKB-DEP-102	Deponeringssekvens
1C	JADE 000 0110	Deponeringsfordon för bentonitringar
	JADE 000 0111	Deponeringsfordon för guiderör
	JADE 000 0112	Deponeringsfordon för kapsel
	JADE 000 0113	Inskjutning av kapsel med plungekolv
	JADE 000 0118	Bentonitvagn
	JADE 000 0119	Inskjutning av bentonitelement
	SKB-DEP-106	Cardanorörelse
1C-	JADE 000 0110	Deponeringsfordon för bentonitringar
	JADE 000 0111	Deponeringsfordon för guiderör
	JADE 000 0112	Deponeringsfordon för kapsel
	JADE 000 0113	Inskjutning av kapsel med plungekolv
	JADE 000 0117	Stödvagnar
	JADE 000 0118	Bentonitvagn
	JADE 000 0119	Inskjutning av bentonitelement
	SKB-DEP-106	Cardanorörelse
SKB-DEP-106D	Cardanorörelse vid större diameter i deponering.hålets mynning	
1C*	JADE 000 0110	Deponeringsfordon för bentonitringar
	JADE 000 0111	Deponeringsfordon för guiderör
	JADE 000 0112	Deponeringsfordon för kapsel
	JADE 000 0113	Inskjutning av kapsel med plungekolv
	JADE 000 0117	Stödvagnar
	JADE 000 0118	Bentonitvagn
	JADE 000 0119	Inskjutning av bentonitelement
	SKB-DEP-106D	Cardanorörelse vid större diameter i deponering.hålets mynning
1C+	JADE 000 0110	Deponeringsfordon för bentonitringar
	JADE 000 0114	Deponeringsfordon för kapsel
	JADE 000 0115	Deponeringsfordon för guiderör
	JADE 000 0116	Inskjutning av kapsel
	JADE 000 0118	Bentonitvagn
	JADE 000 0119	Inskjutning av bentonitelement
1C+*	JADE 000 0110	Deponeringsfordon för bentonitringar
	JADE 000 0114	Deponeringsfordon för kapsel
	JADE 000 0116	Inskjutning av kapsel
	JADE 000 0118	Bentonitvagn
	JADE 000 0119	Inskjutning av bentonitelement

Teknik	Ritningsnr	Benämning
2	SKB-DEP-201	Deponering vid snedställda deponeringshåll
3	JADE 000 0118 SKB-DEP-301 SKB-DEP-302 SKB-DEP-304	Bentonitvagn Deponeringsfordon för undre tudelade bentonitringar Deponeringsfordon för kapsel Deponeringsfordon för övre tudelade bentonitringar
4A	SKB-DEP-407 SKB-DEP-408 SKB-DEP-412 SKB-DEP-414	Strålskyddscyliner med laddningsrör Laddningsrörets vridningslägen Lastningsstation, snedställda deponeringshåll mm Deponering vid snedställda deponeringshåll
4B	SKB-DEP-407 SKB-DEP-408 SKB-DEP-415 SKB-DEP-418	Strålskyddscyliner med laddningsrör Laddningsrörets vridningslägen Deponeringsfordon för ett "paket" Deponeringssekvens
4C	SKB-DEP-407 SKB-DEP-408 SKB-DEP-416C SKB-DEP-417 SKB-DEP-419 JADE 000 0420	Strålskyddscyliner med laddningsrör Laddningsrörets vridningslägen Deponeringsfordon för delade "paket" Deponeringssekvens Lastningsstation Deponeringsfordon för "paket"
4C*	JADE 000 0420 SKB-DEP-416C SKB-DEP-417 SKB-DEP-419	Deponeringsfordon för "paket" Deponeringsfordon för delade "paket" Deponeringssekvens Lastningsstation
4C+*	JADE 000 0420	Deponeringsfordon för "paket"
5	JADE 000 0421 SADE 000 0426	Deponeringsfordon för "paket" Inskjutning av "paket" med gaffelvagn
6	JADE 000 0110 JADE 000 0114 JADE 000 0118 JADE 000 0119 JADE 000 0120A	Deponeringsfordon för bentonitringar Deponeringsfordon för kapsel Bentonitvagn Inskjutning av bentonitelement Inskjutning av kapsel
7	JADE 000 0420 JADE 000 0421 JADE MLH 1010B	Deponeringsfordon för "paket" Deponeringsfordon för "paket" Inskjutning av "paket" på gejdrar och glidskenor

Ritningsförteckning

Ritningsnr	Benämning	Deponeringsteknik					
		1C	1C-	1C+	1C*	1C+*	6
JADE 000 0110	Deponeringsfordon för bentonitringar	1C	1C-	1C+	1C*	1C+*	6
JADE 000 0111	Deponeringsfordon för guiderör	1C	1C-	1C*			
JADE 000 0112	Deponeringsfordon för kapsel	1C	1C-	1C*			
JADE 000 0113	Inskjutning av kapsel med plungekolv	1C	1C-	1C*			
JADE 000 0114	Deponeringsfordon för kapsel	1C+	1C+*	6			
JADE 000 0115	Deponeringsfordon för guiderör	1C+					
JADE 000 0116	Inskjutning av kapsel	1C+	1C+*				
JADE 000 0117	Stödvagnar	1C-	1C*				
JADE 000 0118	Bentonitvagn	1C	1C-	1C+	1C*	1C+*	3 6
JADE 000 0119	Inskjutning av bentonit-element	1C	1C-	1C+	1C*	1C+*	6
JADE 000 0420	Deponeringsfordon för "paket"	4C	4C*	4C+*	7		
JADE 000 0421	Deponeringsfordon för "paket"	5	7				
JADE 000 0120A	Inskjutning av kapsel	6					
JADE 000 0426	Inskjutning av "paket" med gaffelvagn	5					
JADE MLH 1010B	Inskjutning av "paket" på gejdrar och glidskenor	7					
SKB-DEP-101	Deponeringssekvens	1A	1B				
SKB-DEP-102	Deponeringssekvens	1A	1B				
SKB-DEP-106	Cardanorörelse	1C	1C-				
SKB-DEP-106D	Cardanorörelse vid större diameter i deponeringshålets mynning	1C-	1C*				
SKB-DEP-201	Deponering vid snedställda deponeringshål	2					
SKB-DEP-301	Deponeringsfordon för undre tudelade bentonit-ringar	3					
SKB-DEP-302	Deponeringsfordon för kapsel	3					
SKB-DEP-304	Deponeringsfordon för övre tudelade bentonit-ringar	3					
SKB-DEP-407	Strålskyddscyliner med laddningsrör	4A	4B	4C			
SKB-DEP-408	Laddningsrörets vridningslägen	4A	4B	4C			
SKB-DEP-412	Lastningsstation, snedställda deponeringshål mm	4A					
SKB-DEP-414	Deponering vid snedställda deponeringshål	4A					
SKB-DEP-415	Deponeringsfordon för ett "paket"	4B					
SKB-DEP-416C	Deponeringsfordon för delade "paket"	4C	4C*				
SKB-DEP-417	Deponeringssekvens	4C	4C*				
SKB-DEP-418	Deponeringssekvens	4B					
SKB-DEP-419	Lastningsstation	4C	4C*				

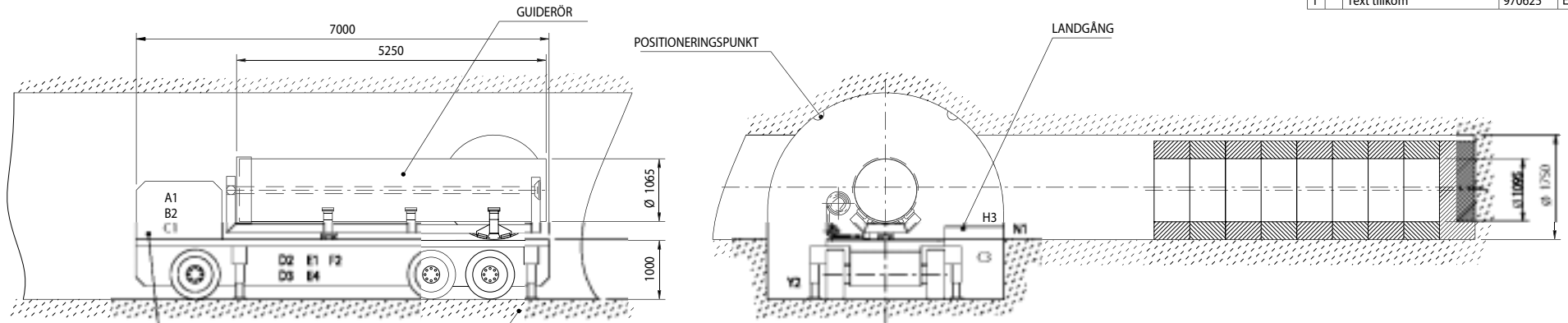
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970625	EAN	



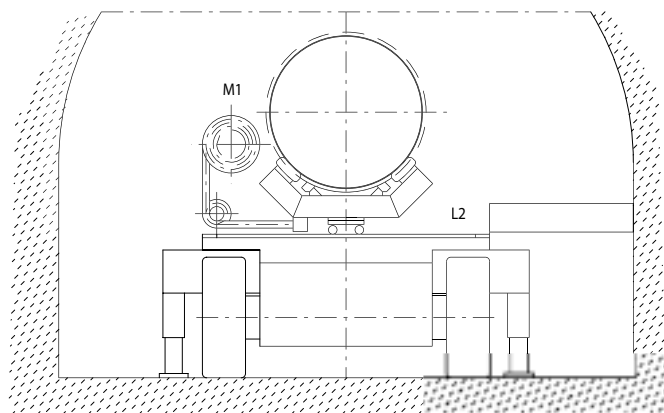
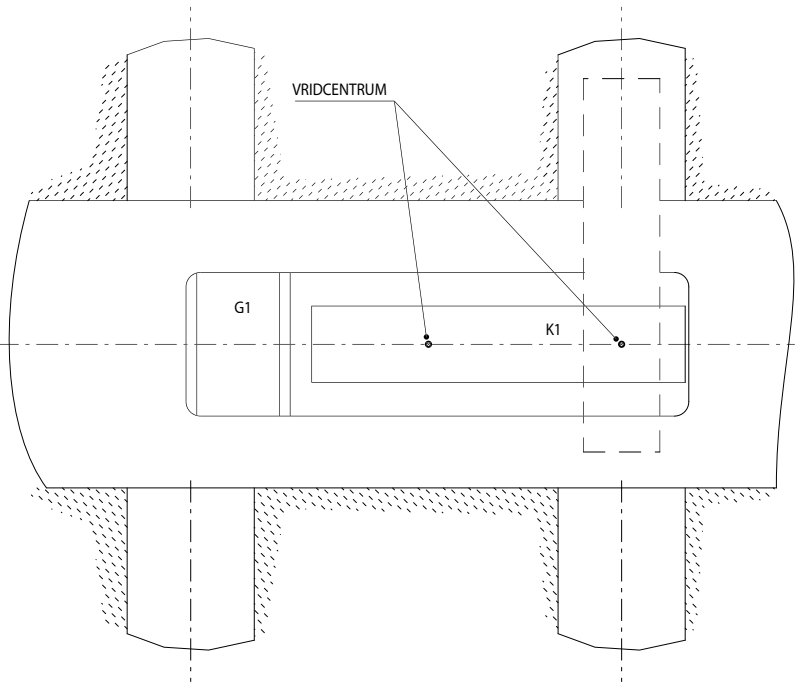
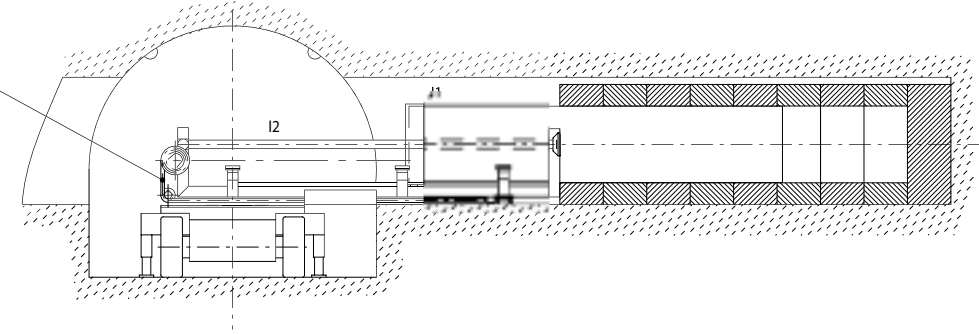
Metod:
 1c-
 1c+
 1c*
 1c+*
 6a
 6b

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytbehandling	Ytbehandling Värmebehandling.
			Tolerans Ytjämnhet	Värmebehandling.
	Datum	Sign.	DEPONERING AV KAPSEL HANTERING AV BENTONITRING	Vikt Proj.-nr. 106008-04
Ritad	960607	PAN		Skala 1:50
Kontr.				Smst.
			SKB	Ritn.-nr. JADE 000 0110

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970625	EAN	



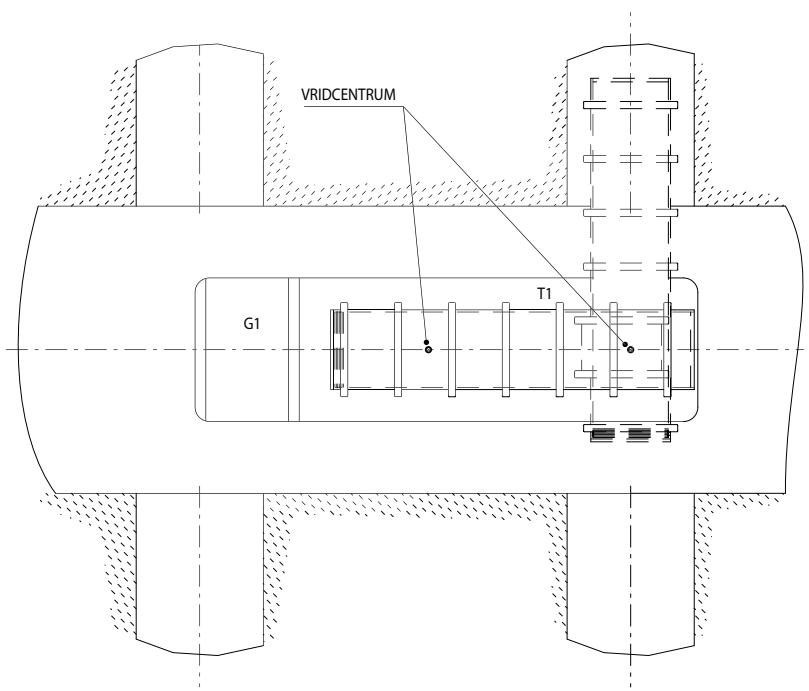
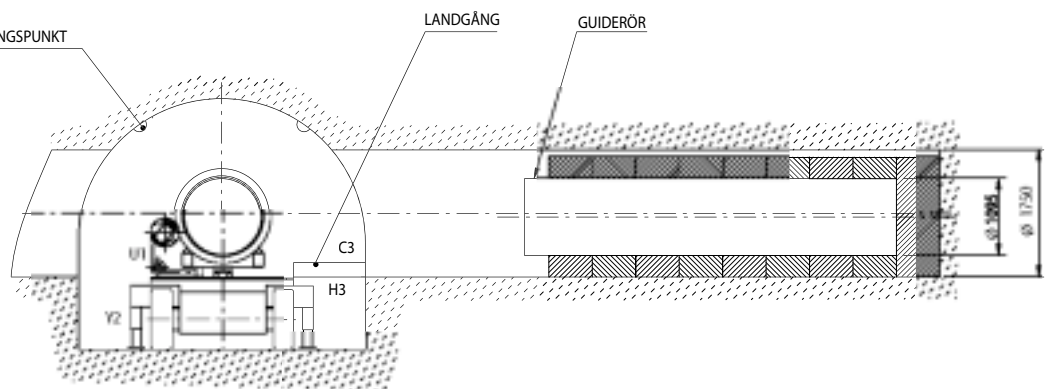
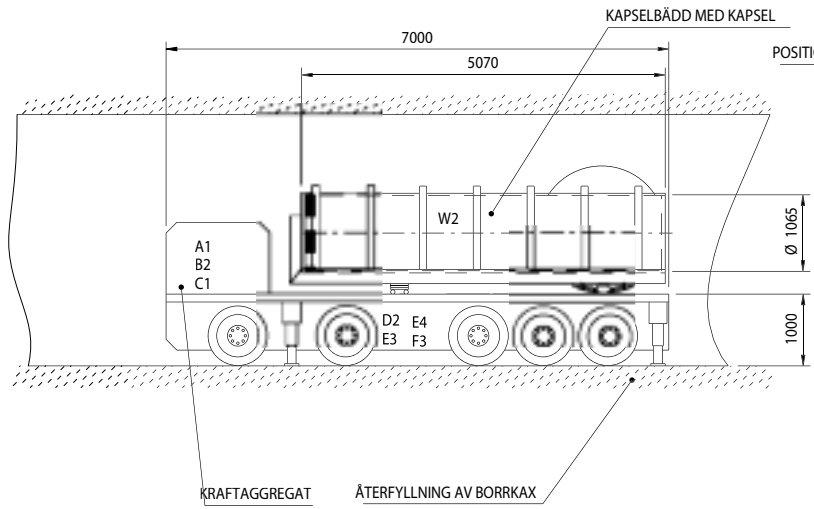
KRAFTAGGREGAT ÅTERFYLNING AV BORRKAX ENKELBÖJLIG KEDJA



Metod:
1c-
1c*

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum 96-06-07	Sign. PAN	DEPONERING AV KAPSEL HANTERING AV GUIDERÖR	
Kontr.			Vikt	Proj.-nr. 106008-04
			Skala 1:50	Smst.
ÅP-INDUSTRIOTEKNIK SKB			Ritn.-nr. JADE 000 0111	

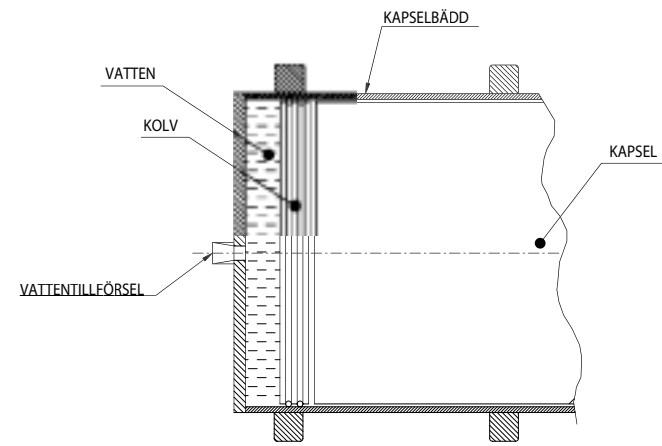
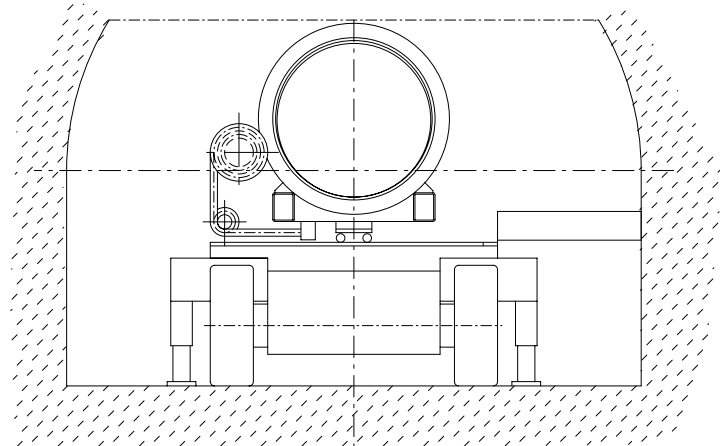
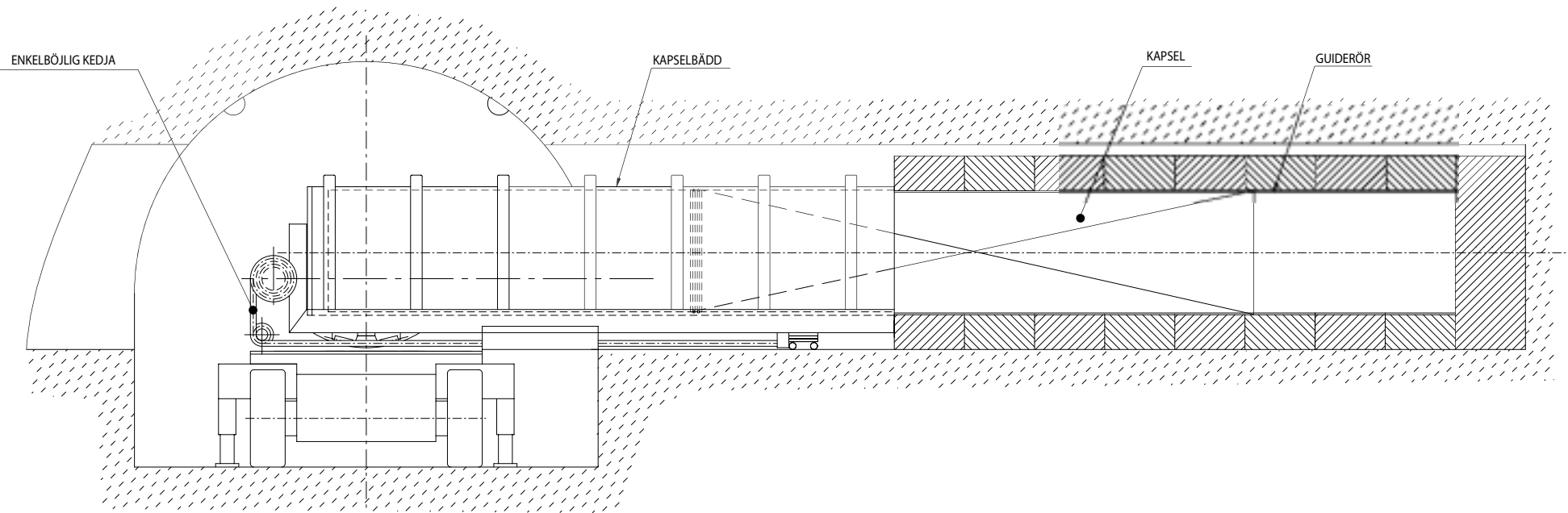
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970625	EAN	



Metod:
1c-
1c*

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
	Datum	Sign.		Vikt
	Ritad	96-06-10	PAN	106008-04
	Kontr.			Skala 1:50
				Ritn.-nr. JADE 000 0112
			SKB	

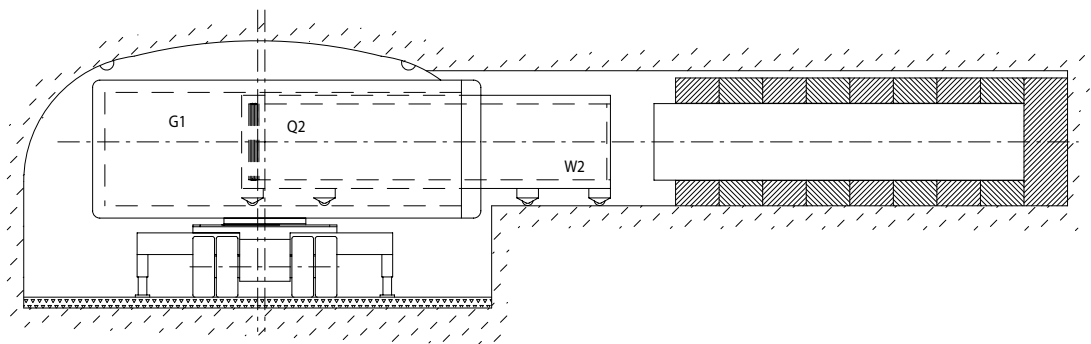
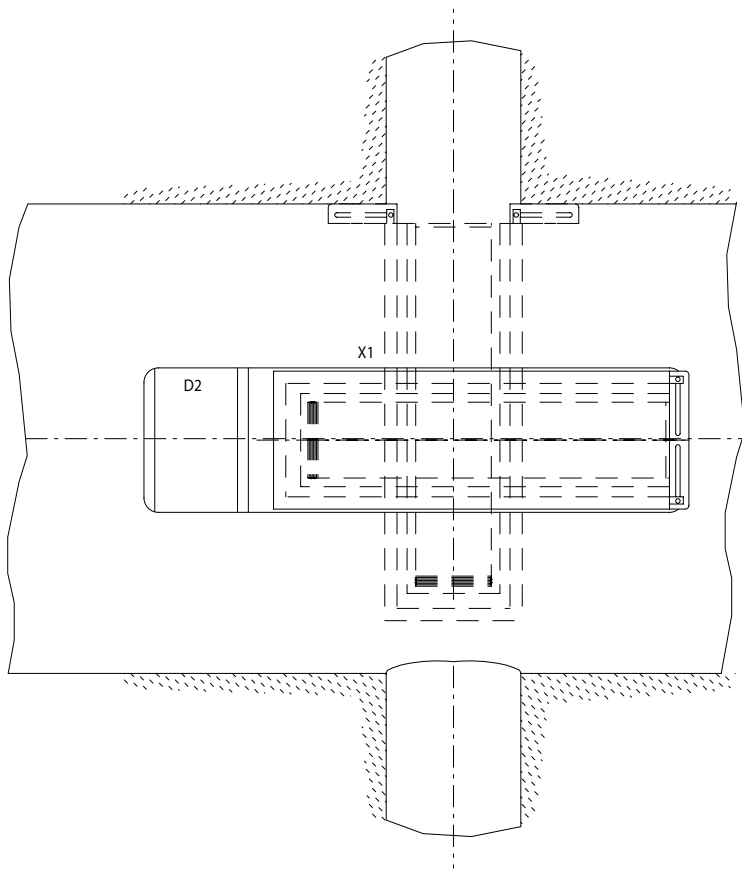
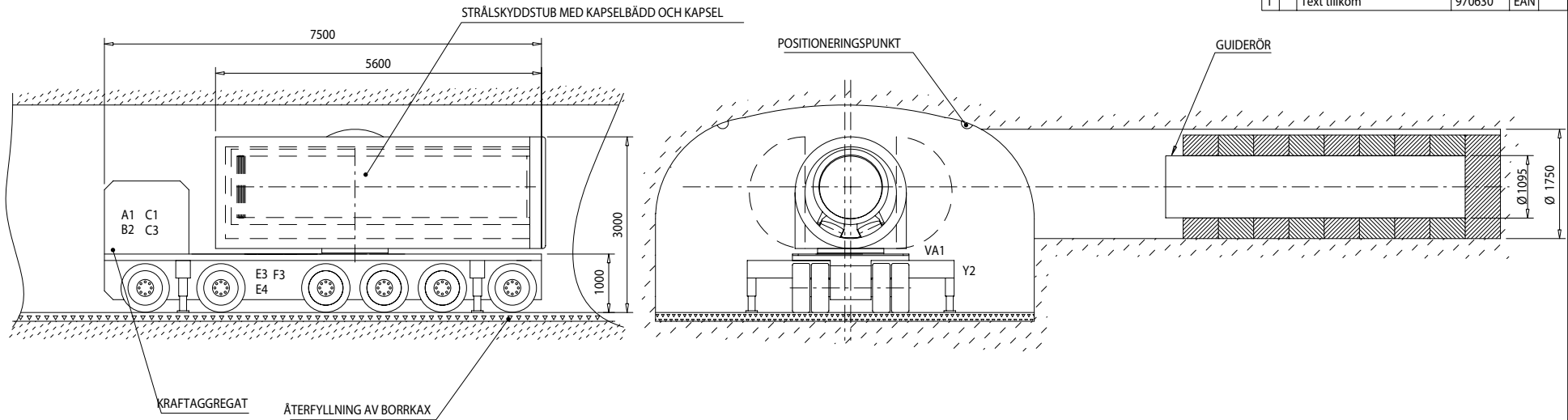
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970625	EAN	



Metod:
1c-
1c*

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
			Tolerans SMS 715 medel	Ytbehandling
		Där ej annat anges	Ytjämnhet	Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV KAPSEL	
Kontr.	96-06-11	PAN	HANTERING AV KAPSEL	
			Vikt	Proj.-nr.
			Skala	106 008-04
			1:50	Smst.
			Ritn.-nr.	JADE 000 0113
APPLIKATIONSTRITEKNIK SKB				

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970630	EAN	

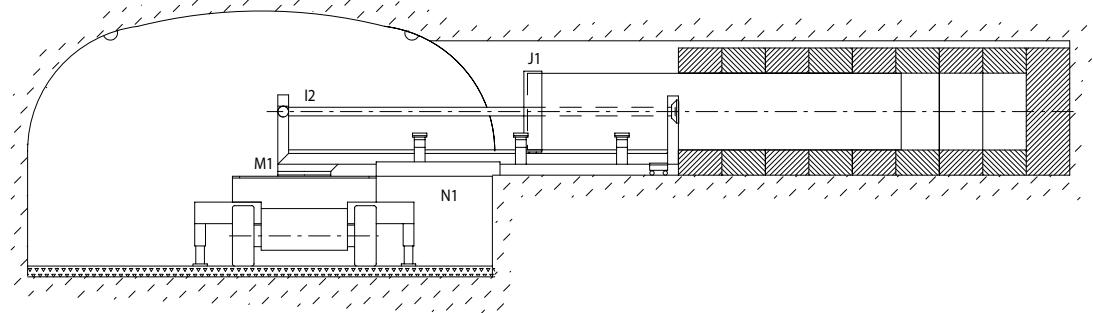
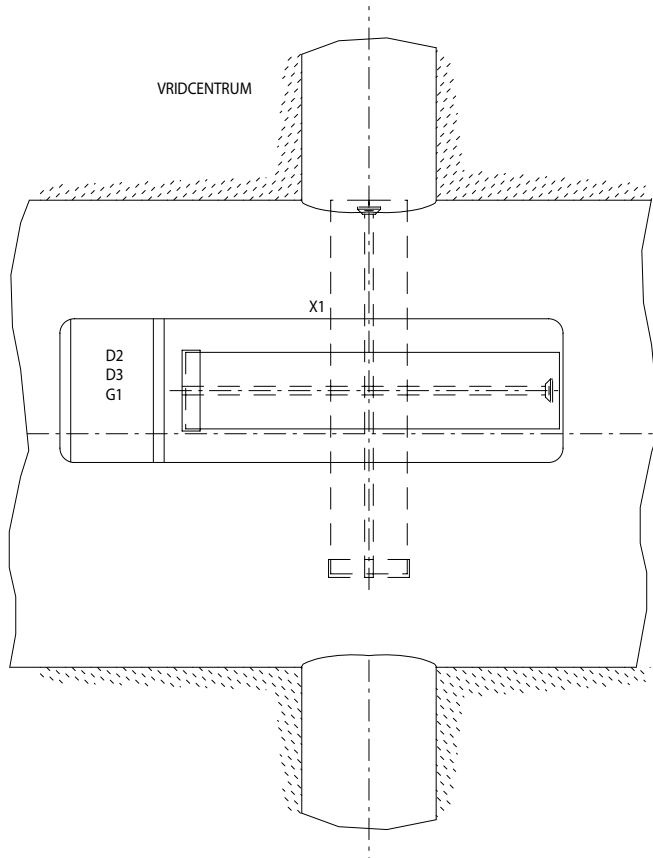
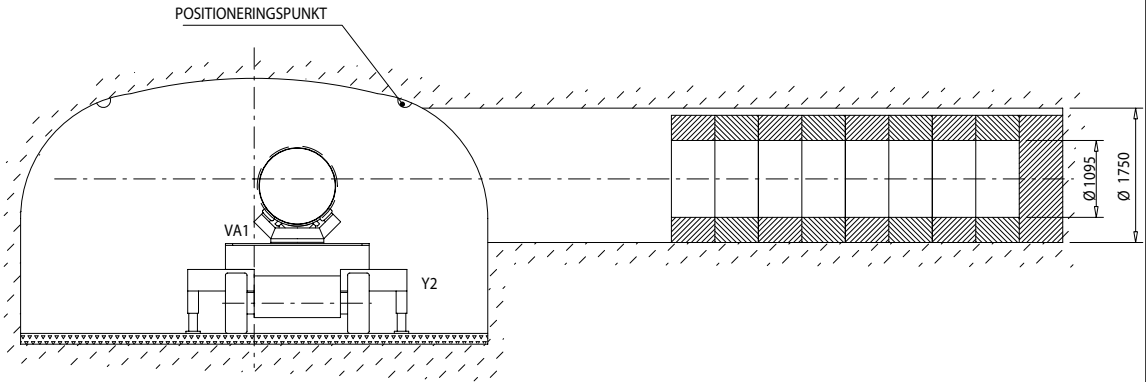
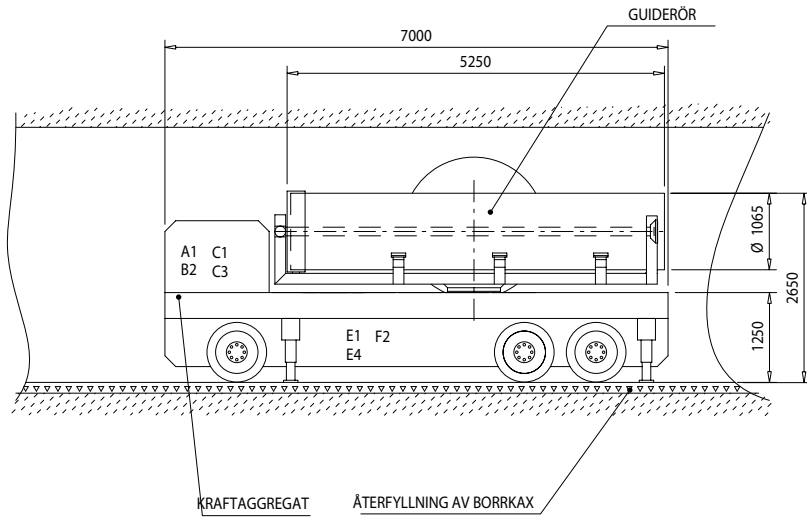


Metod:
1c+
1c+*
6a

131

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
		Datum 96-06-11	Sign. PAN	Proj.-nr. 106008-04
		Ritad	DEPONERING AV KAPSEL HANTERING AV KAPSEL	Vikt Skala 1:50
		Kontr.		Simst.
		Godk.		Ritn.-nr. JADE 000 0114
		ÅF-INDUSTRIOTEKNIK	SKB	

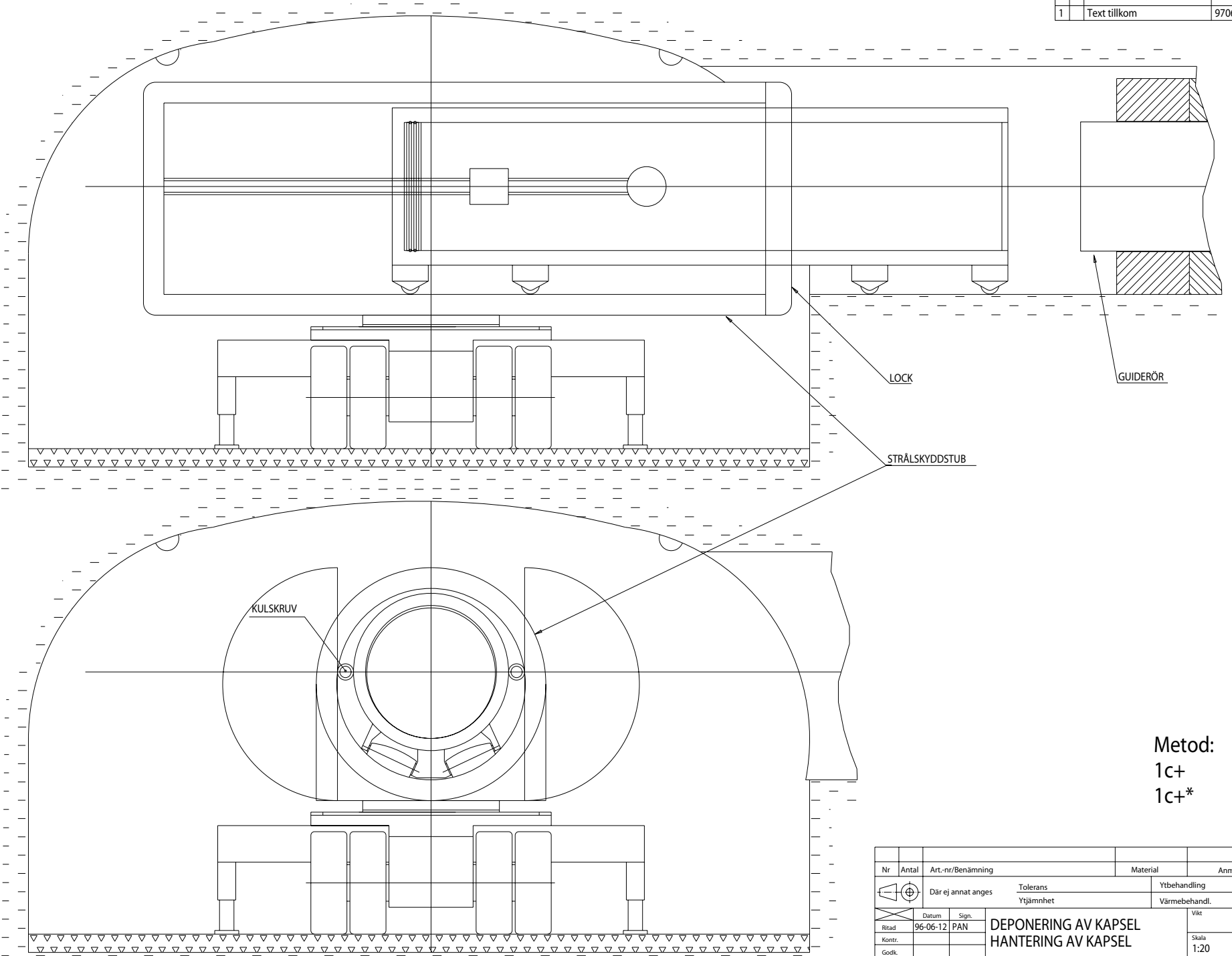
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Mått ändrat	970627	EAN	



Metod:
1c+

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytbehandling	Ytjämnhet Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV KAPSEL HANTERING AV GUIDERÖR	Vikt Proj.-nr.
Kontr.	96-06-07	PAN		106008-04
Godk.				Skala 1:50 Smsst.
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK			SKB	Ritn.-nr. JADE 000 0115

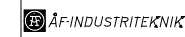
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970627	EAN	



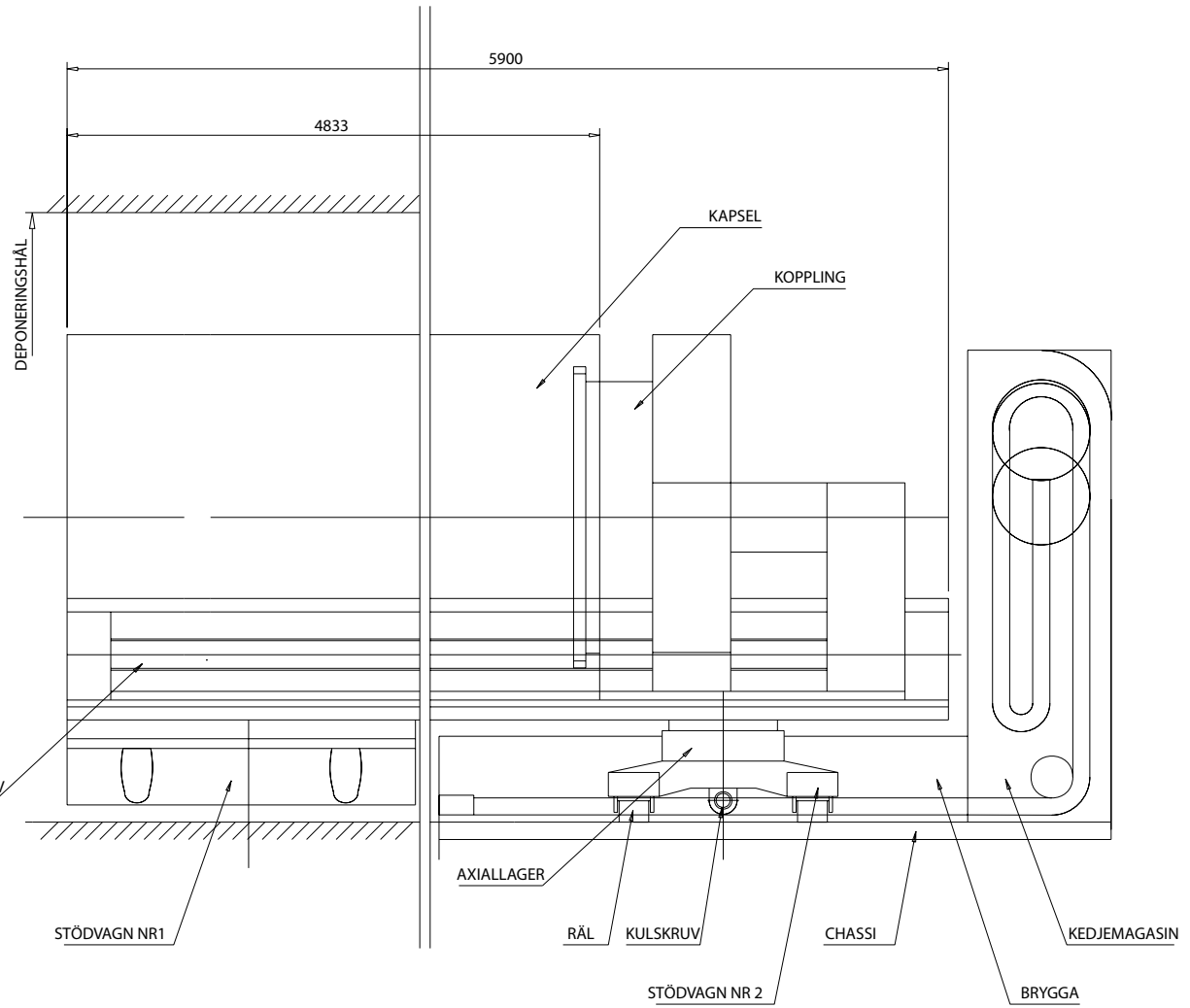
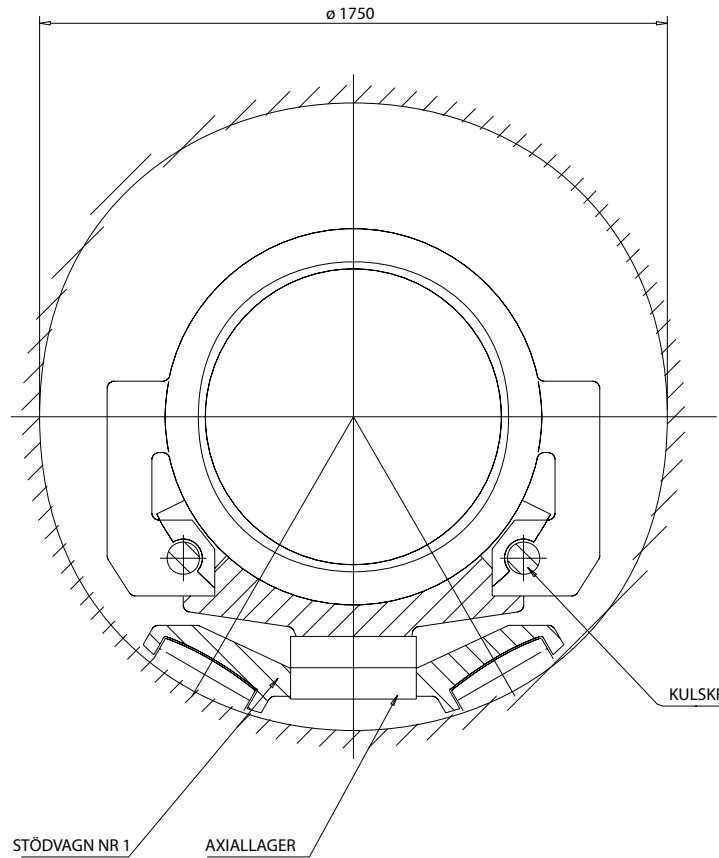
133

Metod:
1c+
1c+*

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
		Datum 96-06-12	Sign. PAN	Vikt 1:20
		DEPONERING AV KAPSEL HANTERING AV KAPSEL		Proj.-nr. 106008-04
		SKB		Smst. Ritn.-nr. JADE 000 0116



Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970624	EAN	



134

Metod:
1c-
1c*

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Tolerans SMS 715 medel	Ytbehandling	
		Där ej annat anges	Ytjämnhet	Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	HANTERING AV KAPSEL	
Kontr.	96-09-19	unz	STÖDVAGN NR 1 OCH NR 2	
Godk.			Vikt	Proj.-nr.
			Skala 1:10	Smst.
			Ritn.-nr.	JADE 000 0117
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK			SKB AB	

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Text tillkom	970625	EAN	

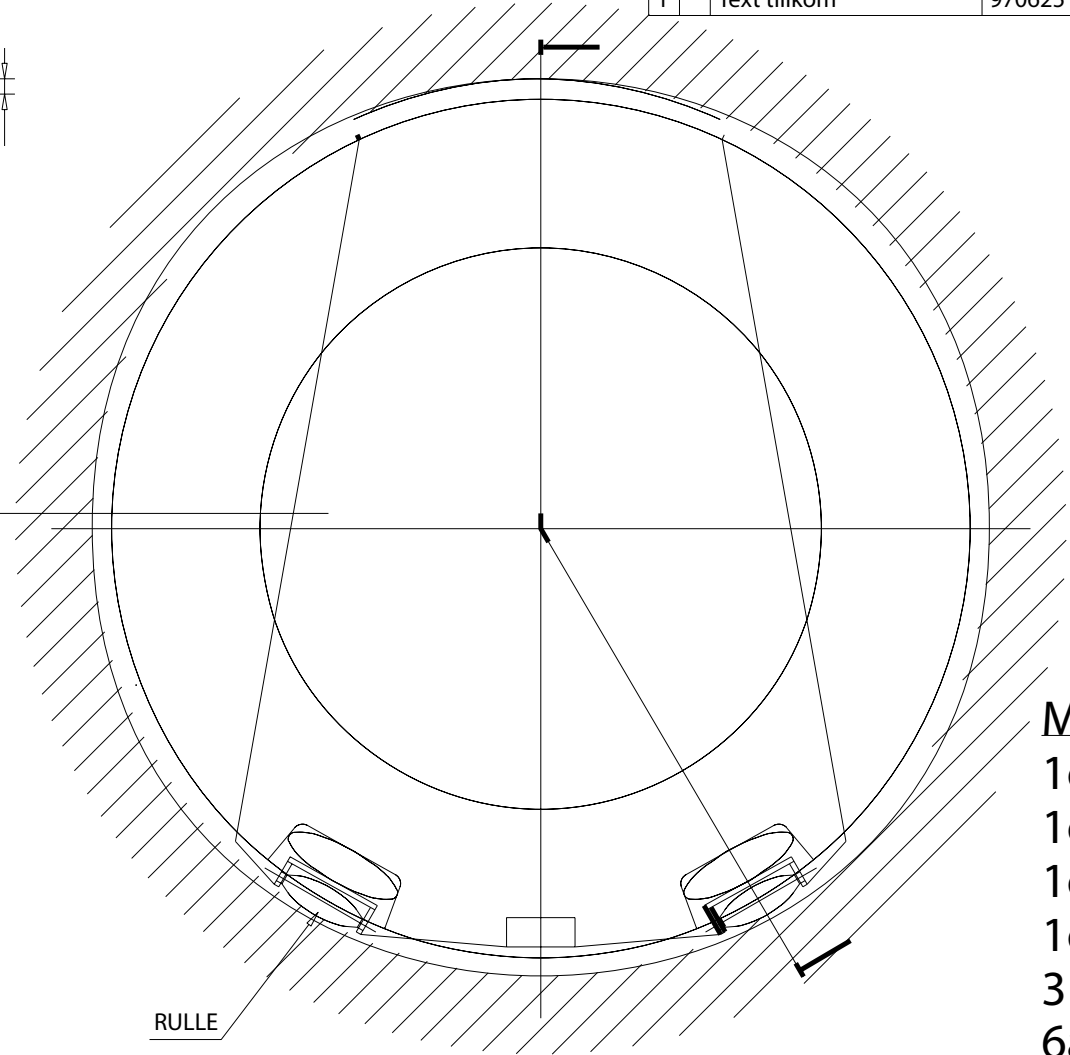
TAKPLÅT

35

VAGN

KEDJA

VATTENKUDDE

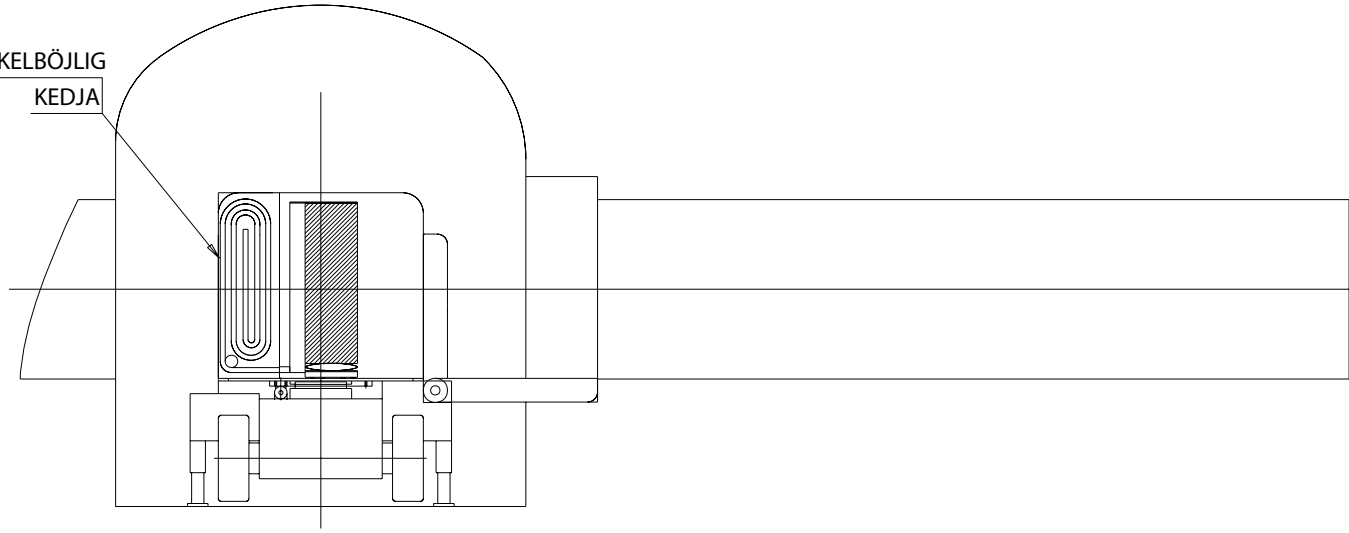


Metod:

1c-
1c+
1c*
1c+*
3
6a
6b

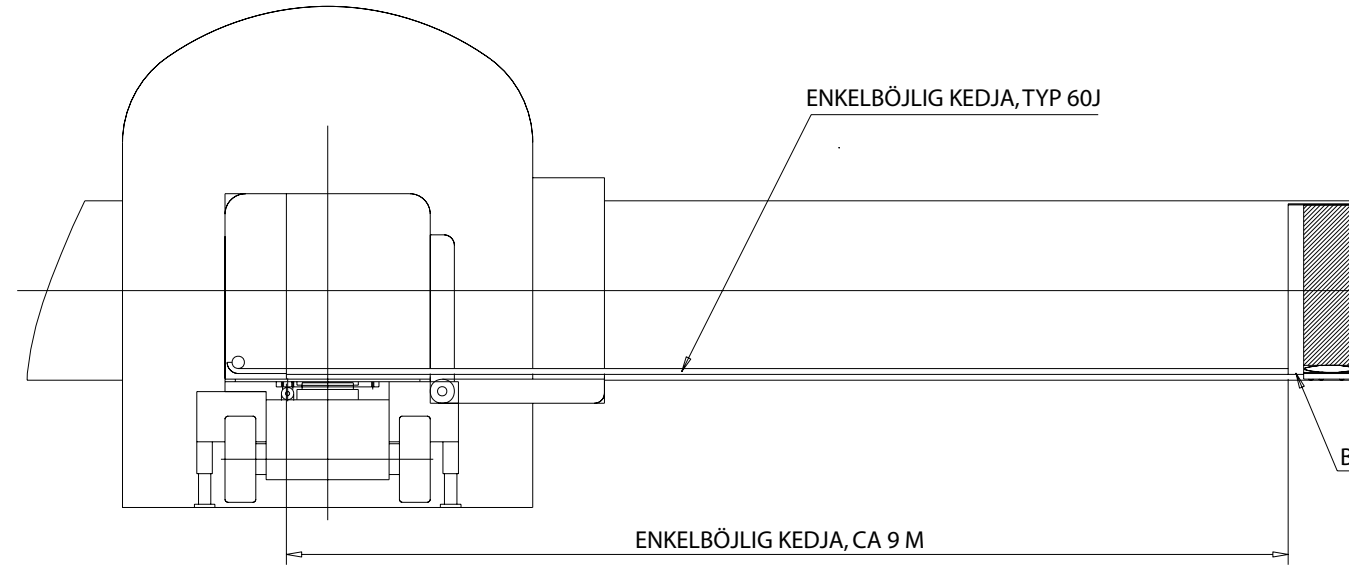
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
		Datum 96-09-20	Sign. ELE	Vikt 1:10
		BENTONITVAGN		Proj.-nr. 106020
		SKB		Smst.
		ÅF-INDUSTRIOTEKNIK		Ritn.-nr. JADE 000 0118

ENKELBÖJLIG
KEDJA



ENKELBÖJLIG KEDJA, TYP 60J

BENTONITPLUGG



ENKELBÖJLIG KEDJA, CA 9 M

BENTONITVAGN

Metod:

1c-

1c+

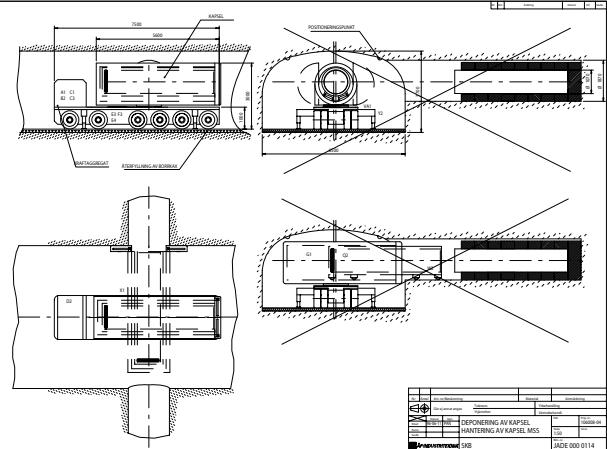
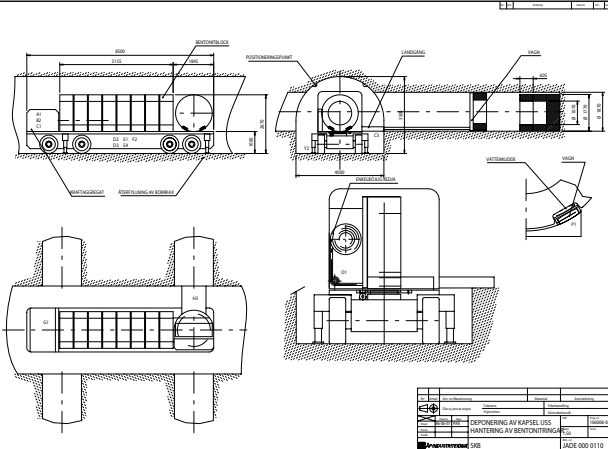
1c*

1c+*

6a

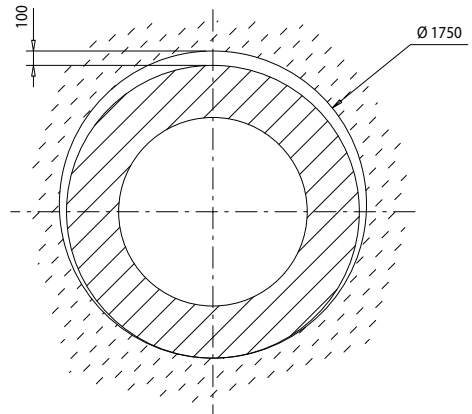
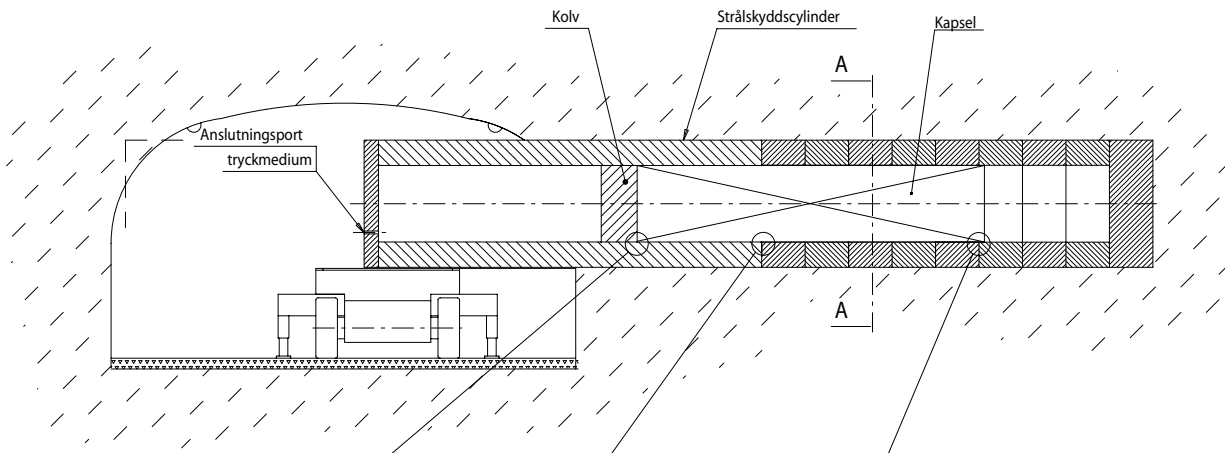
6b

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning		
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.		
	Datum	Sign.	HANTERING AV BENTONITELEMENT			
Ritad	96-09-20	ELE			Vikt	Proj.-nr. 106 020
Kontr.					Skala 1:50	Smst.
Godk.					Ritn.-nr.	JADE 000 0119
			SKB			



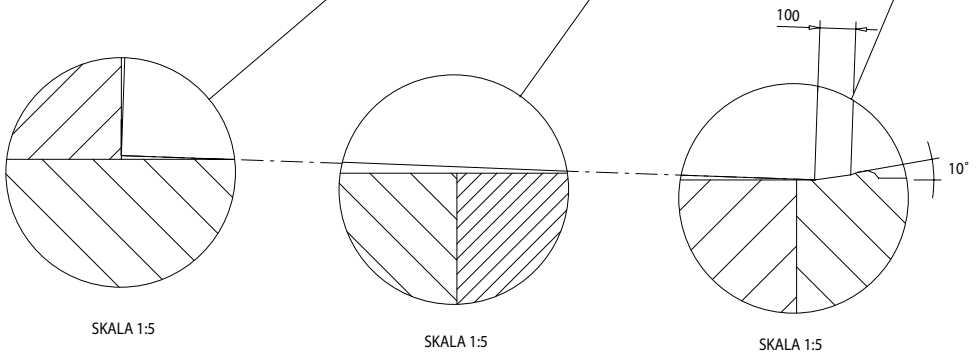
DEPONERING AV BENTONITELEMENT,
BOTTENBLOCK OCH RINGAR
SE RITNING JADE 000 0110

DEPONERING AV KAPSEL
SE RITNING JADE 000 0114



A - A
SKALA 1:20

Metod:
6



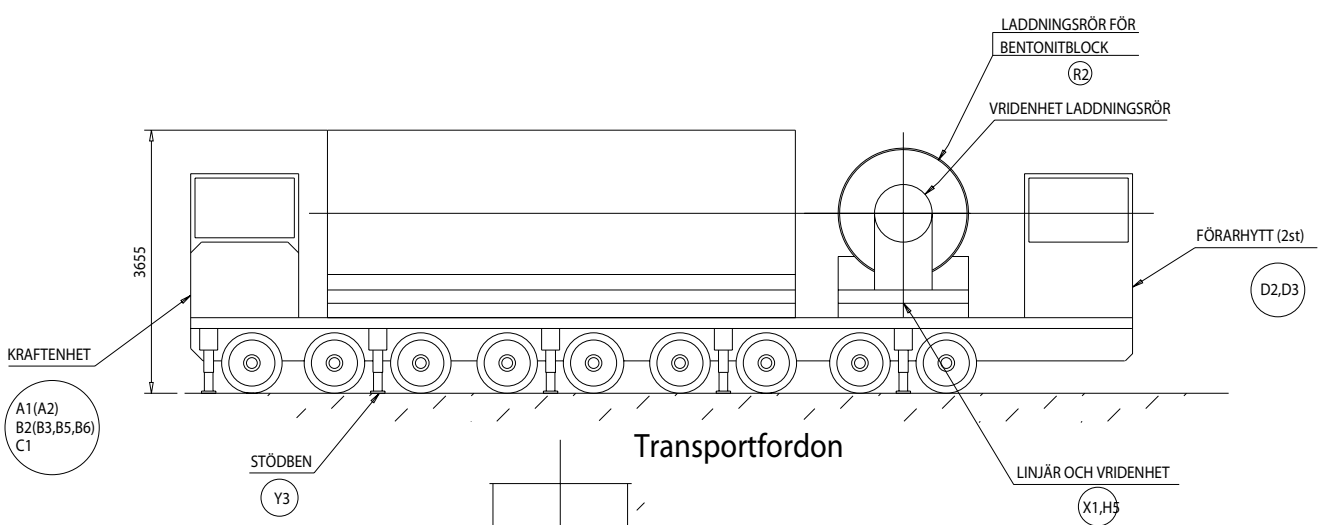
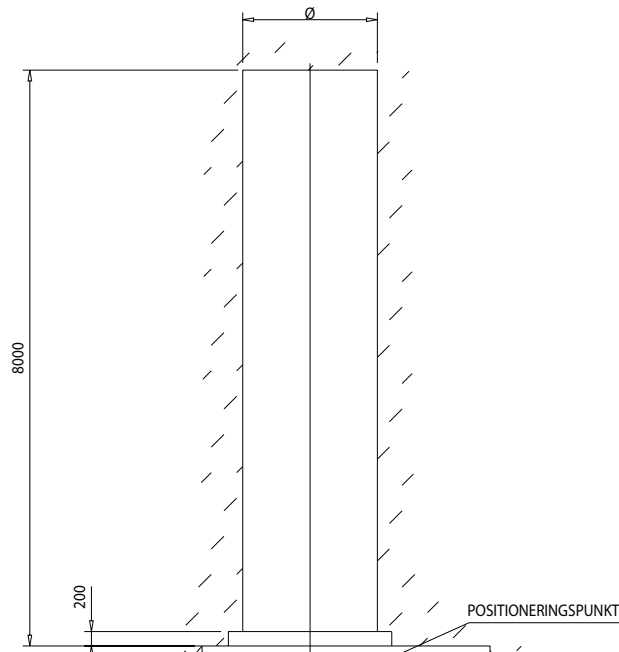
SKALA 1:5

SKALA 1:5

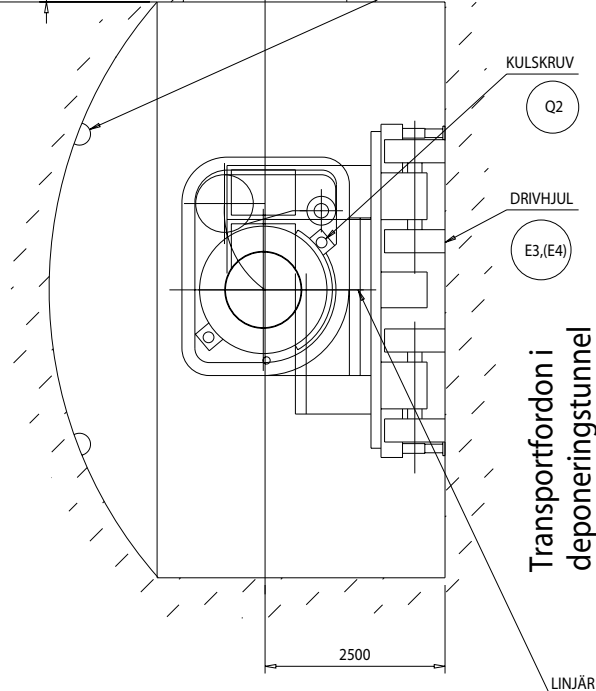
SKALA 1:5

137

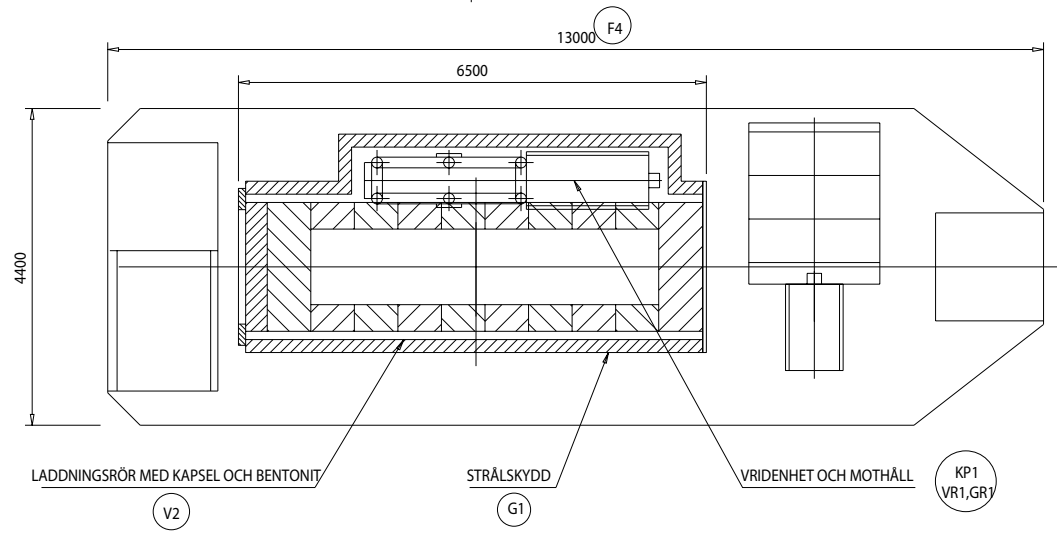
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans	Ytbehandling
			Ytjämnhet	Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING I DELAR UTAN GUIDERÖR, UTAN LOCK	Vikt
Kontr.	970327	TBE		Proj.-nr.
Godk.				106040
			SKALA	Smst.
			1:50	
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK			Ritn.-nr.	
SKB AB			JADE 000 0120A	



138



Transportfordon i deponeringstunnel

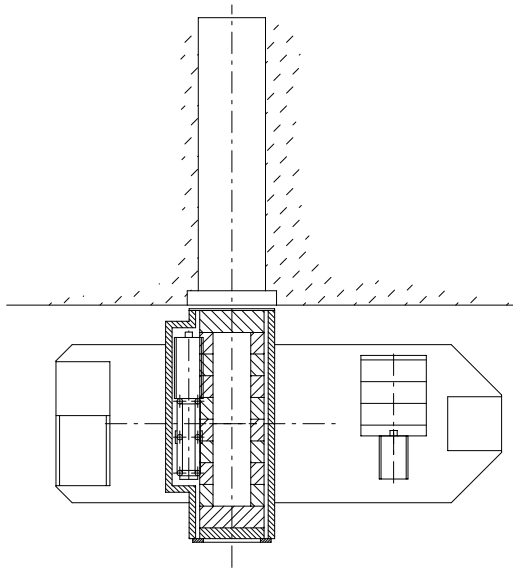


Snitt. Kapsel i strålskydd

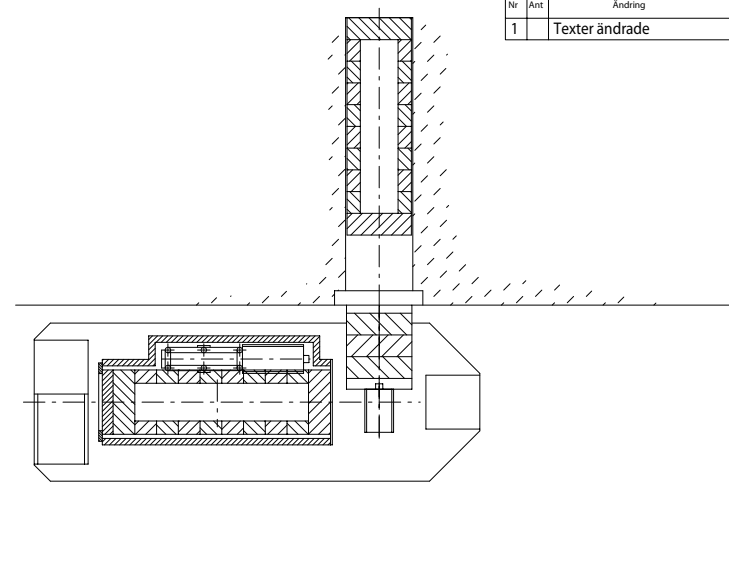
Metod:
4c*
4c+*
7

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET FORDON OCH ORTSDIMENSIONER	
Kontr.	96-06-06	TBE	Vikt	Proj.-nr.
Godk.			Skala 1:50	Sms.
ÄF-INDUSTRIOTEKNIK			SKB AB	Ritn.-nr. JADE 000 0420

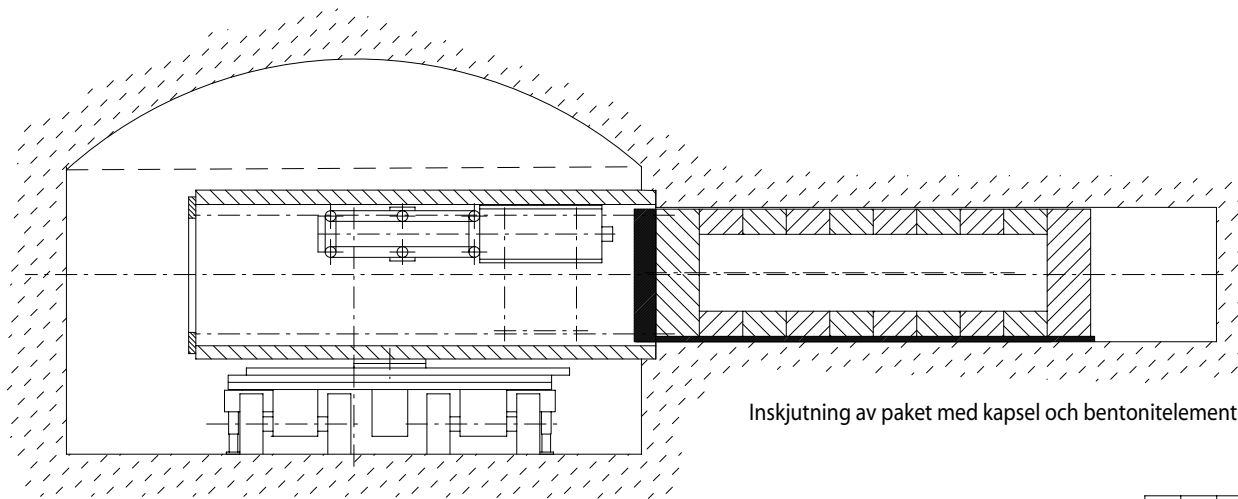
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Texter ändrade	970707	EAN	



Deponeringsläge för paket med kapsel och bentonitelement



Deponeringsläge för bentonitblock



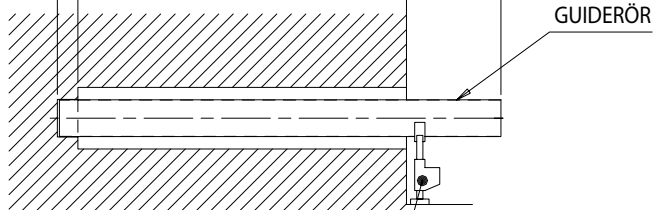
Inskjutning av paket med kapsel och bentonitelement

Metod:
5
7

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
	Datum 96-06-12	Sign. TBE	DEPONERING AV PAKET KAPSEL, RINGAR OCH BLOCK	
Ritad			Vikt	Proj.-nr.
Kontr.			Skala 1:50	Smst.
Godk.			Ritm.-nr.	JADE 000 0421
			SKB AB	

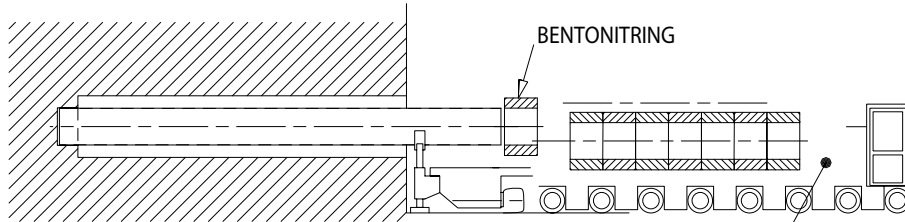
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till annan blankett	970703	EAN	

500 8000 2300



1

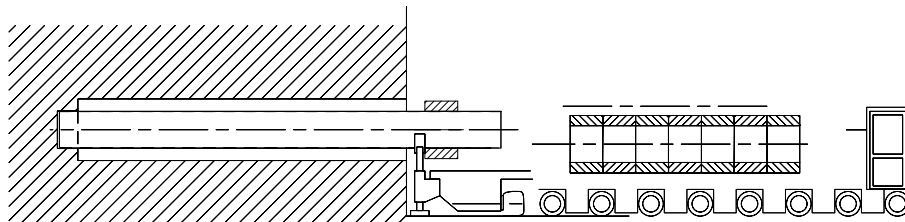
YTTRE RÖRSTÖD



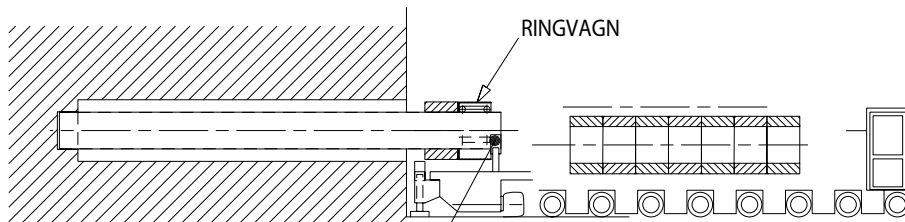
2

BENTONITRING

BENTONITFORDON



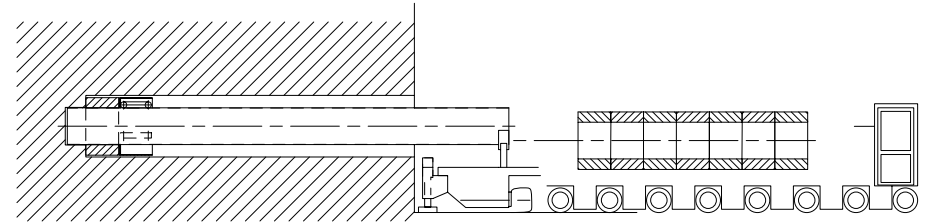
3



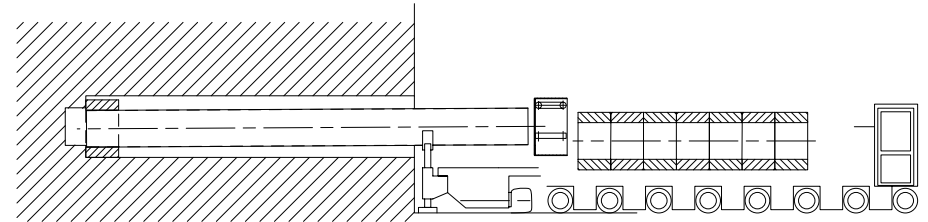
4

RINGVAGN

BENTONITFORDONETS RÖRSTÖD



5



6

7 - 13 Se ritning nr SKB-DEP-102

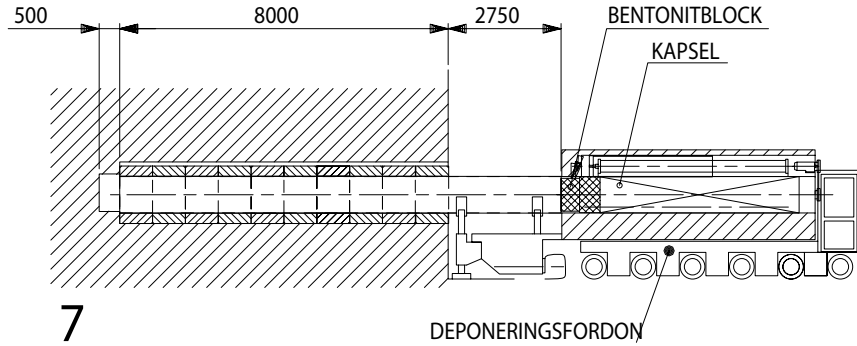
Ringformade bentonitblock
med återtaget guiderör

Metod:
1a
1b

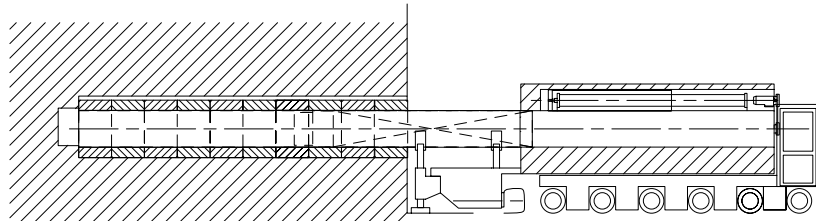
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
	Datum	Sign.	Vikt	
Ritad	93-11-26	PKa	Proj.-nr.	
Kontr.			Skala	Smst.
Godk.			Ritn.-nr.	
ÅF-INDUSTRI TEKNIK			SKB	SKB-DEP-101

1 - 6 Se ritning SKB-DEP-101

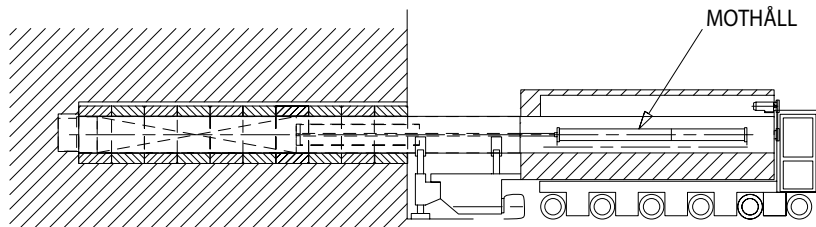
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till ny blankett	970703	EAN	



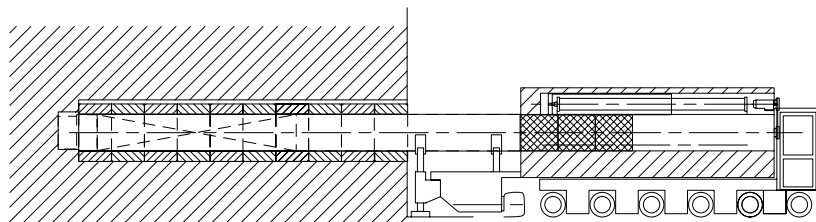
7



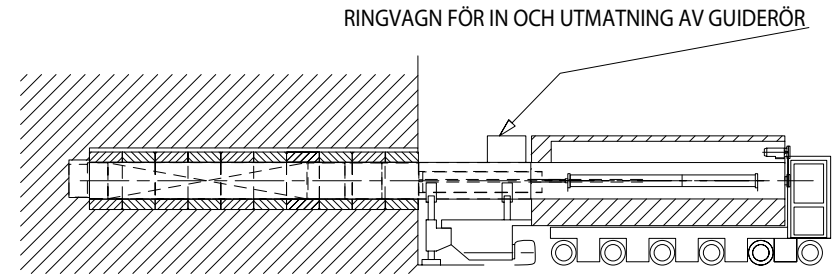
8



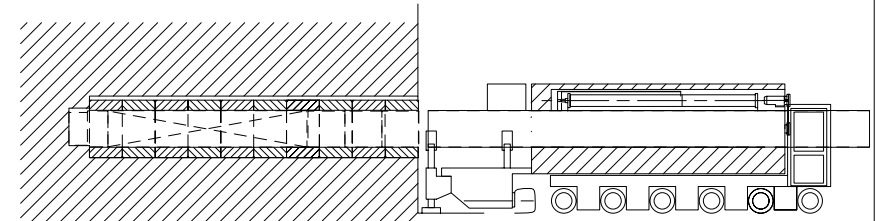
9



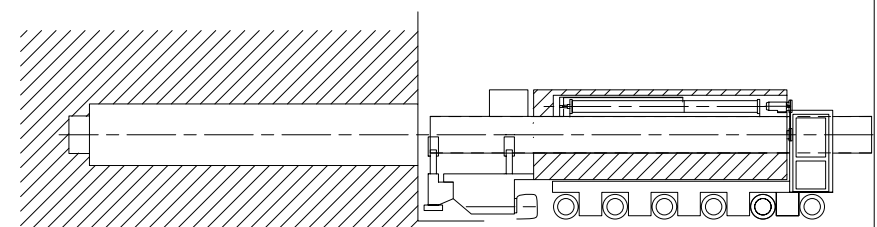
10



11



12

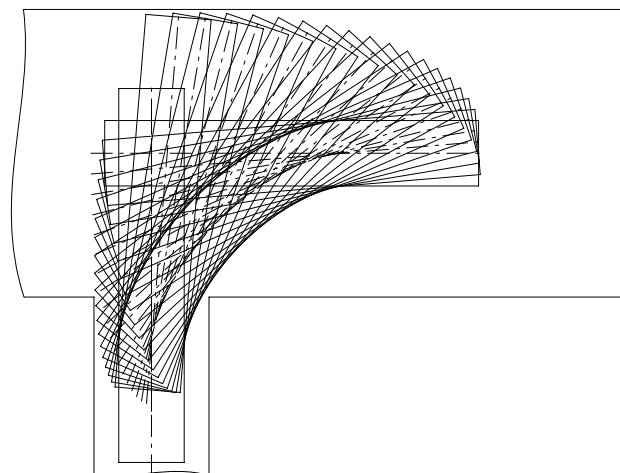
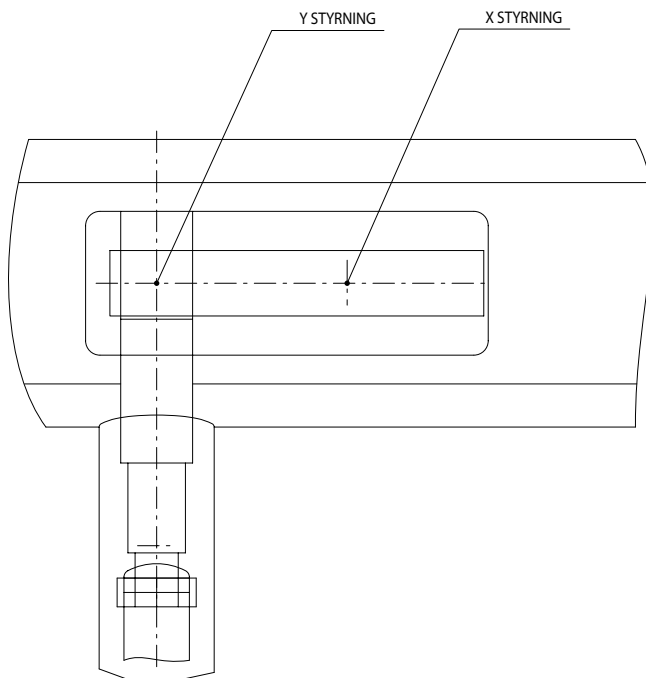
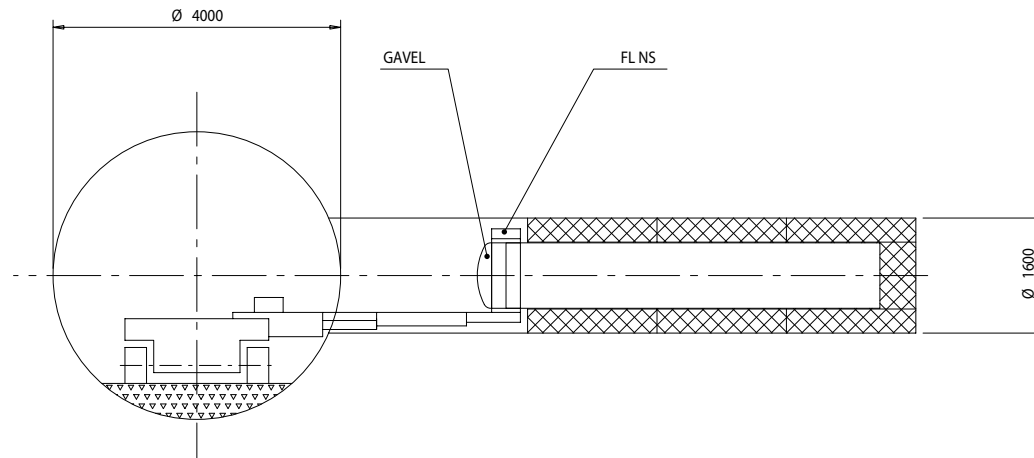
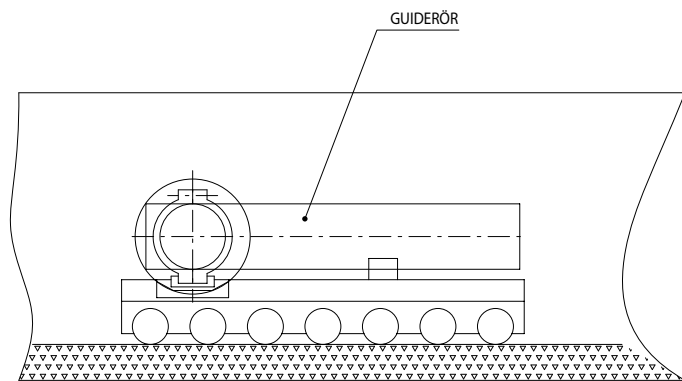


13

Ringformade bentonitblock med återtaget guiderör

Metod:
1a
1b

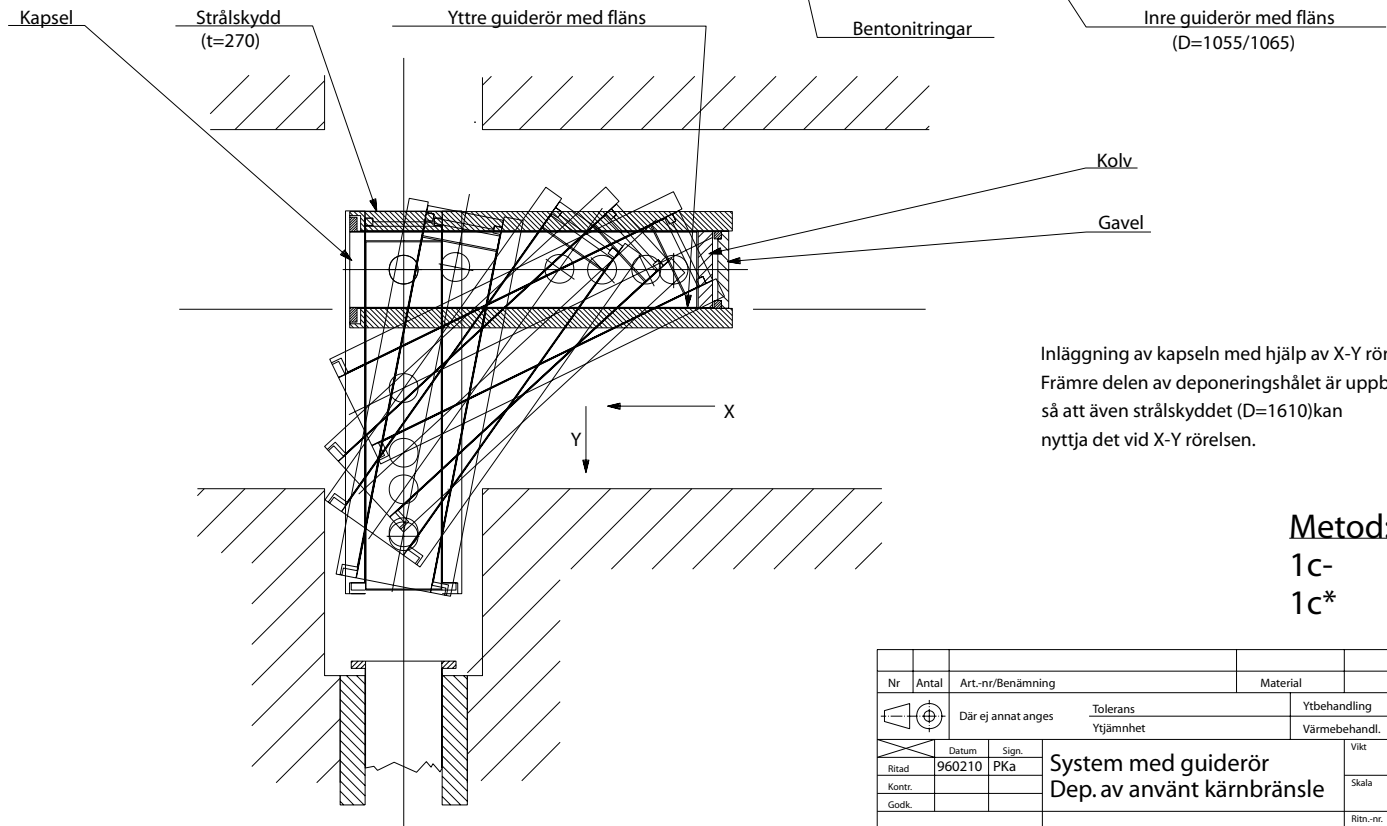
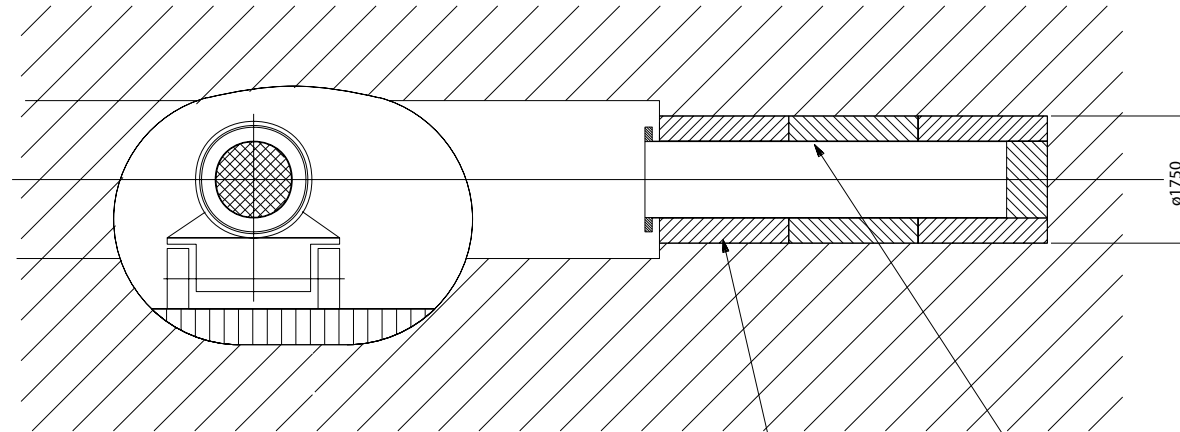
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	SYSTEM MED ÅTERANVÄNDBART GUIDERÖR	
Kontr.	93-11-26	PKa		
Godk.				
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK SKB			Vikt	Proj.-nr.
			Skala	Smst.
			Ritn.-nr.	SKB-DEP-102



Metod
1c-

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Tolerans Där ej annat anges		Ytbehandling
		Ytjämnhet		Värmebehandl.
		DEPONERING AV KAPSEL HANTERING AV GUIDERÖR		Vikt Proj.-nr.
Ritad	Datum	Sign.		Skala
Kontr.	93-12-01	BBE		1:50
Godk.				Smst.
ÅF-INDUSTRITEKNIK			SKB	Ritn.-nr. SKB-DEP-106

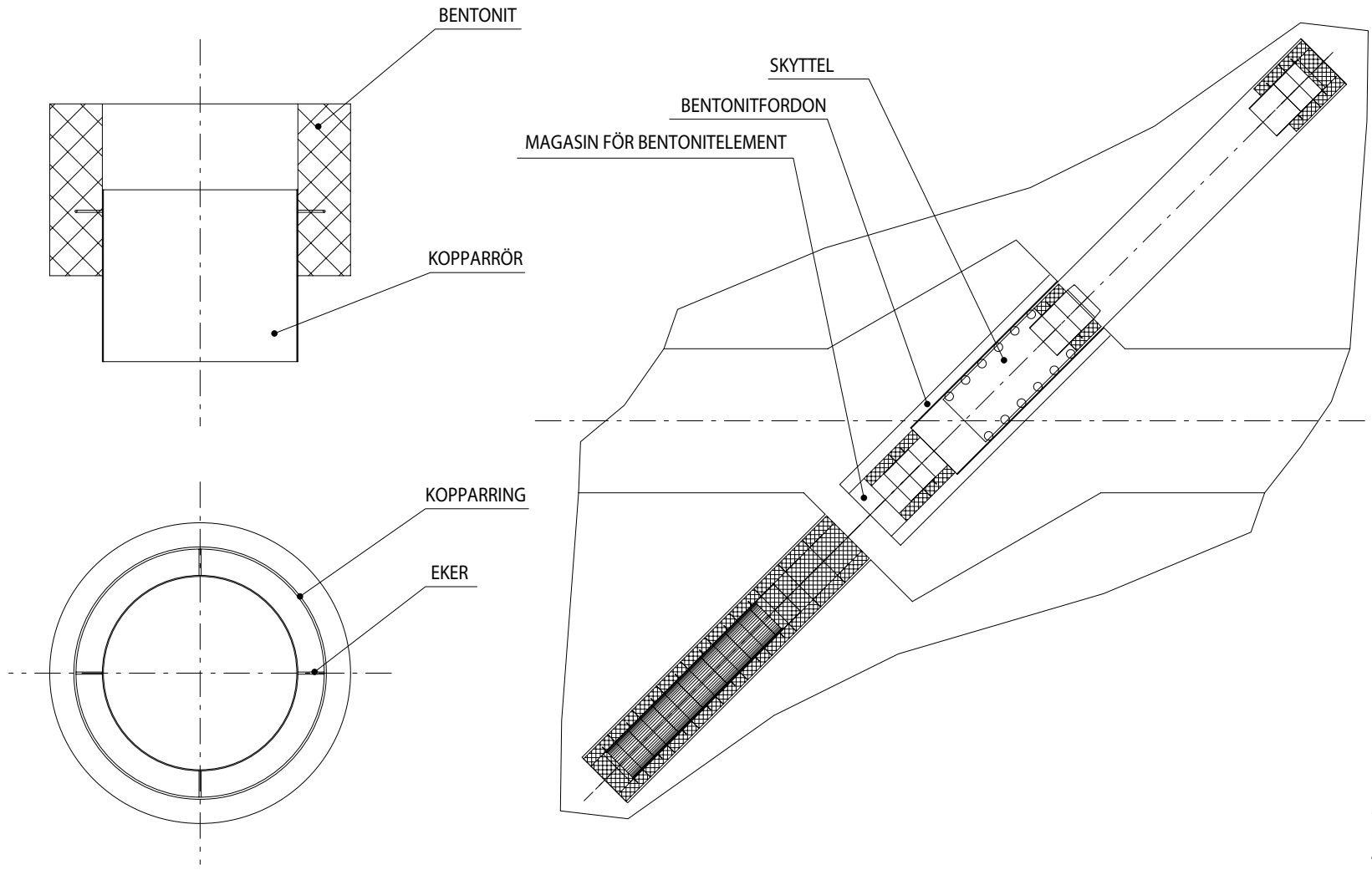
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till ny blankett	970703	EAN	



Inläggning av kapseln med hjälp av X-Y rörelse.
 Främre delen av deponeringshålet är uppborrad
 så att även strålskyddet (D=1610) kan
 nyttja det vid X-Y rörelsen.

Metod:
 1c-
 1c*

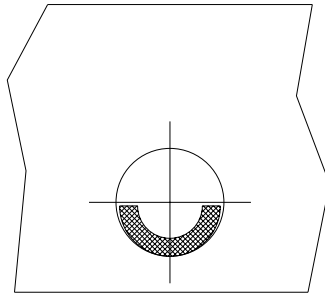
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans	Ytbehandling
			Ytjämnhet	Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.		Vikt
Kontr.	960210	PKa		Proj.-nr.
Godk.				Skala
				Smst.
			SKB	Ritn.-nr. SKB-DEP-106D



146

Metod:
2

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel	Ytbehandling
			Ytjämnhet	Värmebehandl.
	Datum	Sign.	MONTERING AV BENTONIT EJ ÅTERTAGET GUIDERÖR	Vikt
Ritad	93-11-18	BBE		Proj.-nr.
Kontr.				Skala
Godk.				1:100
			SKB	Ritn.-nr. SKB-DEP-201



A - A

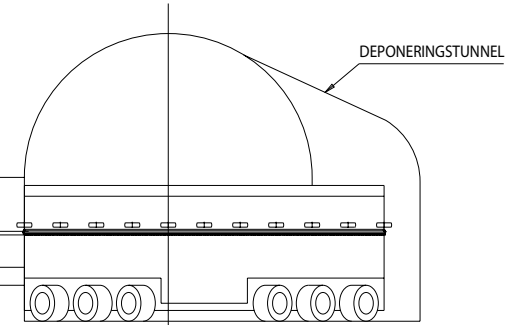
ILÄGGNING AV UNDRE BENTONITHALVOR

BOTTENBLOCK

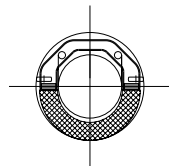
BENTONITRINGSHALVOR

A

A



DEPONERINGSTUNNEL



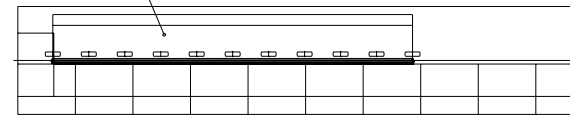
B - B

KAPSELDEPONERING

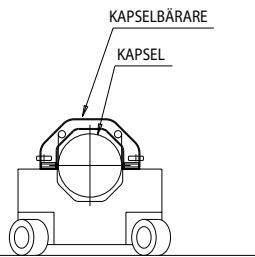
KAPSELBÄRARE

B

B



DEPONERINGSFORDON



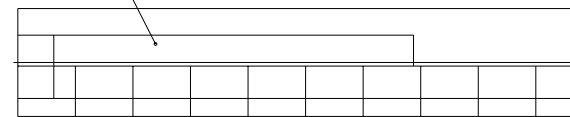
C - C

KAPSELDEPONERING

KAPSEL

C

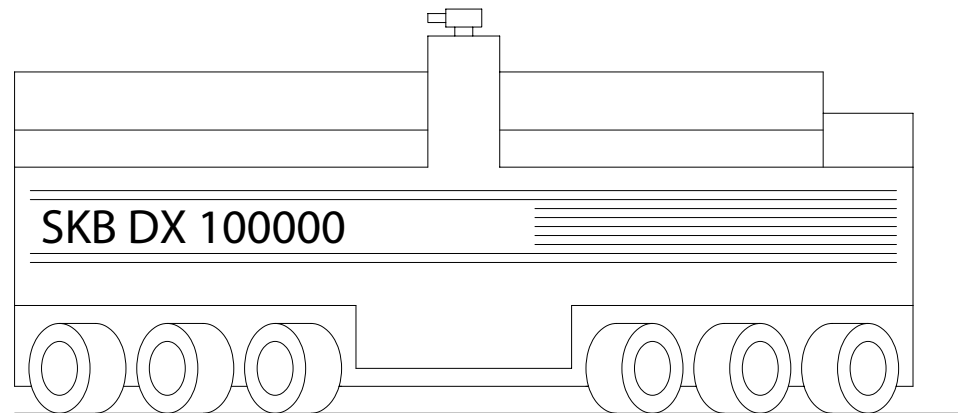
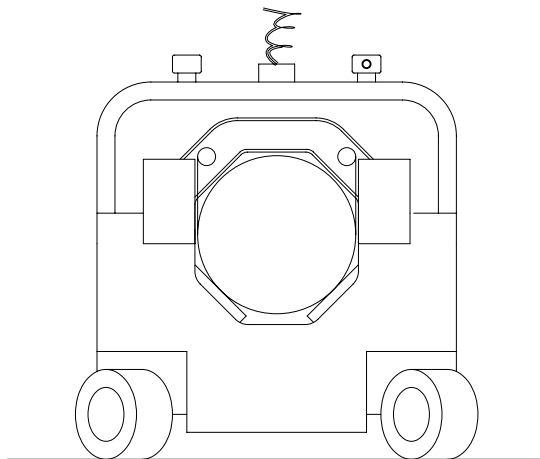
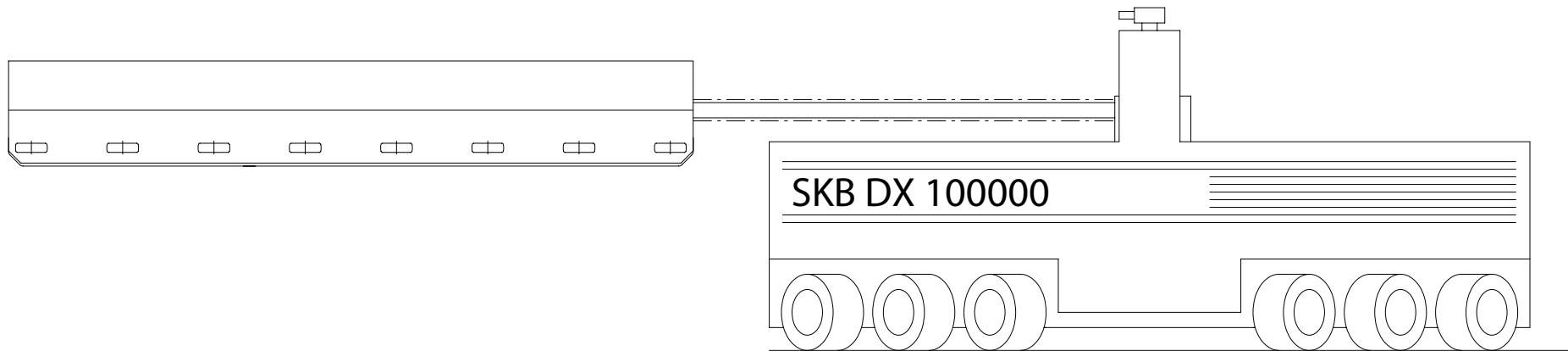
C



Metod:
3

BENTONITRINGSHALVOR

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV KAPSEL	Vikt
Kontr.	93-11-12	BBE		Skala
Godk.				1:50
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK			SKB	Ritn.-nr. SKB-DEP-301



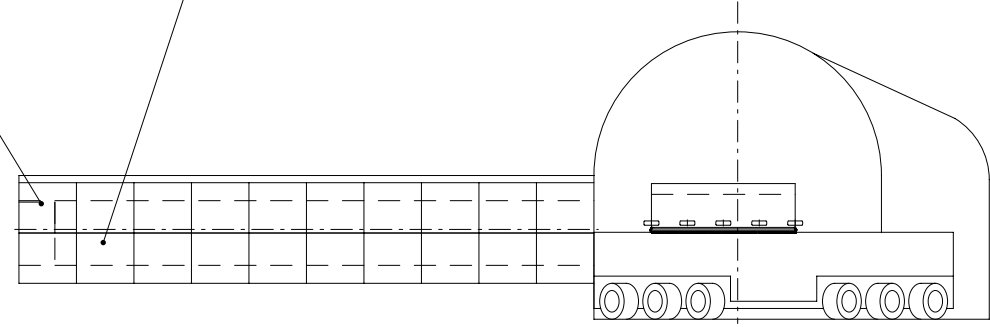
148

Metod:
3

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
	Där ej annat anges	Tolerans	Ytbehandling	
		Ytjämnhet	Värmebehandl.	
	Datum	Sign.	DEPONERINGSFORDON	Vikt
Ritad	93-11-20	BBE		Proj.-nr.
Kontr.				Skala
Godk.				1:20
				Sms.
			SKB	Ritn.-nr.
				SKB-DEP-302

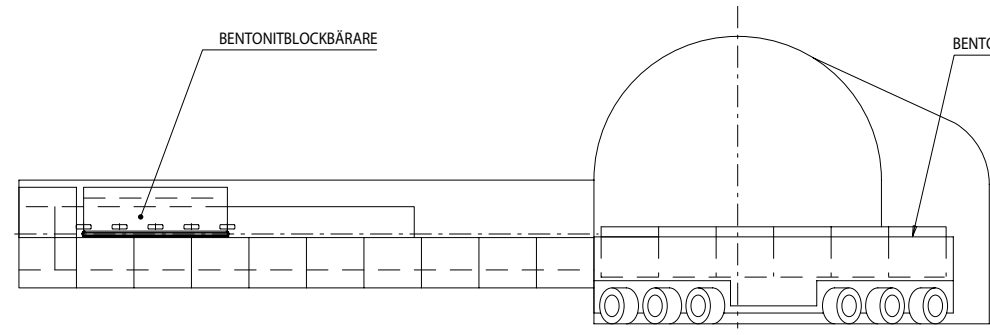
BENTONITBLOCK

BENTONITRINGSHALVOR

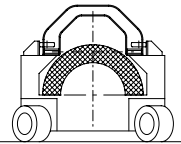
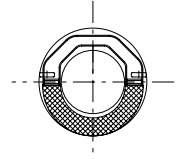
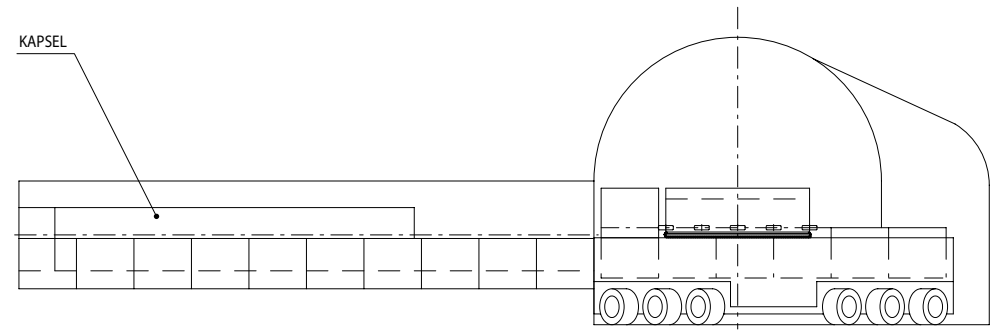


BENTONITBLOCKBÄRARE

BENTONITFORDON



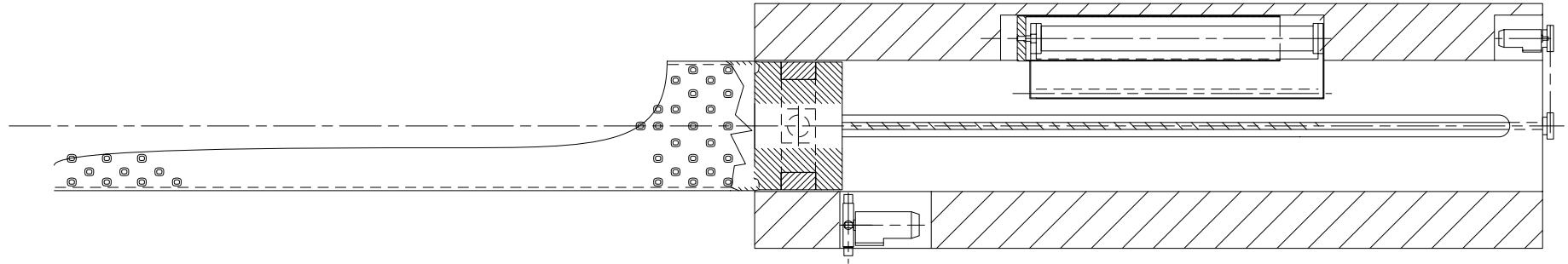
KAPSEL



Metod:
3

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandling.
Ritad	Datum	Sign.	ÖVRE BENTONITINKLÄDNING	Vikt
Kontr.	93-11-12	BBE		Proj.-nr.
Godk.				Skala 1:50
			SKB	Ritm.-nr. SKB-DEP-304

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till ny blankett	970707	EAN	



150

Metod:
 4a
 Strålskyddscyliner
 4b
 med utskjutet laddningsrör
 4c

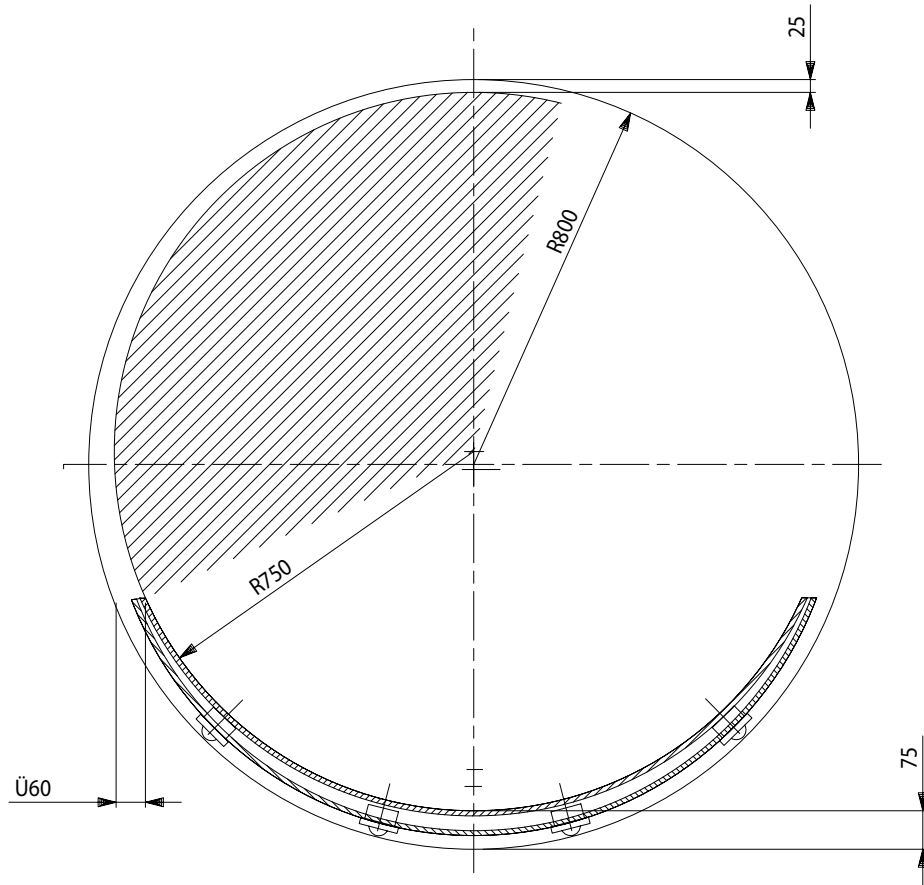
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
		Datum	Sign.	Vikt
Ritad	931126	PKr		Proj.-nr.
Kontr.				Skala
Godk.				Smst.
				Ritn.-nr. SKB-DEP-407

SYSTEM FÖR KOMPLETT
 AVFALLSDEPONERING

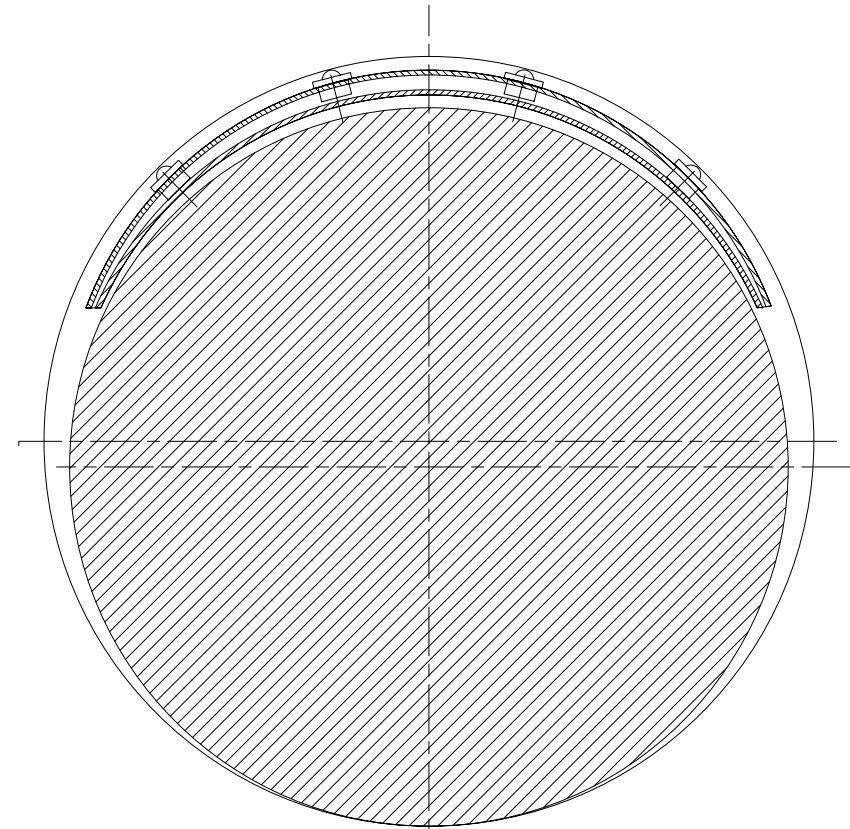
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till ny blankett	970707	EAN	



151

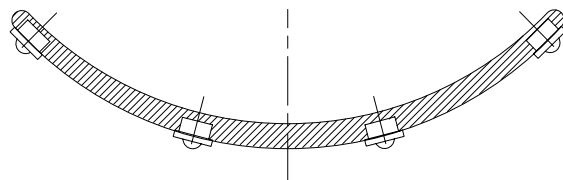


Laddningsrörets läge vid
inskjutning i deponeringshålet



Laddningsrörets läge vid
utdragning ur deponeringshålet

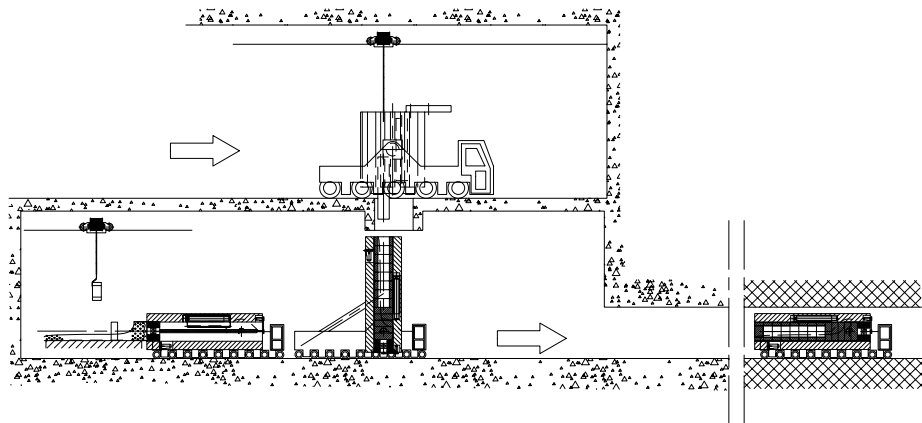
Metod:
4a
4b
4c



Alternativt utförande

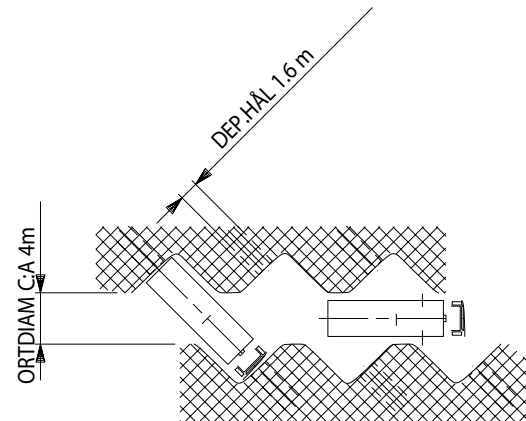
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning		
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.		
	Datum 931126	Sign. PKr	SYSTEM FÖR KOMPLETT AVFALLSDEPONERING			
Kontr.					Vikt	Proj.-nr.
Godk.					Skala	Smst.
			Ritn.-nr. SKB-DEP-408			

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till annan blankett	970707	EAN	



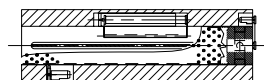
LASTNINGSSTATION

1:400

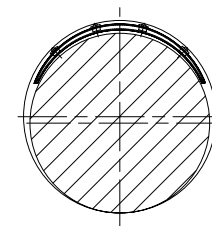
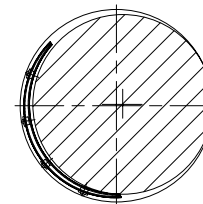
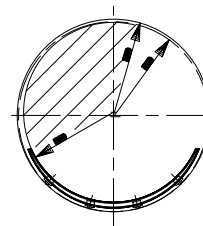
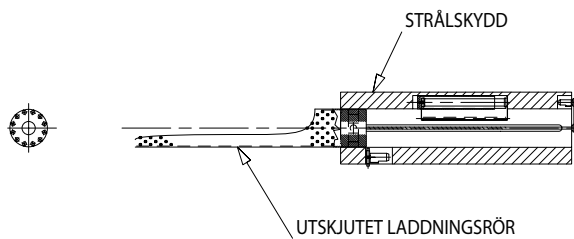


DEPONERINGSHÅL I "FISKBENSMÖNSTER"

1:400



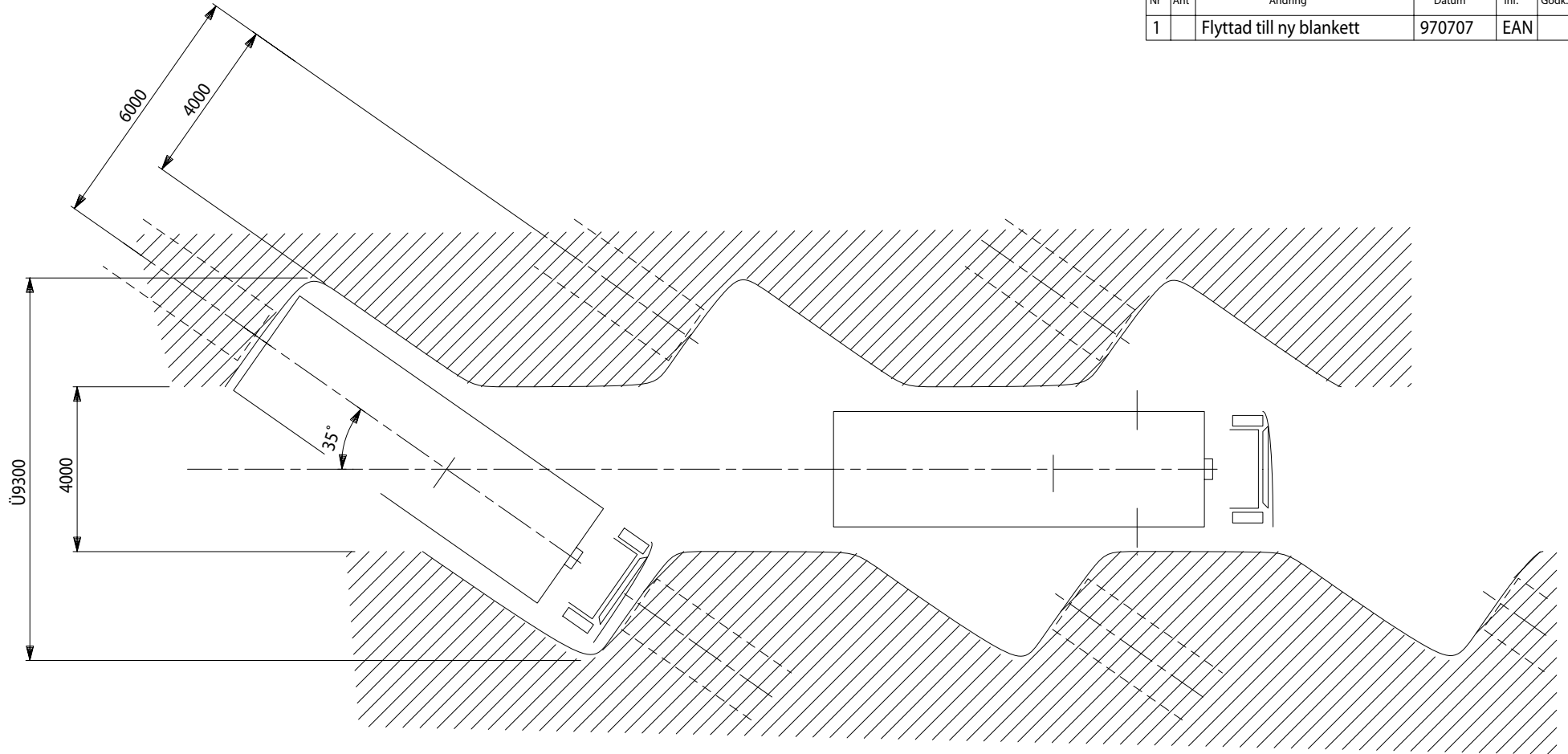
STRÅLSKYDDSCYLINDER MED INDRAGET LADNINGSRÖR



Metod:
4a

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
		Datum 931126	Sign. PKr	Vikt Proj.-nr.
		Kontr.		Skala Smst.
		Godk.		Ritn.-nr. SKB-DEP-412
		ÅF-INDUSTRITEKNIK SKB		

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till ny blankett	970707	EAN	



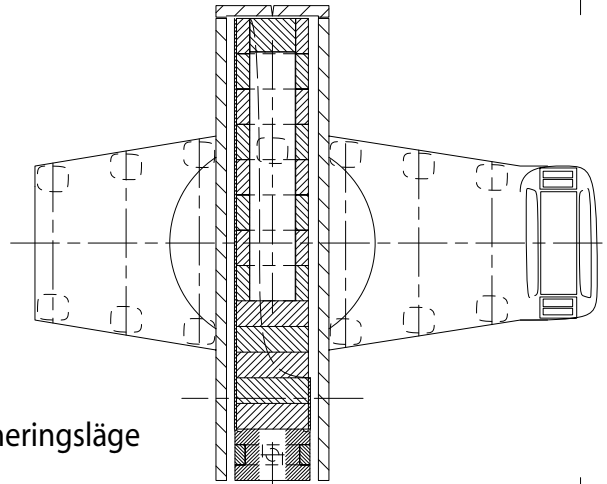
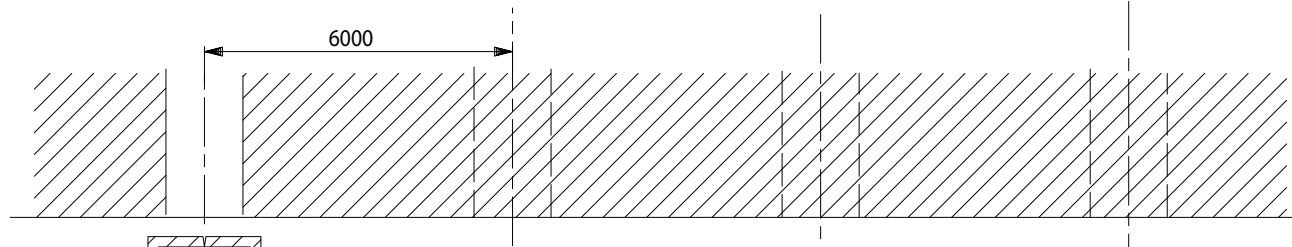
Dimensioner vid deponeringshål
i "fiskbensmönster"

Metod:
4a

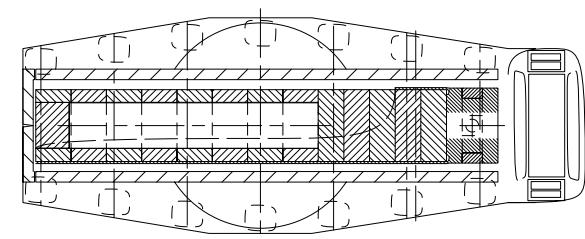
Kapsel och bentonitbuffert deponeras i en operation

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning		
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.		
	Datum	Sign.	SYSTEM FÖR KOMPLETT AVFALLSDEPONERING		Vikt	
Ritad	931126	PKr			Proj.-nr.	
Kontr.					Skala	Smst.
Godk.					Ritn.-nr.	
			SKB	SKB-DEP414		

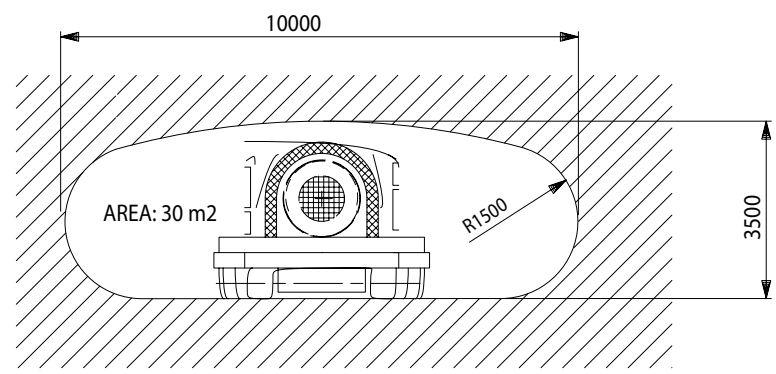
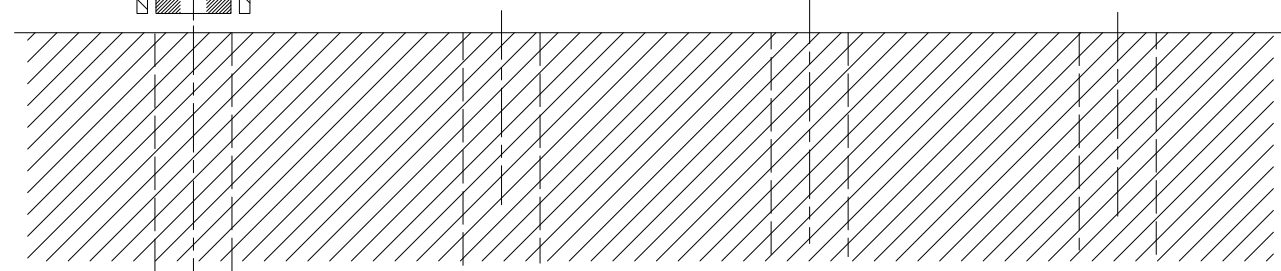
Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till ny blankett	970707	ean	



Deponeringsläge

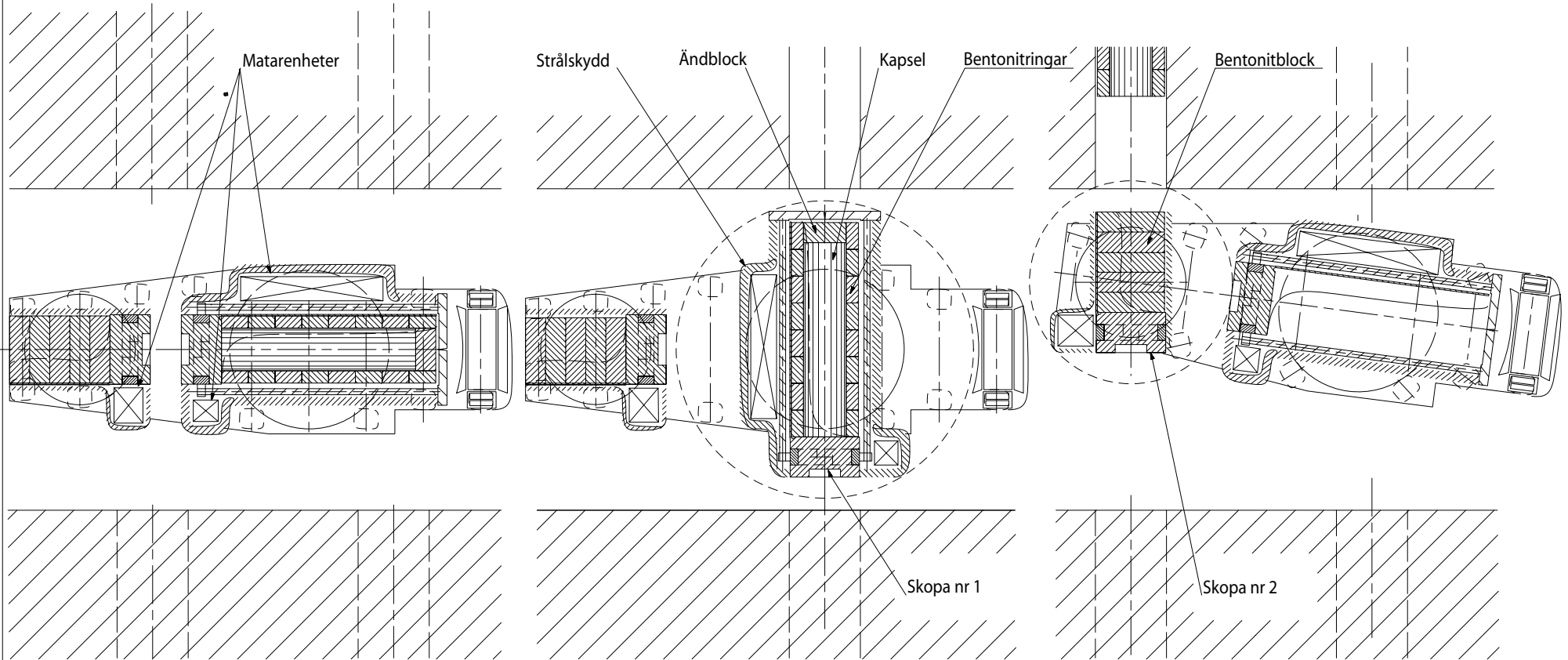


Transportläge



Metoed:
4b

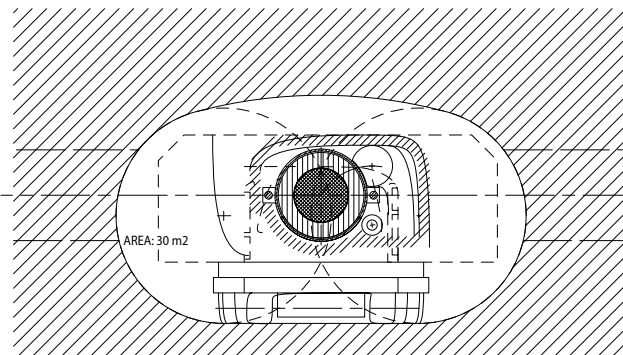
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
		Datum 931202	Sign. PKr	Vikt Proj.-nr.
		Kontr.		Skala Smst.
		Godk.		Ritn.-nr. SKB-DEP-415
		SKB		



Transportläge

Deponeringsläge för "paket"
(kapsel och bentonitringar)

Deponeringsläge för
bentonitblock



Ortsdimensioner

Metod:
4c

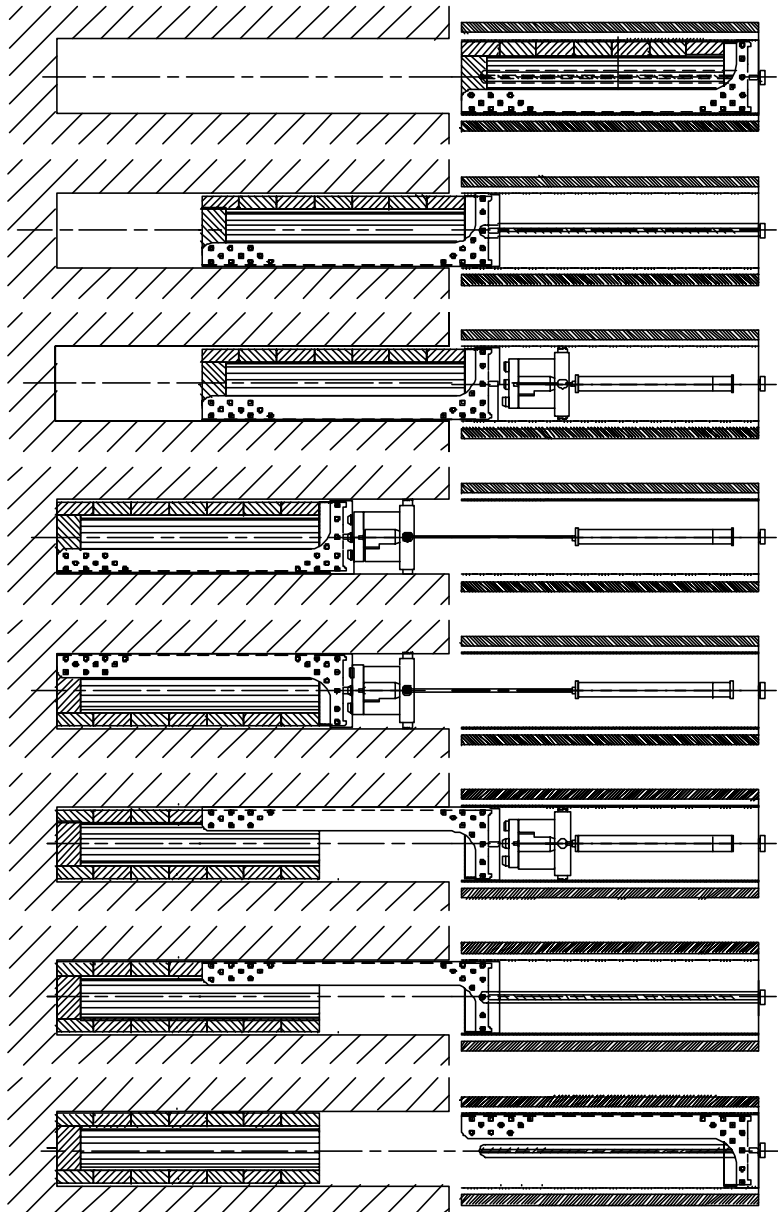
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning	
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.	
	Datum	Sign.	Deponering av kapsel med använt kärnbränsle	Vikt	Proj.-nr.
Ritad	960210	PKa		Skala	Smst.
Kontr.				1:100	
Godk.				Ritn.-nr.	
			SKB	SKB-DEP-416c	

This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted.

Detta dokument får icke utan vårt medgivande kopieras, förvisas eller utlämnas till tredje person. Om det mot detta kommer att leda till straff, förbehåller vi oss rätten att åta sig åtal.

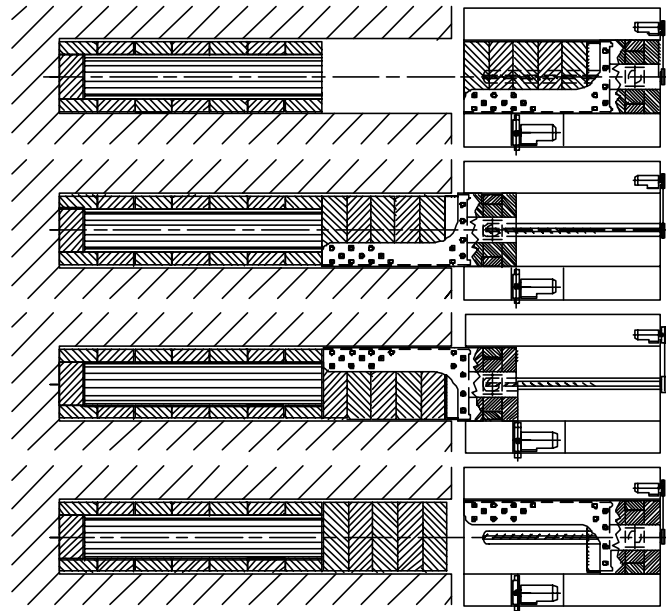
MÄTNIT. NR.		TOLERANSKÄLSE.		MÄTNIT. NR.		TOLERANSKÄLSE.	
Ver.	T.O.A.	Ver.	T.O.A.	Ver.	T.O.A.	Ver.	T.O.A.
6	10.2	10.2	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
(1)	10.2	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00
(2)	10.2	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00
(3)	10.2	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00
(4)	10.2	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00
(5)	10.2	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00	(10.00)	10.00

För 101 gäller anslutningsdiagram H 1.3



1
2
3
4
5
6
7
8

Nr.	Endring	Datum	Infrid	Godk.
-----	---------	-------	--------	-------

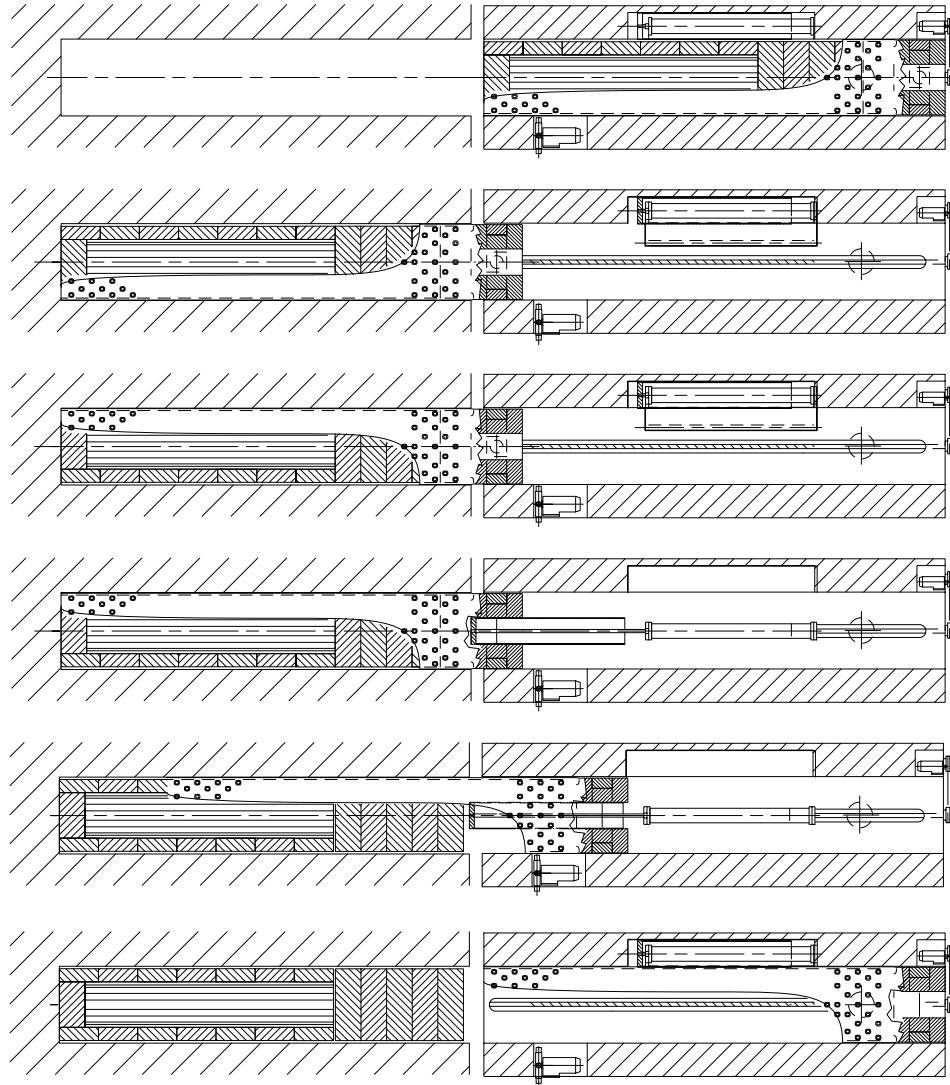


9
10
11
12

Metod 4c Deponeringssekvens

Nr	Ant.	Art.-nummer	Benämning	Material	Anmärkning
			Tolerans	Ytbehandling	
			(Inget annat anges)	Värmebehandling	
			Ytjämnhet	VI kt	Indr.-nr
Rit.	Datum	Si gn.	SYSTEM FÖR KOMPLETT, DELAD HANTERING AV AVFALLSDEPONERING	Skala	Blad-nr
Kontr.	1993.11.26	PKR		1:1	1
Godk.				Rit.nr	Ant. blad
					1
					SKB-DEP-417

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
1		Flyttad till ny blankett	970707	EAN	



1

2

3

4

5

6

Metod:
4b

Deponeringssekvens

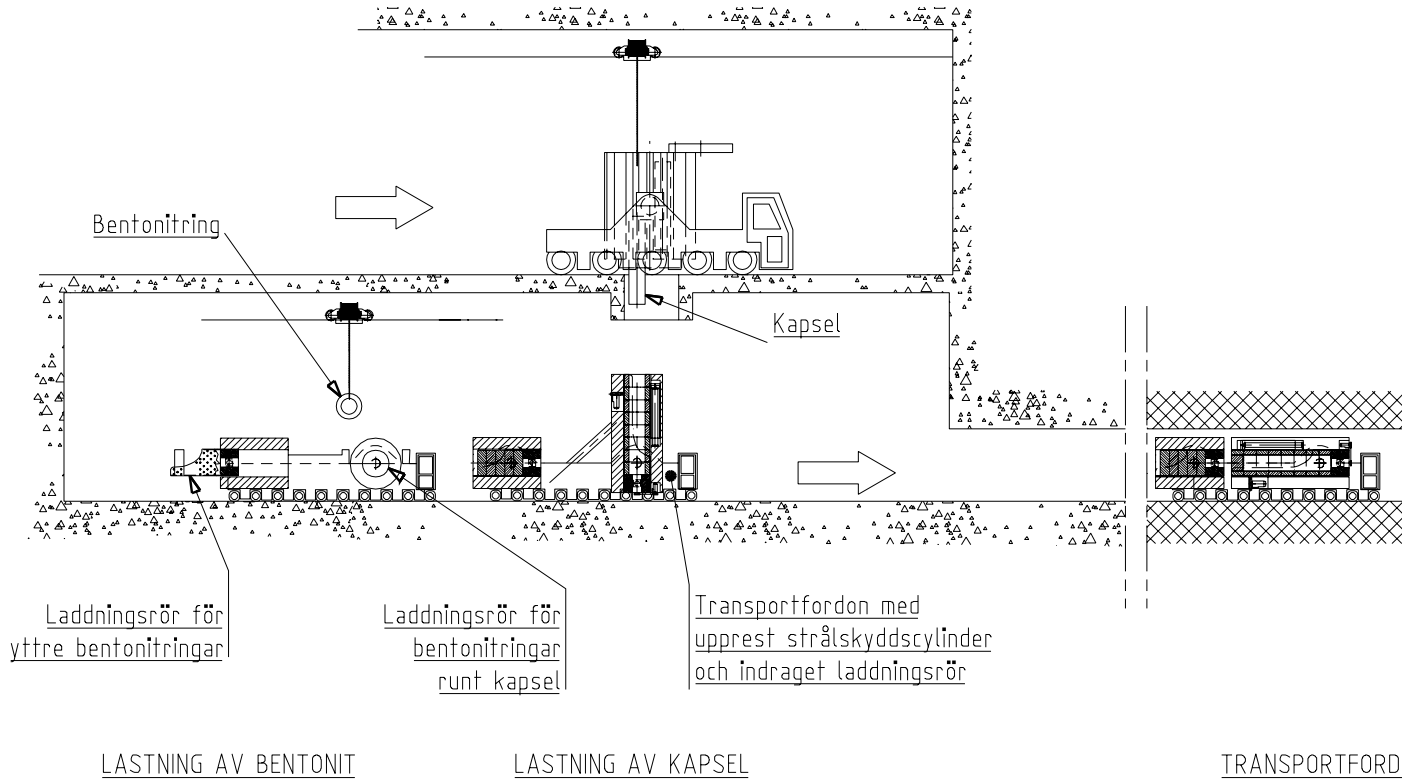
Nr		Antal		Art.-nr/Benämning		Material		Anmärkning	
		Där ej annat anges		Tolerans		Ytbehandling			
				Ytjämnhet		Värmebehandl.			
Ritad		Datum		Sign.		<p>SYSTEM FÖR KOMPLETT AVFALLSDEPONERING</p>		Vikt	
Kontr.		931126		PKr				Proj.-nr.	
Godk.								Skala	
								Ritn.-nr.	
								SKB-DEP-418	

This document must not be copied without our written permission, and the contents thereof must not be imparted to a third party nor be used for any unauthorized purpose. Contravention will be prosecuted.

Detta dokument får inte utgå som teknisk specifikation eller teknisk beskrivning utan tillstånd från Skanska AB. Detta dokument är tillgängligt för alla som har tillgång till den tekniska informationen som finns i detta dokument.

Non. mitt. an		Toleransklass		Non. mitt. an		Toleransklass	
Yver.	L. p. m.	Fin.	Medel.	Yver.	L. p. m.	Fin.	Medel.
11	6	0,05	0,1	135	1000	0,3	0,8
16	30	0,1	0,2	1000	2000	0,5	1,2
130	120	0,15	0,3	10000	4000	1,2	3
1700	315	0,2	0,5	10000	8000	3	8

Från till. avsevärt angivna tolerans. H13.



Nr.	Indrning	Datum	Införd	Godk.
-----	----------	-------	--------	-------

METOD 4c
Lastningsstation

Nr.	Ant.	Art.-nummer	Ben(m)ning	Materiäl	Anm(rkning)
			Dr. ej annat anges	Ytbehandling	
			Tolerans	Vtrmebehandl.	
			Ytjämhet	Vikt	Indr.-nr
Rit.	Datum	Stgn.	SYSTEM FÖR KOMPLETT		
Konfr.	950120	EAN	HANtering AV	Skala	Blad-nr
Godk.			AVFALLSDEPONERING	1:1	1
			SKB	Ritn.-nr	Ant.blad
					1
					SKB-DEP-4-19

Beskrivning av deponeringsprocesser i "strålsteg"

I denna bilaga återges den kompletterande beskrivningen av de deponeringsprocesser, nämligen 1c-, 1c+ och 4c, som utfördes för ABB Atoms analys av strålskyddsfrågor inför feleffektanalysen.

Målsättningen för dessa beskrivningar var ett underlag för analys som identifierade de ur strålningens synpunkt olika situationerna i de granskade deponeringsprocesserna. För processbeskrivningar hänvisas till respektive avsnitt i huvudrapporten.

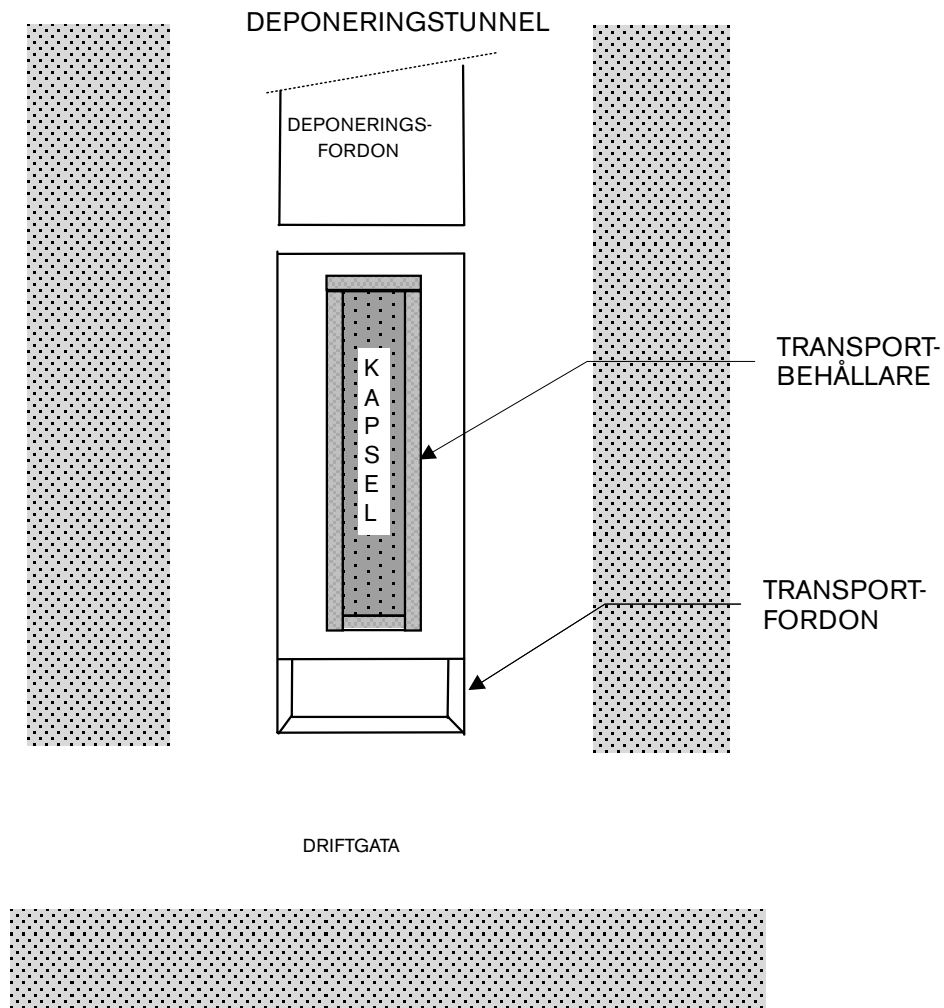
Beskrivning för teknik 1C-

I teknik 1c- deponeras kapsel och bentonit vid skilda tidpunkter men kort efter varandra. Kapsel finns oskyddad bakom strålskärm.

Steg 1

Detta steg omfattar uppställningen av respektive fordon inför överföring av kapsel. Detta moment sker inne i deponeringstunneln i närheten av driftgatan. Deponeringsfordonet kan vara antingen gummihjulsburet eller spårbundet.

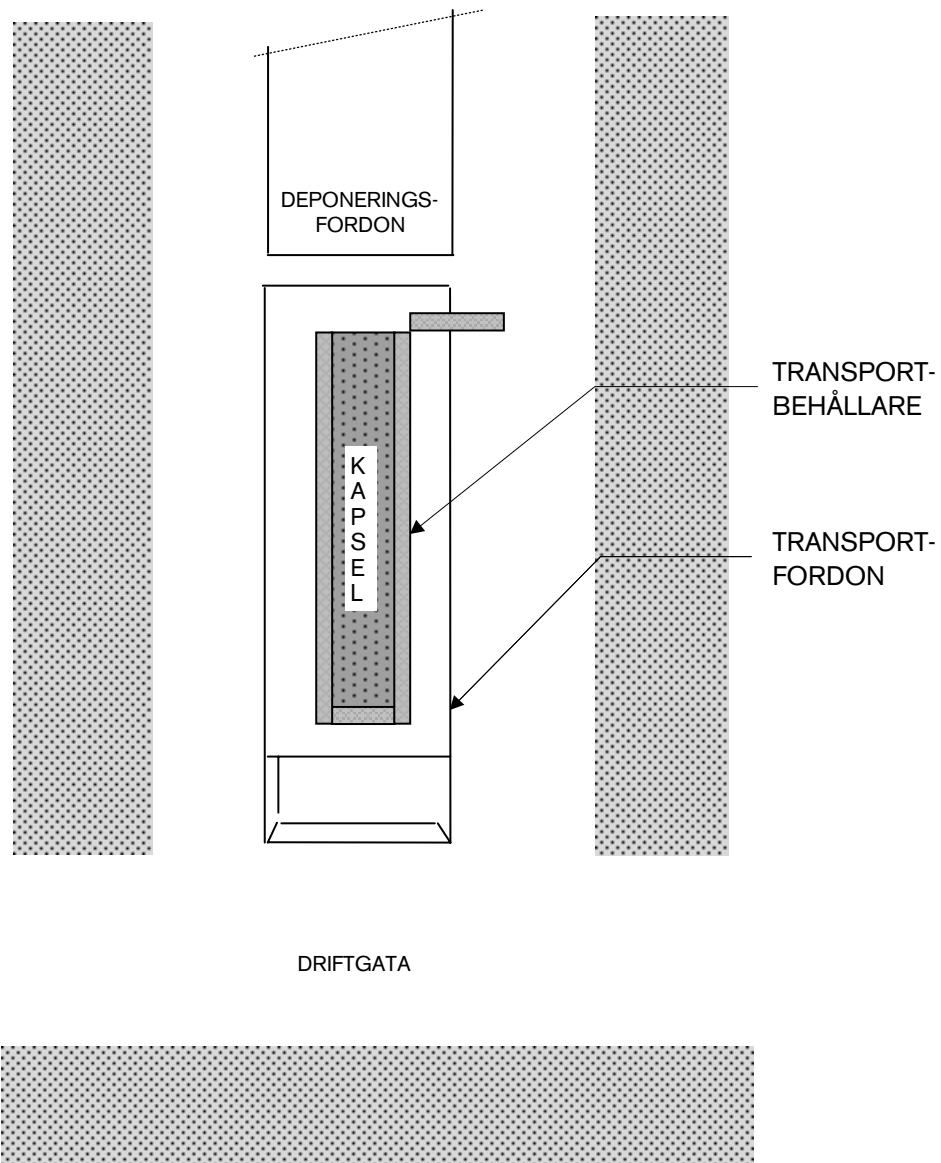
Kapseln finns under transporten fram till deponeringstunneln inne i en strålskyddad transportbehållare på transportfordonet.



Bilagefigur 1-1. Steg 1 – situationsplan.

Steg 2

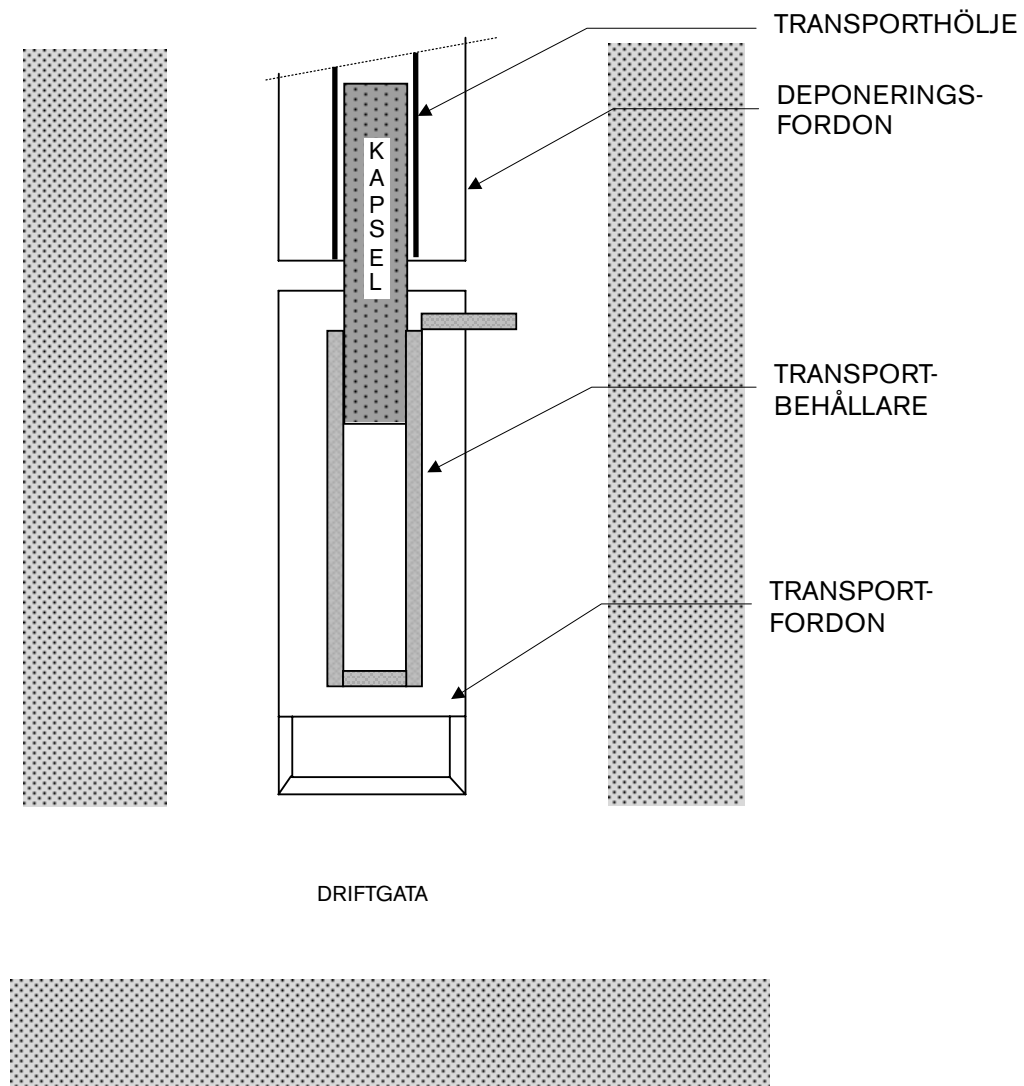
Strålskyddsgaveln på transportbehållaren har öppnats. Kapselns främre gavel har blottats.



Bilagefigur 1-2. Steg 2 – situationsplan.

Steg 3

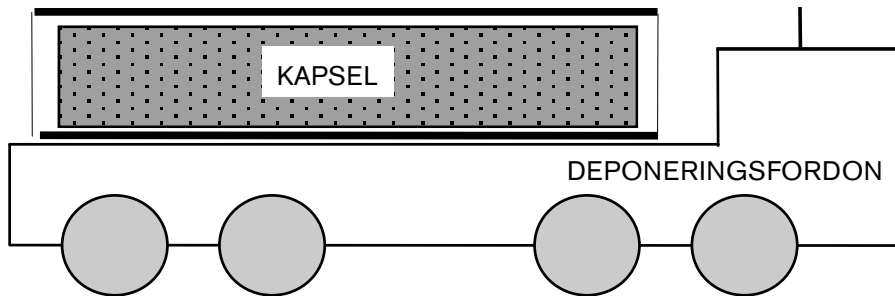
Kapseln skjuts ut ur transportbehållaren och över på deponeringsfordonet.



Bilagefigur 1-3. Steg 3 – situationsplan.

Steg 4

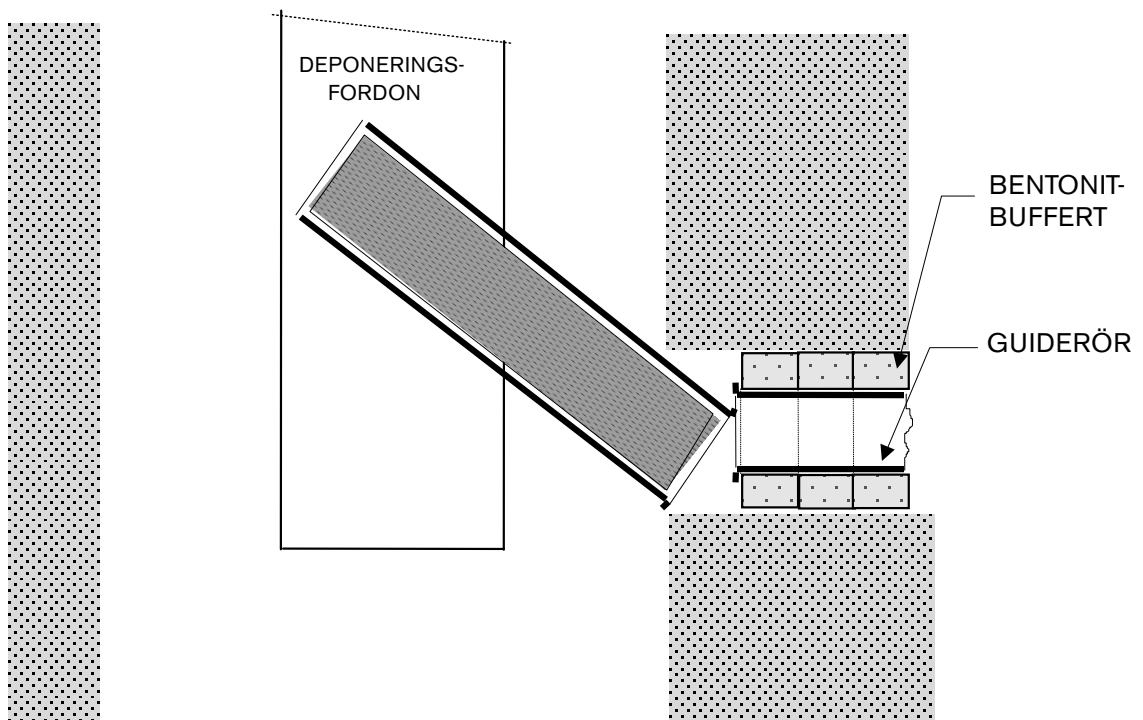
Deponeringsfordonet kör från omlastningsplatsen fram till det aktuella deponeringshålet. Kapseln saknar fullgott strålskydd och är omgiven av endast ett transporthölje.



Bilagefigur 1-4. Steg 4 – situationsplan.

Steg 5

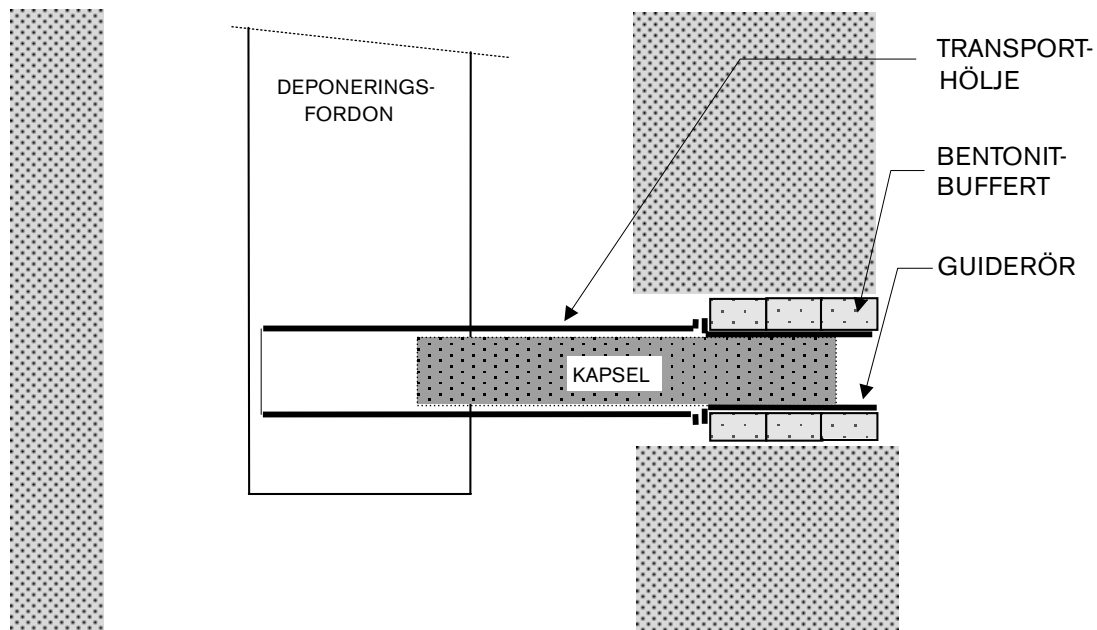
Deponeringsfordonet är uppställt i deponeringsposition och har påbörjat införingen av kapseln. För införingen kan med fördel användas en så kallad "Cardano-rörelse" /6, 7/ vilken i dagligt tal också kallas för "vrida runt hörnet". En bottenplugg och åtta ringelement av bentonit samt guiderör har tidigare placerats inne i deponeringshålet.



Bilagefigur 1-5. Steg 5 – situationsplan.

Steg 6

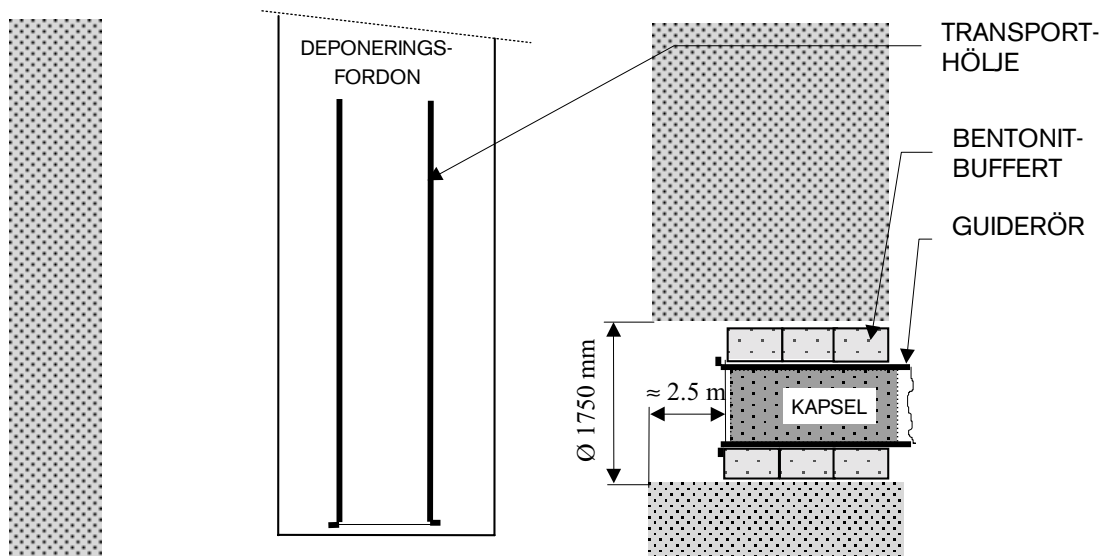
Kapseln skjuts in i deponeringshålet och in i guideröret.



Bilagefigur 1-6. Steg 6 – situationsplan.

Steg 7

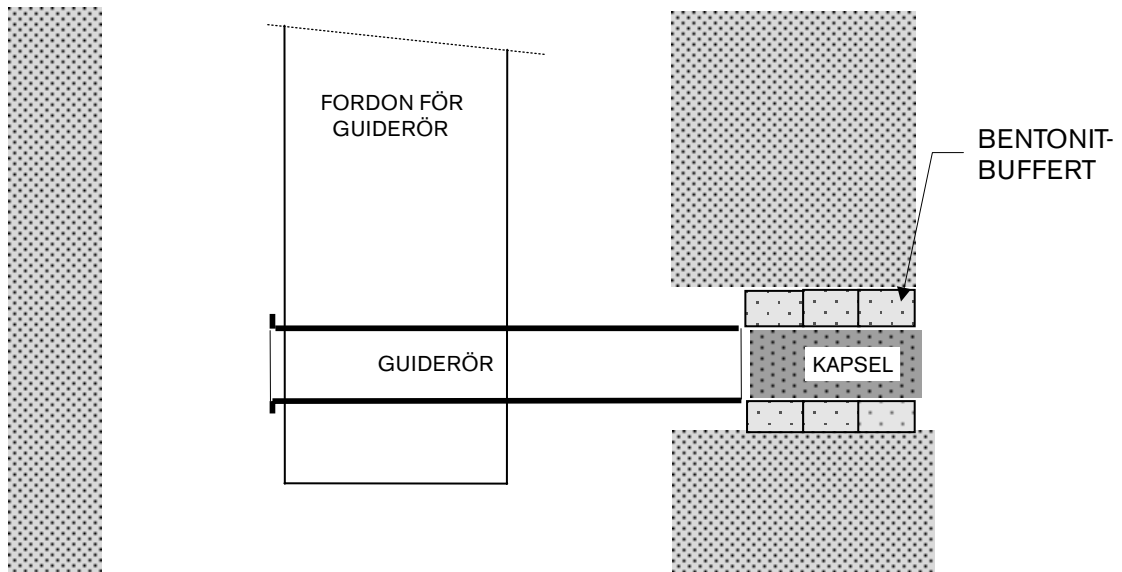
Kapseln är placerad i deponeringshålet. Deponeringsfordonet är redo att lämna platsen. Kapselns främre gavel är helt blottad. (Deponeringshållets diameter är 1 750 mm. Kapselns yttre gavel är belägen 2,5 m in i deponeringshålet.)



Bilagefigur 1-7. Steg 7 – situationsplan.

Steg 8

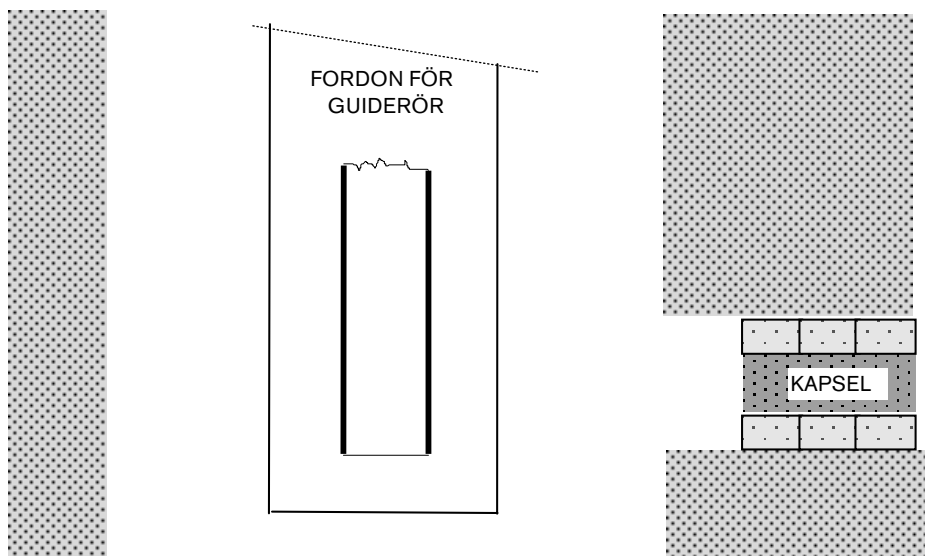
Guideröret från deponeringshålet dras ut. Kvar i hålet är kapsel och bentonitelement. Kapselns främre gavel är helt blottad.



Bilagefigur 1-8. Steg 9 – situationsplan.

Steg 9

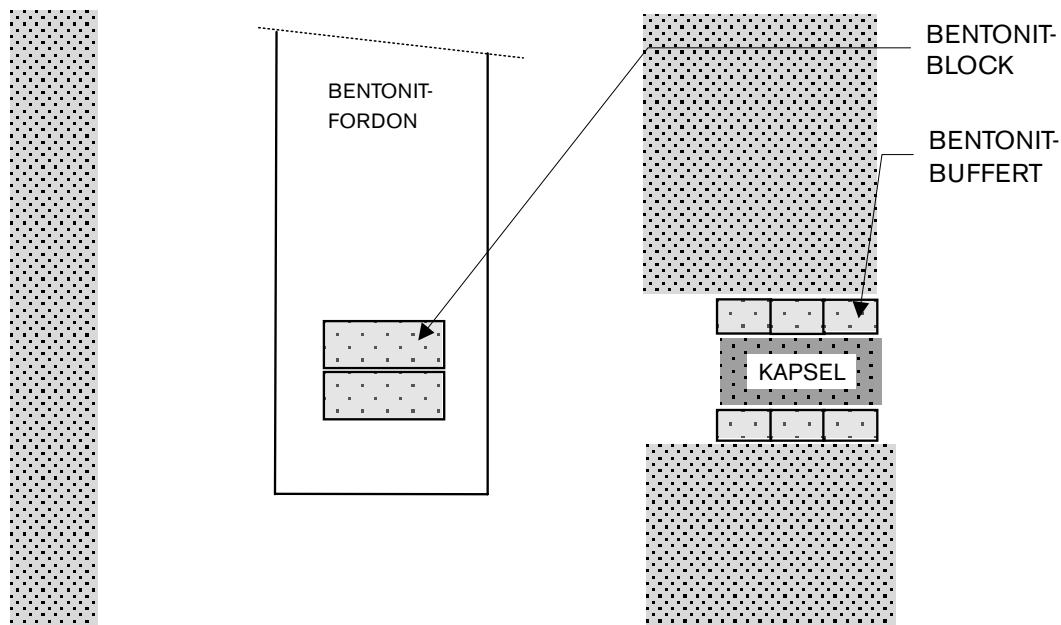
Guideröret är borttaget och ligger på fordonet som beger sig till annan plats i deponeringstunneln. Kapselns främre gavel är helt blottad. Guideröret ligger helt öppet på fordonet.



Bilagefigur 1-9. Steg 9 – situationsplan.

Steg 10

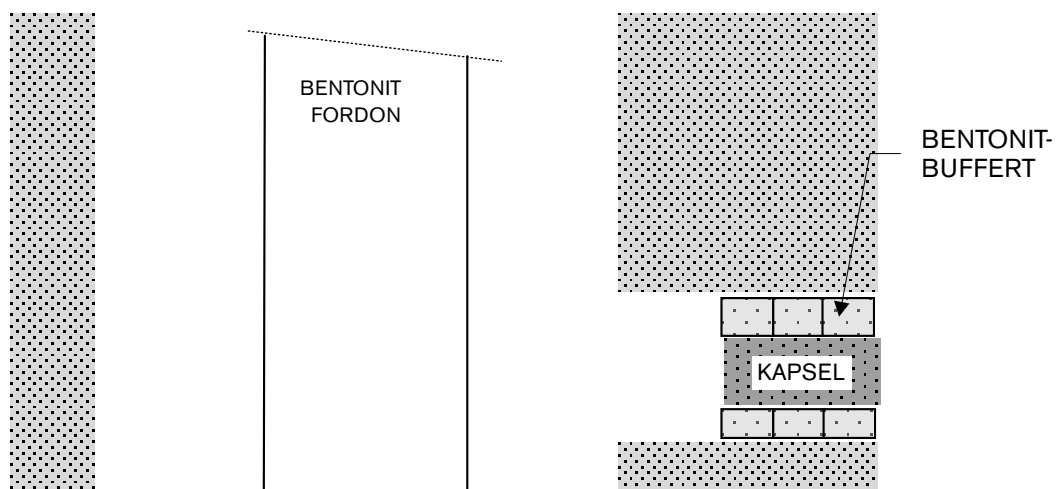
Bentonitfordonet har körts fram i position för att placera de yttersta bentonitblocken i deponeringshålet. Kapselns främre gavel är helt blottad. (Bentonitfordonet åker mellan aktuellt deponeringshål och centralområdet där fordonet lastas med bentonitblock.)



Bilagefigur 1-10. Steg 10 – situationsplan.

Steg 11

Bentonitfordonet har placerat bentonitblocken i deponeringshålet. Kapselns främre gavel är täckt av 2 500 mm bentonit.



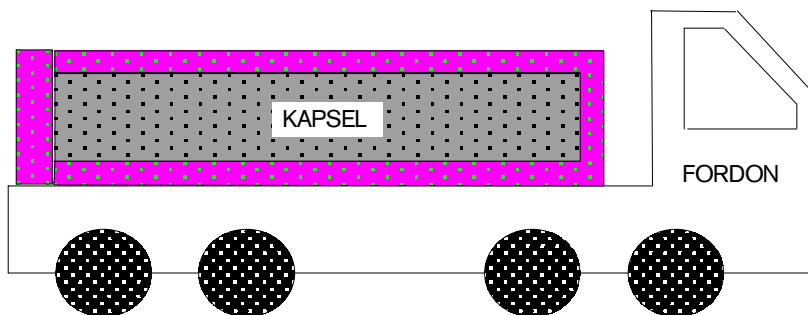
Bilagefigur 1-11. Steg 11 – situationsplan.

Beskrivning för teknik 1C+

I teknik 1c+ deponeras kapseln och bentonitbufferten vid skilda tidpunkter men kort efter varandra. Kapseln ligger i ett strålskydd.

Steg 1

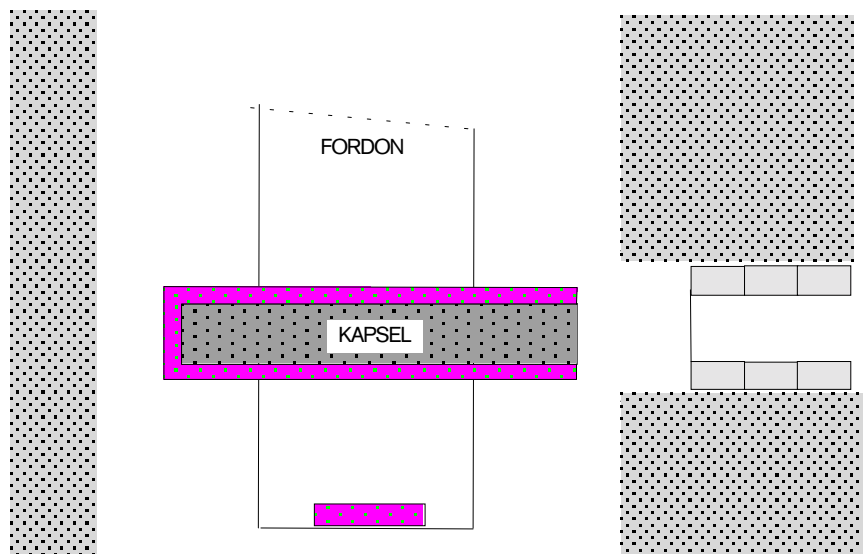
Transport från omlastningsplatsen på centralort till aktuellt deponeringshål. Kapseln omges under transport dels med ett sk laddningsrör (stål, $t = 15\text{--}20\text{ mm}$) dels med strålskydd på fordon nr 3.



Bilagefigur 2-1. Steg 1, situationsplan.

Steg 2

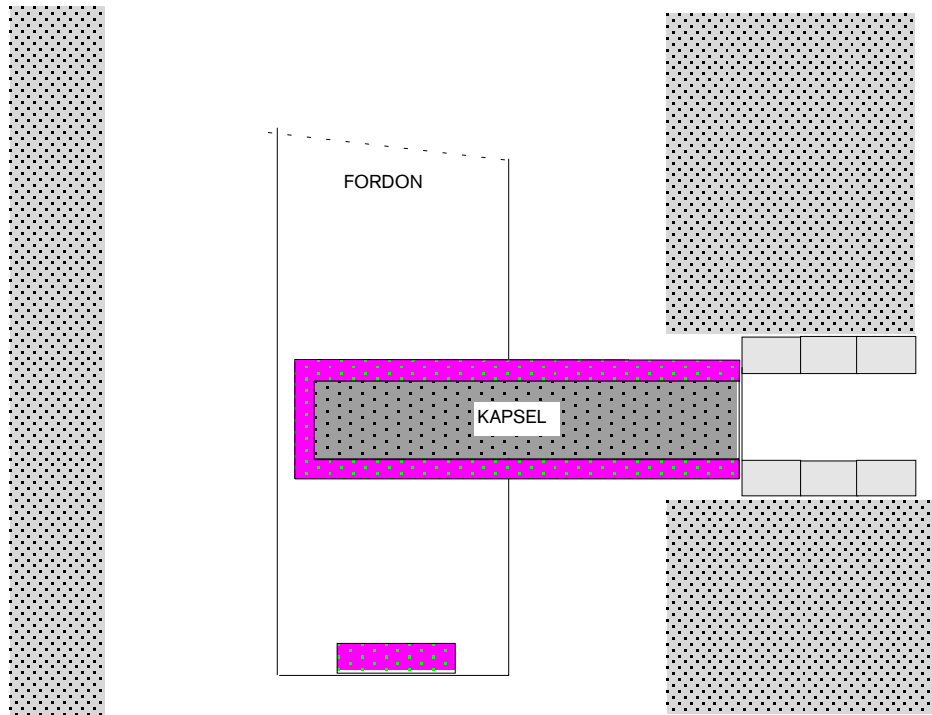
Strålskyddscylindern där kapseln är placerad inuti, roteras 90° i horisontalplanet och positioneras mitt för deponeringshållets mynning så nära som fordonsstyrningen medger. Framre strålskyddsgavel har öppnats eller borttagen. En bottenplugg och åtta ringelement av bentonit samt guideröret är placerade inuti deponeringshålet.



Bilagefigur 2-2. Steg 2, situationsplan.

Steg 3

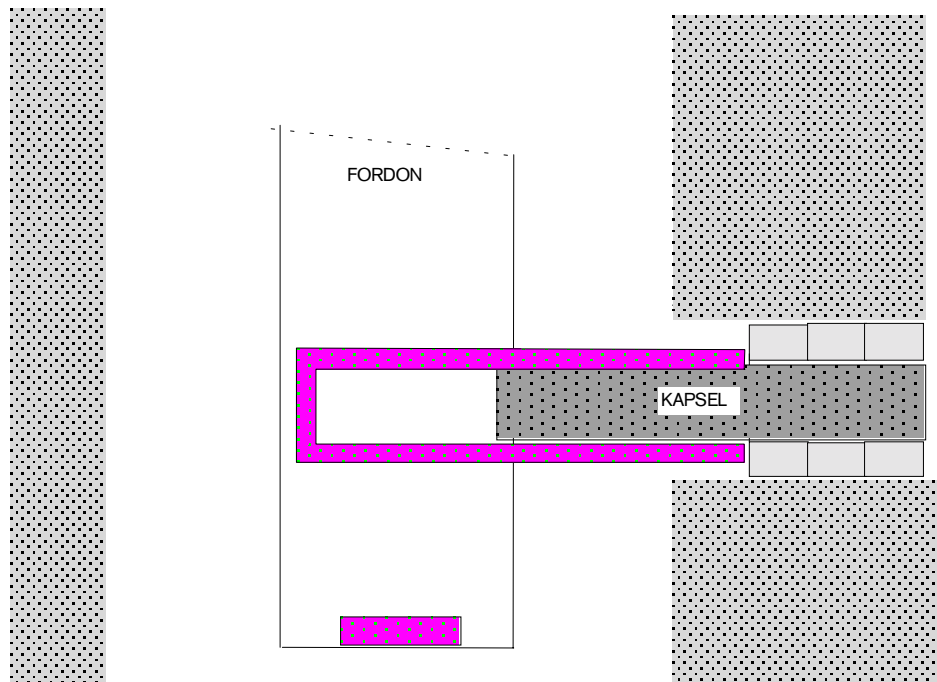
Laddningsröret förs in i hålet med hjälp av två parallellt löpande kulskruvar infällda i strålskyddet längs laddningsröret.



Bilagefigur 2-3. Steg 3, situationsplan.

Steg 4

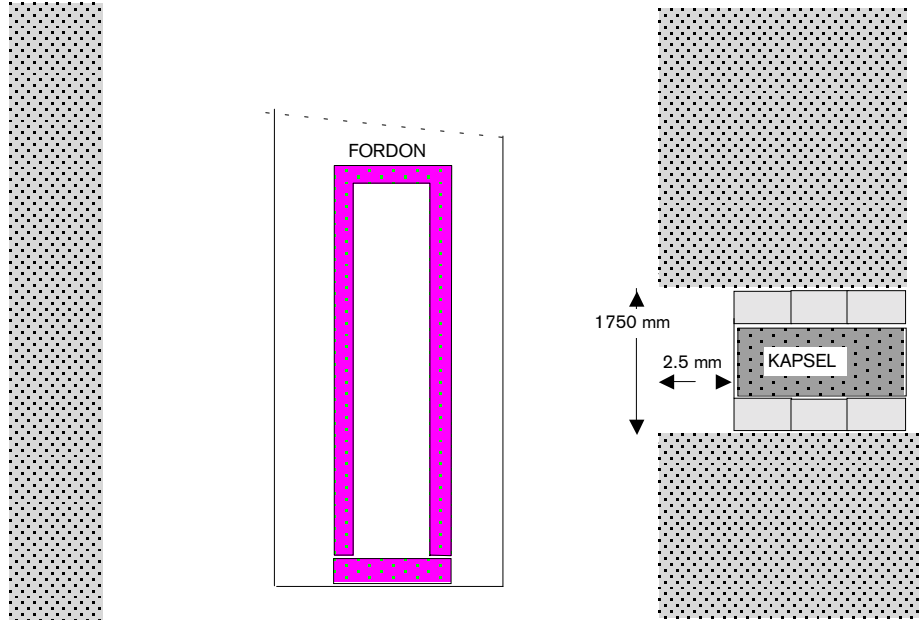
Kapseln skjuts in i deponeringshålet, in i guideröret som är placerat inuti bentonitringarna.



Bilagefigur 2-4. Steg 4, situationsplan.

Steg 5

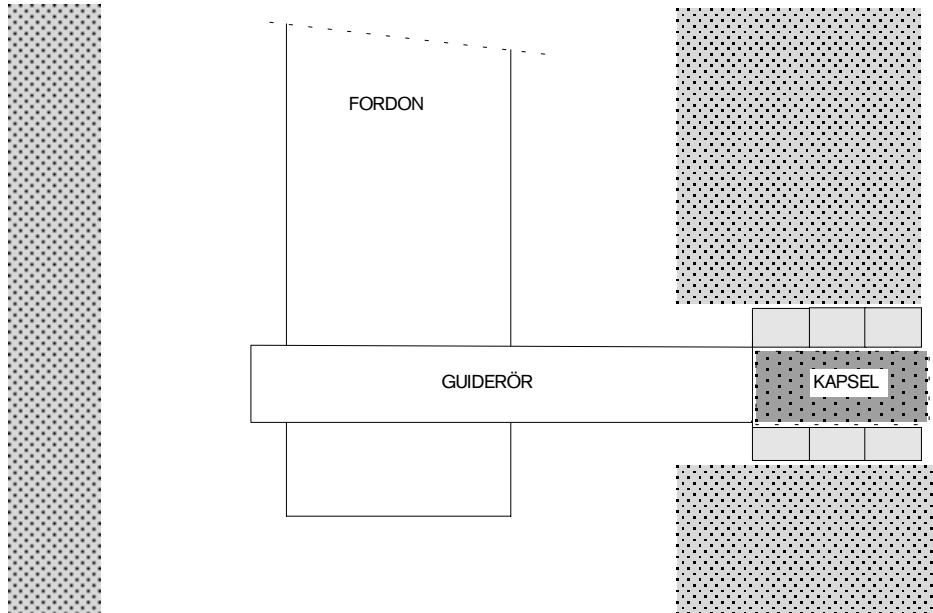
Kapseln är placerad i deponeringshålet. Deponeringsfordonet är redo att lämna platsen. Kapselns främre gavel är helt blottad. Deponeringshålets diameter är 750 mm. Kapselns yttre gavel är belägen 2,5 m in i deponeringshålet.



Bilagefigur 2-5. Steg 5, situationsplan.

Steg 6

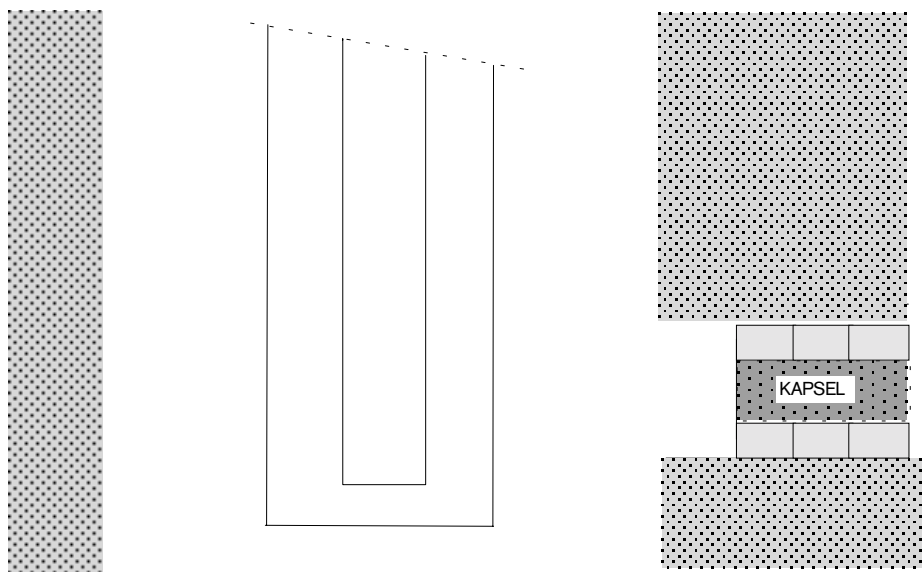
Fordon nr 2 drar ut guideröret från deponeringshålet. Kvar i hålet är kapseln och bentonitelementen. Kapselns främre gavel är helt blottad.



Bilagefigur 2-6. Steg 6, situationsplan.

Steg 7

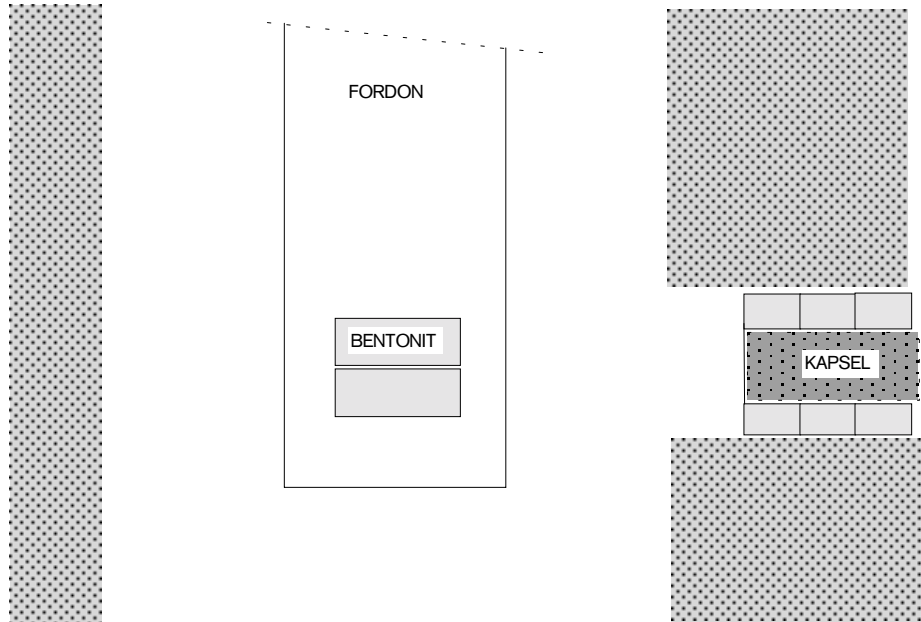
Fordon nr 2 är färdigt med borttagandet av guideröret. Fordonet beger sig till annan plats i deponeringstunneln. Kapselns främre gavel är helt blottad. Guideröret ligger helt öppet på fordon 2.



Bilagefigur 2-7. Steg 7, situationsplan.

Steg 8

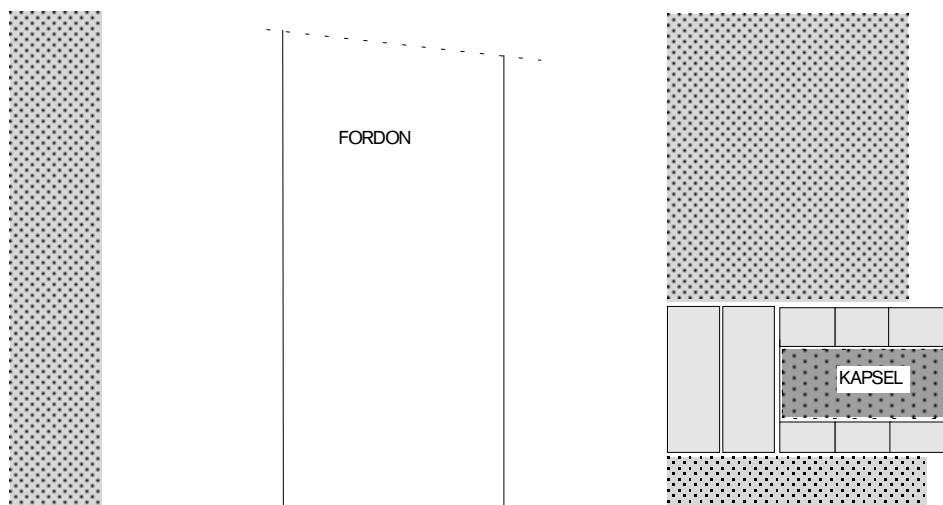
Fordon nr 1 i position för att placera bentonitpluggarna i deponeringshålet. Kapselns främre gavel är helt blottad.



Bilagefigur 2-8. Steg 8, situationsplan.

Steg 9

Fordon 1 har placerat bentonitpluggarna i deponeringshålet. Kapselns främre gavel är täckt av fyra stycken bentonitpluggar med total tjocklek av 2 420 mm.

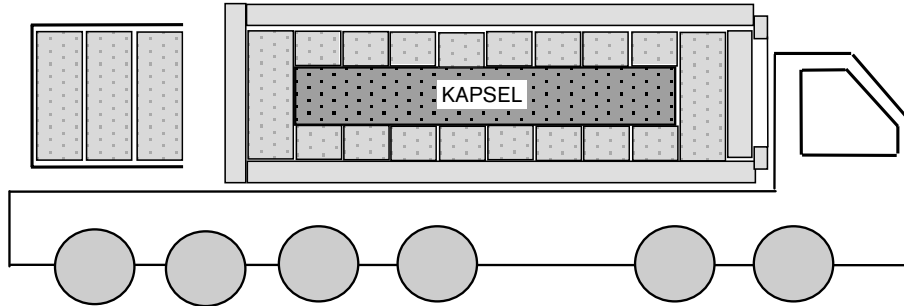


Bilagefigur 2-9. Steg 9, situationsplan.

Beskrivning för teknik 4C

Steg 1

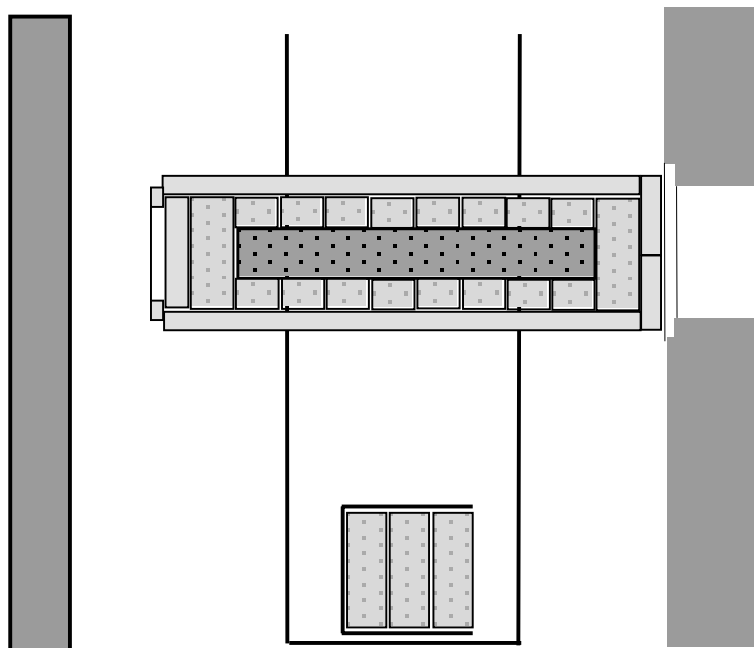
Transport från omlastningsplats till aktuellt deponeringshål. Kapseln har strålskydd.



Bilagefigur 3-1. Steg 1, situationsplan.

Steg 2

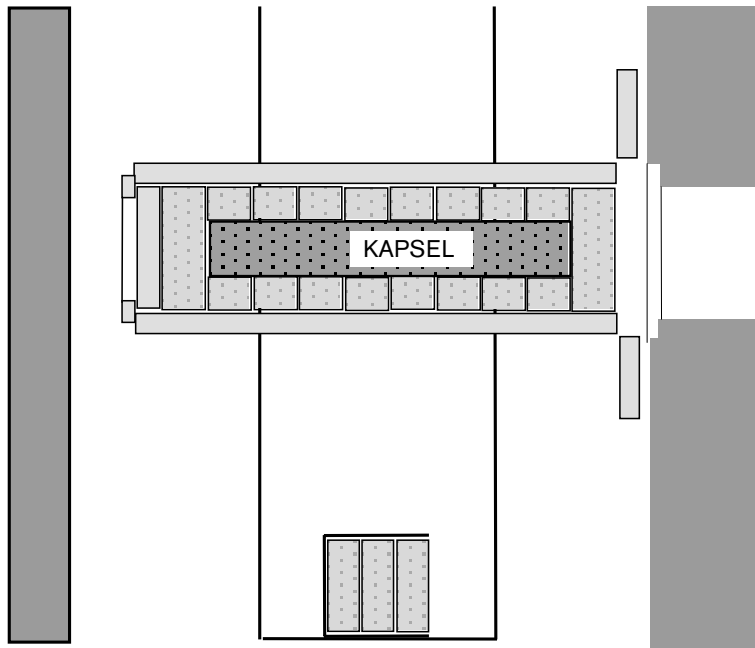
Fordonet är uppställt i deponerings/dockningsposition, kapsel med sin omgivning enligt 1 är roterad 90° i horisontellt plan.



Bilagefigur 3-2. Steg 2, situationsplan.

Steg 3

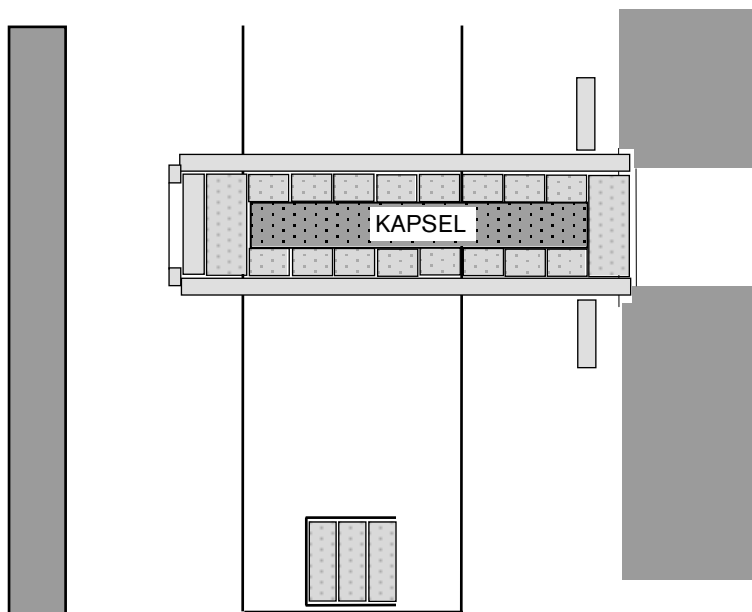
Främre strålskyddsgavel har öppnats.



Bilagefigur 3-3. Steg 3, situationsplan.

Steg 4

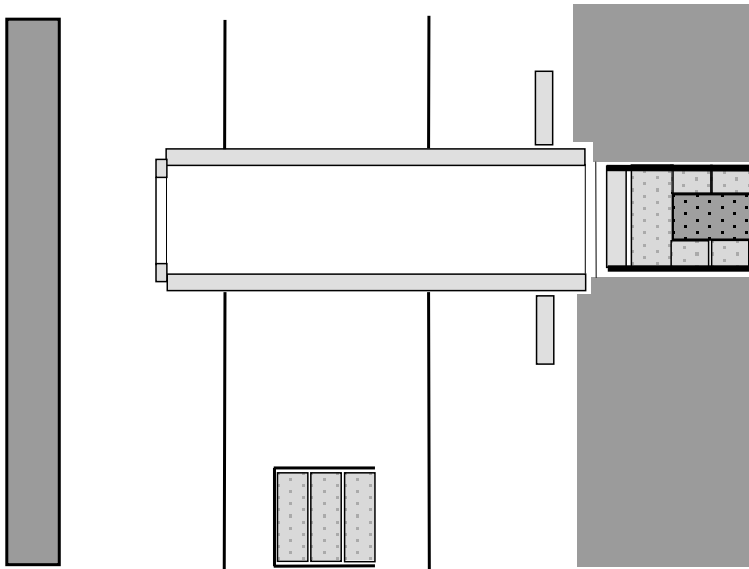
Hela paketet (kapsel, bentonit och strålskydd) skjuts in i bergförsänkning.



Bilagefigur 3-4. Steg 4, situationsplan.

Steg 5

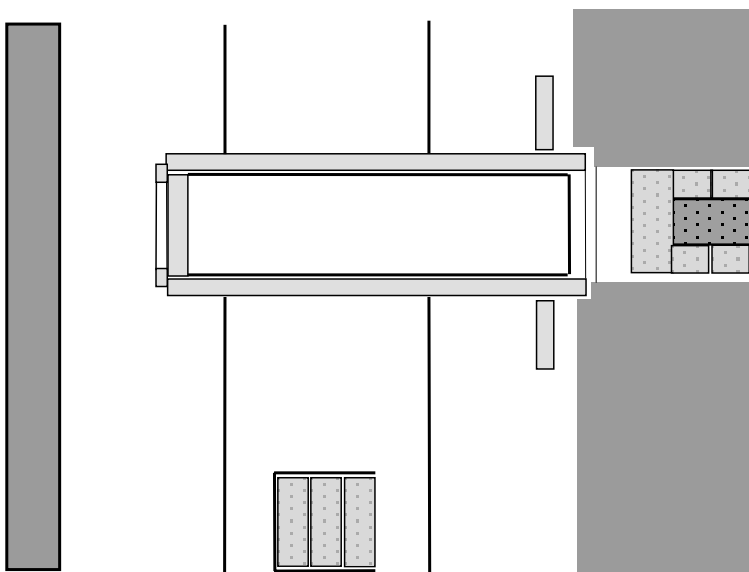
Kapsel, bentonit och det bakre strålskyddet, som utgör en del av laddningsröret, skjuts in i deponeringshålet. Laddningsröret ligger excentriskt i deponeringshålet vilket innebär att vid taket är det en cirka 100 mm luftspalt.



Bilagefigur 3-5. Steg 5, situationsplan.

Steg 6

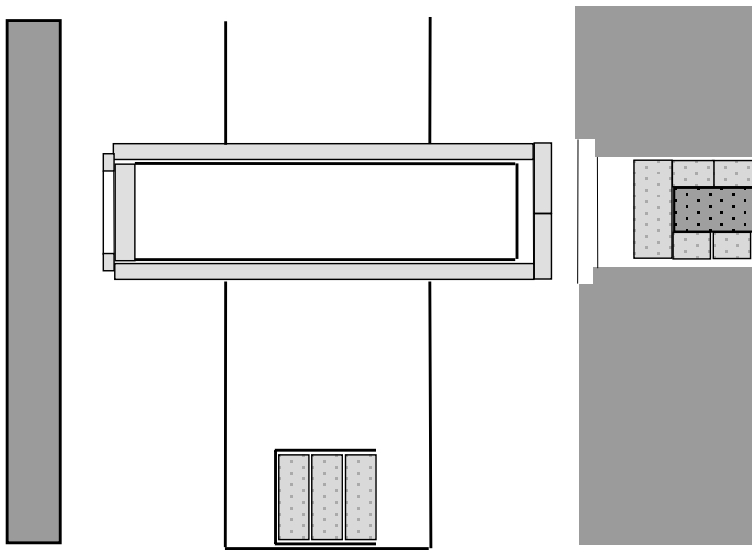
Kapsel och bentonit är placerat i deponeringshålet. Det bakre strålskyddet (laddningsröret) är tillbakadraget in i strålskyddet. Strålskyddet har i sin tur dragits ur bergförsänkningen. Den yttre bentonitpluggens tjocklek är cirka 0,6 m.



Bilagefigur 3-6. Steg 6, situationsplan.

Steg 7

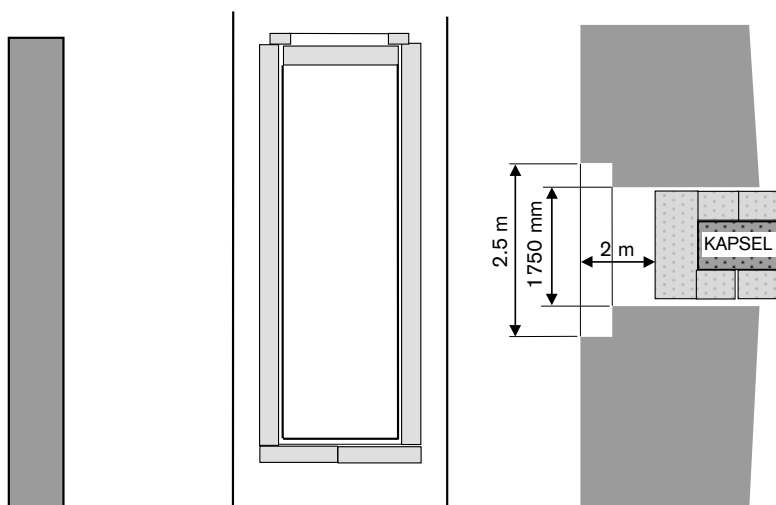
Främre strålskyddsgaveln har stängts.



Bilagefigur 3-7. Steg 7, situationsplan.

Steg 8

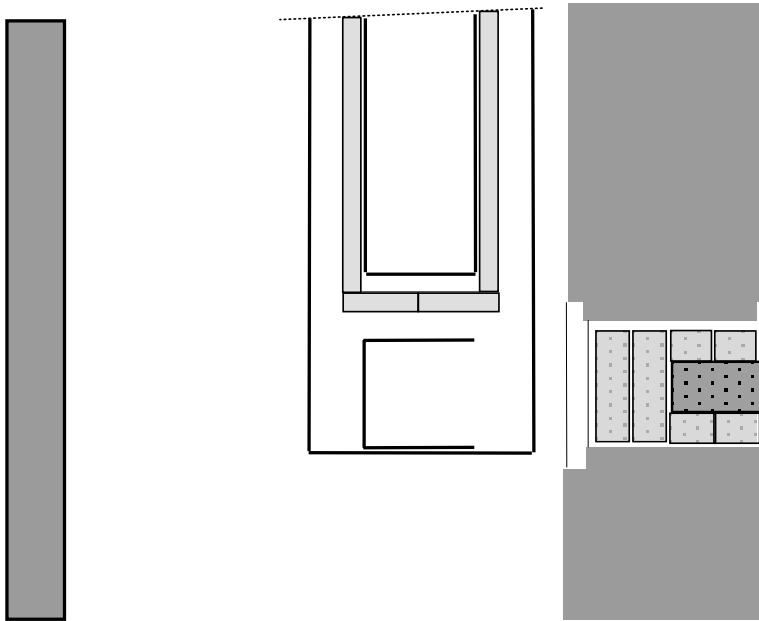
Strålskyddet har vridits tillbaka till transportläge. Vår bedömning: lågnivåstrålning/
högnivåstrålning. Styrning av nödvändiga applikationer: ?



Bilagefigur 3-8. Steg 8, situationsplan.

Steg 9

De sista bentonitpluggarna är på plats och utgör en tjocklek till kapseln på cirka 2,4 m.



Bilagefigur 3-9. Steg 9, situationsplan.

Strålskyddsaspekter vid deponering

I denna bilaga reproduceras de delar av Bengt Lönnerbergs rapport med referensnummer PP 96-801 (ABB Atom) och titeln:

SKB – Projekt JADE, Strålskyddsaspekter vid deponering – ÅF-Industri teknik

som berör deponeringsteknikerna 1c-, 1c+ samt 4c. I rapporten granskas dessutom en MLH teknik, MLH_{AF-I} . För denna del hänvisas till rapporten för deponering i medellånga deponeringshål.

I denna bilaga återges således följande dokument:

- huvudrapporten, med titel och referensnummer enligt ovan,
- rapportens bilagor H91, H92 och H93, som gäller teknikerna 1c-, 1c+ respektive 4c. ÅF-Industri teknik har beskrivit fyra skilda tekniker för horisontell deponering av kapsel med utbränt bränsle. I denna rapport har dessa studerats med avseende på strålningen från kapseln och de svårigheter strålningen kan orsaka under arbetet.

Alla stegen i teknikerna har studerats och resultatet redovisas i bilagorna H90 till H93.

Rapporten ger bakgrunden till strålskyddsaspekterna med forskrifter och beräkningsgrunder.

Uppgiften har inte varit att redovisa noggranna värden på dosraterna i de skilda situationerna, utan att med överslagsberäkningar ge ett underlag för en jämförande bedömning av olika tekniker, främst tekniker med och utan strålskärm kring kapseln.

Sammanfattningsvis visar studien svårigheter att klara vissa missöden och felfunktioner i de teknikerna där strålskydd kring kapseln saknas.

Bakgrund och underlag för strålskyddsstudien

Studiens syfte har inte varit att redovisa noggranna värden på dosraterna i de skilda situationerna, utan att med överslagsberäkningar ge ett underlag för en jämförande bedömning av olika tekniker, främst tekniker med och utan strålskärm kring kapseln.

Som utgångspunkt för studien har använts de av ÅF-Industri teknik sammanställda dokumenten "SKB Djupförvar, ÅF-I rapport M960090–M960093", teknikerna H90 till och med H93.

Underlaget för stråldosrater har varit ABB Atom PAF 96-021, Strålskyddsberäkningar för SKB inkapslingsanläggning. Denna har kompletterats med en beräkning för dosrater runt kapseln.

Föreskrifter och begränsningar

Strålskyddsföreskrifter

Den internationella strålskyddskommissionen, ICRP, utfärdar rekommendationer om högsta tillåtna stråldoser till olika personkategorier. ICRP Publication 60 (1990) redovisar de gällande rekommendationerna.

Kommissionens rekommenderade årsdosgräns för verksamhet med joniserande strålning är 50 mSv. Ambitionen skall vara att den årliga helkroppsdosen i medeltal till arbetare i kärntekniska anläggningar ej skall överstiga 5 mSv.

I ICRP 60 tillkommer en rekommendation att helkroppsdosen (effektiva dosekvivalenten) ska begränsas så att den under fem på varandra följande kalenderår inte överstiger 100 mSv.

De svenska strålskyddsföreskrifterna, som utfärdas av SSI och gäller för kärntekniska anläggningar, baserar sig på ICRPs rekommendationer.

Transportbestämmelser

Bestämmelserna för transport av radioaktivt material utanför kontrollerat område ger följande begränsningar: dosraten får vara högst 2 mSv/h på ytan eller 0,1 mSv/h på 2 meters avstånd.

Strålningszoner och begränsningar i tillträddbarheten

I tabellen nedan redovisas de strålningszoner med färgmarkeringar som används vid svenska kärntekniska anläggningar samt gängse begränsningar i tillträddbarheten för varje zon.

Zon, färgmarkering	Maximal dosratsnivå (mSv/h)	Tillträddbarhet
Vit	<0,003	Okontrollerat område, obegränsat tillträde
Blå	<0,01	Kontrollerat område, obegränsat tillträde (i praktiken max 40 timmar per arbetsvecka)
Gul	0,01–1,0 (0,2)*	Kontrollerat område, begränsat tillträde
Röd	>1,0	Kontrollerat område, begränsat tillträde under övervakning (normalt ej tillträde)

*) Strålskärmarna dimensioneras för att ge dosraten <0,2 mSv/h. Den övre gränsen hänför sig till komponentydoser.

Stråldosrater kring kapseln

Strålningsnivån kring kapseln har beräknats på avstånden 0,5 m och 2 m från kapselytan. Nivåerna framgår av figur 1. Beräkningarna utgår från de data som använts vid beräkningen för inkapslingsstationen, ABB Atom PAF 96-021. Uppgifterna gäller tiden 30 år efter uttag ur reaktorerna. Beräkningen har huvudsakligen gjorts för γ -strålning. Uppgifter för neutronstrålning har hämtats från en äldre beräkning och detaljeringsgraden har inte varit tillräcklig för att ange dosraten i alla punkter kring kapseln. Detta har dock ansetts vara tillräckligt för studien syfte.

Dosraten vid kapselns yta varierar kraftigt från punkt till punkt. Detta beror på att bränslets konfiguration i kapseln har hörn som ligger nära kopparytan, medan andra delar finns innanför en tjockare del av stålinsatsen. Kvoten mellan högsta och lägsta ytdosrat kan uppgå till cirka 100 för PWR-bränsle, men är mindre för BWR-bränsle. Maximivärdet är jämförbart för de båda bränslesorterna. På avståndet 0,5 m har skillnaden i stort sett jämnats ut. Detta avstånd torde i praktiken vara det närmaste man kan komma kapseln vid vissa korrigerande åtgärder på utrustning.

Strålningen från kapselns sida kommer nästan helt från bränslet medan den från gavlarna domineras av bränslets topp- och bottenplattor där Co-60 ger det starkaste bidraget. Bränslets γ -strålning är mjukare än den från topp- och bottenplattorna, vilket medför att skärmmaterial vid samma tjocklek skyddar effektivare åt sidan än vid gavlarna. Skillnaden syns i skärmningstabellen i följande text.

Använda skärmningsdata

De uppgifter som använts för de aktuella materialens skärmningsegenskaper ges i nedanstående tabell.

Skärmning med olika material

För en reduktion med en faktor 10 krävs följande tjocklekar.

Material	γ Co-60	γ bränsle	Neutroner
Stål	5,6 cm	3,9 cm	22 cm
Betong	18 cm	12,5 cm	22 cm
Polyeten	40 cm	28 cm	ca 15 cm
Torr bentonit	20 cm	14 cm	30 cm (prelliminärt)

Formler för överslagsberäkningar

F =dämpningsfaktor t =tjocklek $F=F_0^{t/t_0}$

Exempel – Om $F_0=10$ för $t_0=14$ cm (betong), vad blir F för $t=25$ cm? – $F=10^{25/14}$ _61

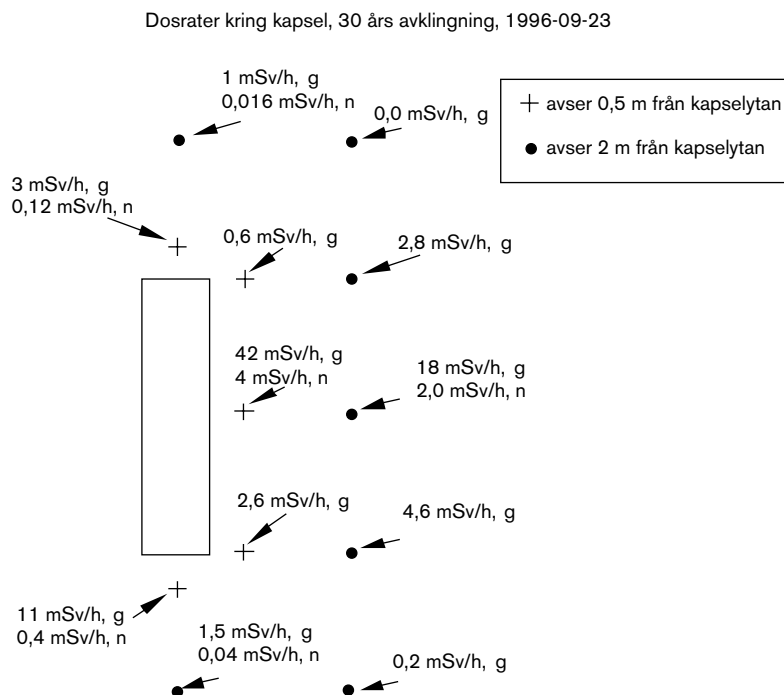
Bentonitens skärmning för neutroner, i tabellen markerad med (prel), har hämtats från en äldre beräkning för djupförvaret. Den bentonit som planeras idag kan ha en annan materialsammansättning, men för denna studie har ovanstående skärmningsvärde ansetts vara användbart. Det fel som kan uppstå beräknas inte påverka de slutsatser som kan dras av studien.

Resultat av studien

I bilagorna H90 till H93 visas resultatet av genomgången av dokumenten från ÅF-Industri teknik. Redovisningen består av två delar. Först anges erforderlig skärm samt dosraten i anslutning till kapseln vid de skilda hanteringsstegen. Därefter görs en preliminär analys av problemen vid fel och missöden.

De skärmtjocklekar som föreslås grundas på att dosraten i det normalt åtkomliga området ska understiga $10 \mu\text{Sv/h}$. Oftast avses då avståndet 2 m från kapseln men i vissa fall behöver åtgärder vidtas närmare och då har avståndet 0,5 m tillämpats. Detaljerna framgår av bilagorna.

Detaljerna i deponeringsutrustningens konstruktioner är givetvis inte kända på detta stadium. Vissa missöden är dessutom synnerligen osannolika. Redundans i funktionerna kan ofta ytterligare reducera risker för fel. Man bör dock kunna sammanfatta studiens resultat med att den visar svårigheter att komma ur vissa situationer med missöden och felfunktioner i de tekniker där strålskydd kring kapseln saknas.



Jade, strålskyddsstudier

Teknik H91

Dokument ÅF-I rapport M960091/1 och 91/2S

Karaktär Bentonitblock styckvis, guiderör och kapsel separat.
Ingen strålskärm, endast den skärmning kolvens cylinder ger.

Strålningsaspekter vid hantering

Steg 2 Kapseln uppställd i transportskärm i deponeringstunneln med gaveln blottad

Den blottade kapselgaveln, räknad som kapselns topp, ger en dosrat på 1 mSv/h på avståndet 2 m rakt framför kapseln och något lägre åt sidan. (Kapselbotten ger ännu något högre strålning.) Området är inte beträdbart, röd eller gul zon. Området utanför direktstrålningen, dvs vid kapselns sidor, där kapseln är skärmd av ytfordonets transportskärm, bör vara beträdbart med viss försiktighet. Reflekterad strålning från gaveln via ytor på deponeringsfordonet 3 bedöms inte bli besvärande stor.

Steg 3 och 4 Kapseln skjuts över till och forslas på deponeringsfordonet 3

Kapseln skärmas inte alls under överföringen till transporthöljet och därefter endast av transporthöljet som består av 25 mm stål. Strålningen runt höljet på 2 meters avstånd beräknas bli cirka 5 mSv/h γ och cirka 1–2 mSv/h neutroner. Området som inte är beträdbart sträcker sig tiotals meter från fordonet.

Under transporten kan en skärm på fordonet (t ex mellan kapsel och kraftaggregat) med en tjocklek av storleksordningen 15 cm stål och 10 cm polyeten göra nytta, så att området vid kraftaggregatet blir kortfristigt åtkomligt.

Steg 5 Kapseln vrids för deponering

Under vridningen in i deponeringshålet exponeras nästan hela kapselsidan mot deponeringstunneln, som får en ytterligare ökad strålning. Hela denna hantering måste alltså ske fjärrstyrt.

Steg 6 och 7 Kapseln skjuts in i deponeringshålet, deponeringsfordonet tas bort

Kapseln trycks in i deponeringshålet med en kolv som drivs av vattentryck. Under hela skedet är strålningen stark i deponeringstunneln. När kapseln kommit in i hålet skyddas tunneln av kolv och vatten och är beträdbar även framför hålet så länge kolven och vattnet finns kvar. En kolv av 13 cm stål ger ensam tillräckligt skydd för blå zon i deponeringstunneln.

Den strålning som kan komma ut i hörnet mellan cylinder och bentonit kan försummas eftersom den måste speglas mot bergväggen ett par gånger innan den når transporttunneln.

När kolv och vatten avlägsnats måste den del av tunneln, som är utsatt för direktstrålning från kapselns gavel, samt ett fåtal meter som kan få reflekterad strålning avlysas. Det blir cirka 1 mSv/h γ -strålning och cirka 0,01 mSv/h neutroner mitt för hålet.

Sidofrågor

Var förvaras allt vatten när det inte finns i cylindern? Hur tas kraften från drivningen upp? Ett stöd mot tunnelväggen behövs.

Steg 8 och 9 Utdragning av guideröret och bortkörning av guiderörsfordon 2

Strålsituationen när guideröret dras ut är densamma som i steg 7. Guiderörets 5 mm tjocklek ger inget påtagligt strålskydd.

Steg 10 och 11 Framkörning av fordon 1 och inplacering av bentonitpluggar

Kapselns bakre ände skärmas efter hand av bentonitblock. En bentonittjocklek på cirka 60 cm gör hela området beträdbart. Strålningen framför hålet i deponeringstunneln blir då cirka 1 μ Sv/h, vit zon.

Strålningsaspekter vid fel och missöden

Steg 3 och 4 Kapseln skjuts över till och forslas på deponeringsfordonet 3

Med kapseln i deponeringstunneln, oskärmad vid överföringen eller därefter skärmad endast av höljeröret, kan inga åtgärder vidtas på utrustningen som kräver manuell insats på platsen. Fel på kraftaggregatet kan möjligen avhjälpas genom att ett hjälpaggregat förs in fjärrstyrt och kopplar in sig på det befintliga. Därefter bör hela fordonet kunna dras ut ur tunneln och kapseln föras in i strålskydd under reparationsarbetet.

Andra fel förefaller svårare. Axelbrott kan kanske avhjälpas med fjärrstyrd domkraft på hjul. Bromsar låsta i bromsat läge är ett exempel på fall som måste lösas.

Ett förslag kan vara att man för in ett fordon som gränslar transportfordonet och lägger en U-formad strålskärm över kapseln. Erforderlig tjocklek blir ungefär 12 cm stål och 30 cm polyeten. Det kan dock bli svårt att skärma neråt, där manuella åtgärder kan bli aktuella.

Steg 5, 6 och 7 Kapseln vrids för deponering och skjuts in i deponeringshålet, deponeringsfordonet tas bort

Den oskärmade kapseln medför även här hinder för personalens lokala åtgärder. De fel som kan uppstå kan delas in i:

- 1 Fel som uppstår under vridningen i deponeringstunneln.
- 2 fel vid inskjutning av kapseln i deponeringshålet.

1. Fel som uppstår under vridningen i deponeringstunneln

Fordonet har placerats i rätt position och fel på dess rörelse fram till denna har hanterats ovan.

Under höljerörets vridning kan det fastna i ett mellanläge. Detta förefaller vara den situation som är svårast att avhjälpa. Fordonet kan inte dra ut röret och kapseln kan inte tryckas in i hålet. Fel på kraftaggregatet kan klaras på samma sätt som ovan. Justeringsutrustning för höjd- och sidläge för att hitta rätt deponeringslinje etc kan åtgärdas genom att höljeröret förs tillbaka. Fel på åkskenor, vridrörelsens vagnar och spår och dylikt är däremot punkter som inte finner någon lätt lösning. Personlig närvaro måste undvikas och i vart fall inskränkas till sekundskalan. En byggbar strålskärm, uppförd av en robot, vore möjlig men medger ändå inte åtkomlighet för höljerörets främre vagn eller spåret.

2. Fel vid inskjutning av kapseln i deponeringshålet

Fel av denna typ kan utgöras av:

- 2.1 Fel på höljerörets och kapselns drivning.
 - 2.2 Fel position.
 - 2.3 Hinder i guideröret.
 - 2.4 Fel då höljerör och deponeringsfordon förs tillbaka.
- 2.1 Fel på höljerörets drivning är ett problem likartat dem i vridningen ovan vad gäller åkskenor, vagnar och spår. När det gäller kedjans drivutrustning är dock möjligheten att komma åt utrustningen genom att bygga en skärm större, eftersom det finns ett litet avstånd mellan utrustning och kapsel.
 - 2.2 Fel position kan uppstå i höljets sido- och höjdläge. Även en felaktig vinkel på deponeringshålet och därmed guideröret ska beaktas. Strålningen omöjliggör lokal åtgärd. Enda lösningen verkar vara att dra tillbaka kapsel och fordon till omlastningsplatsen.
 - 2.3 Risken att kapseln stoppas pga hinder i guideröret synes liten. Guideröret förutsätts ha inspekterats innan kapseln kommer och risk för lös bentonit föreligger inte.
 - 2.4 Fel då höljerör och deponeringsfordon förs tillbaka. Denna situation är något enklare att hantera eftersom huvuddelen av fordonet är åtkomligt. Fel hos höljeröret i deponeringshålets mynning och den del av fordonet som finns mitt för deponeringshålet är dock svåra att avhjälpa. Kan kapseln redan från början förses med en temporär strålskärm, som tas bort tillsammans med guideröret? Detta skulle bara delvis förbättra situationen under transporten och i punkt 1.

Steg 8 och 9 Utdragning av guideröret och bortkörning av guiderörsfordon 2

Fel på guiderörets drivmekanism kan åtgärdas genom att den dras ut ur deponeringshålet. Kombinerar inte med låst grip. Om felet uppstår då guideröret är halvvägs utdraget och fordonet därvid inte kan flyttas är åtgärder svåra. Den ovan nämnda temporära strålskärmen hjälper. Fel på enbart gripmekanismen är trivialt.

Steg 10 och 11 Framkörning av fordon 1 och inplacering av bentonitpluggar

Fel vid insättning av de sista bentonitblocken. Fel på utrustningen liknar de fel som kan uppstå vid införseln av kapseln med samma typ av svårighet.

Bentonitblocken kan också fastna på vägen och måste eventuellt återtas. Hur detta sker har inte beskrivits. Det måste för det första blocket ske fjärrstyrt antingen med extra utrustning på bentonitfordonet eller med ett separat fordon. Bentonitfordonets vagn och landgång bedöms lätt kunna dras ut om ett block fastnar.

Fel vid kapselns återtagning efter hinder vid deponeringen. I denna deponeringsteknik har inte identifierats någon punkt där kapseln, sedan den kommit in i guideröret, skulle behöva dras tillbaka. Genom användning av röret har man tillförsäkrat sig att kapseln kan föras helt in utan hinder. Återtagning vid fel tidigare i kedjan har redan behandlats och där finns klara problem. Även om deponeringsarbetet inte har någon tidpress förefaller det svårt att komma ur vissa av de uppkomna situationerna. Fortsatt bearbetning krävs.

JADE, strålskyddsstudier

Teknik H92

Dokument ÅF-I rapport M960092/1 och 92/2S

Karaktär Bentonitblock styckvis, guiderör och kapsel separat.
Kapseln strålskärmad.

Strålningsaspekter vid hantering

Steg 1 Transport till deponeringshål

Under hela transportskedet ligger kapseln i ett strålskydd och deponeringstunneln är skyddad för strålning. Strålskyddet kan göras av 12 cm stål och 40 cm polyeten, som på 2 meters avstånd ger cirka 1 $\mu\text{Sv/h}$ γ -strålning och 1 $\mu\text{Sv/h}$ neutronstrålning, vit zon. (På ritningen kan cirka 175 mm strålskärm mätas; 175 mm stål är mer än tillräckligt för γ -strålning, men inte effektivt för neutroner.) Gaveln bör skyddas av 15 cm stål, ingen polyeten behövs eftersom neutronstrålningen i den riktningen är svag.

Steg 2 Strålskyddet med kapsel vrids

Gaveln framför kapseln bör inte tas bort förrän strålskydd och kapsel riktats mot deponeringshålet. Direktstrålningen från gaveln är cirka 1 mSv/h på 2 m avstånd, röd zon. Man måste alltså hindra att direktstrålning från gaveln går ut i tunneln, om denna ska vara beträddbar. Då kapseln riktats mot deponeringshålet kan reflekterad strålning från hålet möjligen uppgå till något tiotal $\mu\text{Sv/h}$, dvs det finns risk för att det överstiger tillåtet värde för blå zon. Personal kan dock vistas i närheten utan att extra skärmar sätts in.

Steg 3 och 4 Laddningsröret förs in i deponeringshålet och kapseln skjuts in

Laddningsröret, som med sina 15–20 mm stål inte har tillräckligt strålskärmande funktion, följer med kapseln in till kontakt med guideröret. Det får inte bli en spalt mellan strålskyddet och deponeringshålet, där strålning från kapseln genom det tunna laddningsröret kan komma ut till deponeringstunneln. Strålskyddet måste alltså föras fram så nära hålet så att direktstrålning från laddningsröret undviks. Reflekterande strålning genom spalten kan försummas. Om spalt inte kan undvikas får man skärma av den med cirka 10 cm stål och 40 cm polyeten.

Strålningen genom spalten minskar då kapseln trycks in i guideröret, men när kolv, vatten och laddningsrör avlägsnats får en begränsad del av tunneln en strålnivå på cirka 1 mSv/h och måste avlysas (röd zon). Vid borttagningen av guideröret kan personal vistas på litet avstånd från hålet i tunneln.

Sidofråga

Laddningsröret på rullkroppar går, drivet av kuls kruvar, in i deponeringshålet. Hur tas kraften från drivningen upp? Ett stöd mot tunnelväggen behövs. Kapseln trycks ut ur laddningsröret och in i deponeringshålets guiderör med en kolv som drivs av vattentryck. Var förvaras allt vatten när det inte finns i cylindern?

Steg 5, 6 och 7 Deponeringsfordonet förs bort, guideröret dras ut av fordon 2 och förs bort

Situationen är densamma som i teknik H 91. Direktstrålning från kapselns gavel blir cirka 1 mSv/h γ -strålning och cirka 0,01 mSv/h neutroner i deponeringstunneln mitt för hålet. Ett fåtal meter kring detta kan få reflekterad strålning och kan beträdas endast kortfristig.

Steg 8 och 9 Bentonitpluggar placeras i deponeringshålet

Kapselns bakre ände skärmas efter hand av bentonitblock. En bentonittjocklek på cirka 60 cm gör hela området beträdbart. Strålningen framför hålet i deponeringstunneln blir då cirka 1 μ Sv/h, vit zon.

Strålningsaspekter vid fel och missöden

Steg 1 Transport till deponeringshål

Så länge kapseln ligger i strålskärmen är åtkomligheten god om strålskyddet har de dimensioner som anges ovan. Miljön kring strålskärmen motsvarar vitt till blått område.

Steg 2, 3, 4 och 5 Strålskyddet med kapsel vrids, laddningsröret förs in i deponeringshålet, kapseln skjuts in och deponeringsfordonet förs bort

Eftersom kapseln under hela hanteringen ligger i strålskärmen kan fel på utrustningen åtgärdas utan begränsning av strålskäl. Strålskärmen bör dock följa med in i hålet för att ingen direktstrålning från kapseln ska nå deponeringstunneln. Se ovan.

Fel vid inskjutning av laddningsröret i deponeringshålet. Fordonet har placerats i rätt position och fel på dess rörelse fram till denna kan åtgärdas genom att åtkomligheten med hänsyn till strålning är god.

Laddningsröret kan fastna i mellanläge. Fordonet kan inte dra ut röret och det kan inte tryckas in i hålet. Man förutsätter också att kvarstående sträcka till guideröret är för stor för att kapseln ska kunna tryckas in. Möjliga fel kan delas i två typer, fel på utrustningen i deponeringstunneln och fel i deponeringshålet.

Den förra typen kan klaras eftersom strålskyddet skärmar. Om längre tids arbete förutses kan man temporärt skärma av den sneda strålningen från deponeringshålet på sätt som nämnts ovan.

Fel i deponeringshålet, t ex en rullkropp som fastnar, är svårare med hänsyn till strålningen. Personlig närvaro, som är svår redan pga geometrin, måste undvikas eller i vart fall begränsas i tiden. Troligen måste man tvinga tillbaka laddningsröret med hjälp av temporär utrustning. En viss risk för att rullkroppen är snedställd och kilar fast röret finns dock. En annan möjlighet är att försöka trycka in kapseln i guideröret trots att den inte är tillräckligt långt framme. Risken är även då att felet på rullkroppen orsakat fel läge på laddningsröret så att kapseln inte kan centreras. Kan man med fjärrstyrning lyfta laddningsröret med en domkraft, lossa och ta bort rullkroppen? Som sista möjlighet återstår att borra bort berg.

Fel vid intryckning av kapseln i guideröret. Fel av denna typ kan utgöras av:

- 1 Fel på kapselns drivning.
 - 2 Fel position.
 - 3 Hinder i guideröret.
 - 4 Fel då laddningsröret förs tillbaka.
 - 5 Fel vid kapselns återtagning efter hinder vid deponeringen.
- 1 Fel på kapselns drivning bör inte vara något problem eftersom åtkomligheten för utrustningen är god.
 - 2 Fel position kan uppstå i laddningsrörets sido- och höjdläge. Vilken justermöjlighet finns eller behöver finnas? Vid fel kan man dra tillbaka kapsel och laddningsrör för åtgärd.
 - 3 Risken att kapseln stoppas på grund av hinder i guideröret synes liten. Guideröret förutsätts ha inspekterats innan kapseln kommer och risk för lös bentonit föreligger inte.
 - 4 Ett fel i drivutrustningen är enkelt att hantera eftersom huvuddelen av fordonet är åtkomligt. Fel hos laddningsröret i deponeringshålet och den del av utrustningen som finns i strålskärmen mitt för deponeringshålet är dock svåra att avhjälpa. Kan kapseln redan från början föras med en temporär strålskärm, som tas bort tillsammans med guideröret? Detta skulle förbättra situationen i denna punkt och punkt 2 och steg 6.
 - 5 I denna deponeringsteknik har inte identifierats någon punkt där kapseln, sedan den kommit in i guideröret, skulle behöva dras tillbaka. Genom användning av röret har man tillförsäkrat sig att kapseln kan föras helt in utan hinder. Återtagning vid fel tidigare i kedjan har redan behandlats och där finns visst problem vid låst laddningsrör, men lösning finns, eftersom åtkomligheten i denna teknik är tämligen god och den kan förbättras med temporära åtgärder.

Steg 6 och 7 Guideröret dras ut av fordon 2 och förs bort

Fel vid utdragning av guideröret. Fel på guiderörets drivmekanism kan åtgärdas genom att den dras ut ur deponeringshålet. Kombinerar inte med låst grip. Om felet uppstår då guideröret är halvvägs utdraget och fordonet därvid inte kan flyttas är åtgärder svåra. Den ovan nämnda temporära strålskärmen hjälper. Fel på enbart gripmekanismen är trivialt.

Steg 8 och 9 Bentonitpluggar placeras i deponeringshålet

Fel vid insättning av de sista bentonitblocken. Fel på utrustningen liknar de fel som kan uppstå vid införseln av kapseln med samma typ av svårighet.

Bentonitblocken kan också fastna på vägen och måste eventuellt återtas. Hur detta sker har inte beskrivits. Det måste för det första blocket ske fjärrstyrt antingen med extra utrustning på bentonitfordonet eller med ett separat fordon. Bentonitfordonets vagn och landgång bedöms lätt kunna dras ut om ett block fastnar.

Sammanfattning

Strålskärmen bör utföras så att full åtkomlighet uppnås runt skärmen och fordonet. Förslagsvis används cirka 12 cm stål och 40 cm polyeten. Området 2 m från kapseln motsvarar då vit zon.

JADE, strålskyddsstudier

Teknik H93

Dokument ÅF-I rapport M960093/1 och 93/2S

Karaktär Bentonit och kapsel i ett paket
 Bentoniten och en stålcylander tjänar som strålskärm

Strålningsaspekter vid hantering

Steg 1 och 2 Transport till deponeringshål och vridning vid hålet

Kapseln är allsidigt skärmad av bentonit och strålskyddscylander. Bentonitringarnas tjocklek antas vara 29 cm och bentonitblocken vid kapselns gavlar antas vara 60 cm tjocka. Strålskyddet bör skärma till en nivå på högst 10 $\mu\text{Sv/h}$ på 2 meters avstånd. Cylindern kan då göras av 4 cm stål och 25 cm polyeten för att vistelse i närzonen under större delen av arbetstiden ska vara möjlig (blå zon). Det ger en dosrat på 2 meters avstånd på cirka 2 $\mu\text{Sv/h}$ för γ och cirka 3 $\mu\text{Sv/h}$ för neutroner. (En stålcylander med 200 mm tjocklek som kan mätas på ritning ger ett gott skydd för γ men det räcker inte för neutroner.) Laddningsröret ger i några riktningar ett skärmande bidrag, som inte har räknats in. Bentonitpluggarna vid kapselgavlarna ger blå zon 2 m från kapseln utan strålskydd. Strålskyddets gavlar kan alltså undvaras eller göras tunna.

Steg 3–6 Främre strålskyddsgaveln öppnas och stålcyldern skjuts in i bergförsänkningen, bentonit-kapselpaketet skjuts in i hålet och laddningsröret dras ut

Stålcyldern öppnas mot deponeringshålet genom att stålloket/gaveln förs undan. Cylindern dockas mot försänkningen i deponeringshålet och kapselpaketet förs in. Om dockningen är så effektiv att ingen direktstrålning från paketet når tunneln blir det ingen strålning i deponeringstunneln under hanteringen.

Den bakre gaveln behövs inte ur strålsynvinkel, eftersom bentonitpluggen ger tillräckligt skydd. När stålcyldern dragits tillbaka finns bentonitpluggen kvar som en tillräcklig skärm mot deponeringstunneln och denna blir beträddbar utan restriktioner.

Med en strålskärm enligt ovan ligger kapseln skyddad under hela processen med god åtkomlighet för åtgärder. Miljön vid strålskärmen motsvarar okontrollerat område (vitt) för kärnteknisk verksamhet, men ligger nära gränsen till blått. Kontinuerligt arbete är möjligt.

Steg 7–9 Stålcyldern förs bort och bentonitpluggarna förs in

Denna hantering sker i deponeringstunneln som nu inte har någon strålning.

Strålningsaspekter vid fel och missöden

Steg 1 och 2 Transport till deponeringshål och vridning vid hålet

Med kapseln skärmad i transporttunneln kan alla fel på utrustningen rättas till utan strålproblem. Här förutsätts givetvis att skärmen är tät, att det inte finns springor i skärmen som ger lokal dosrat.

Risken att kapseln friläggs på grund av något missöde bedöms som obefintlig med normal omsorg vid konstruktion och tillverkning av strålskärm och vaggor.

Steg 3-6 Främre strålskyddsgaveln öppnas och stålcyllindern skjuts in i bergförsänkningen, bentonit-kapselpaketet skjuts in i hålet och laddningsröret dras ut

Eftersom kapseln under hela hanteringen ligger i strålskärmen kan fel på utrustningen åtgärdas utan att strålningen behöver beaktas.

De fel som kan uppstå kan delas in i:

- 1 Fel som uppstår i deponeringstunneln.
- 2 Fel vid inskjutning av kapselpaketet i deponeringshålet.
- 3 Fel vid vridmanöver med laddningsröret.
- 4 Fel vid kapselns återtagning efter hinder vid deponeringen.

1. Fel som uppstår i deponeringstunneln

Alla fel som uppstår i deponeringstunneln kan avhjälpas utan hänsyn till strålning.

2. Fel vid inskjutning av kapselpaketet i deponeringshålet

Fel av denna typ kan utgöras av:

- 2.1 Fel på kapselpaketets drivmekanism.
- 2.2 Fel position.
- 2.3 Hinder i deponeringshålet.

2.1 **Fel på kapselpaketets drivmekanism** avhjälpas i deponeringstunneln och de yttre delarna utgör inget problem. Kulskruvorna finns dock innanför strålskyddet och där finns bara bentoniten som skydd. Fel på kulskruvorna kan åtgärdas med tidsbegränsat tillträde. Om paketets förflyttning redan påbörjats och kulskruvfel hindrar återtagning, blir fordonet låst. Om reparationen bedöms kräva längre tids vistelse innanför stålskärmen bör man överväga att applicera en yttre utrustning genom ett hål i strålskyddets gavel, typ domkraft, som trycker in paketet i hålet.

2.2 **Fel position** kan uppstå i fordonets läge och i höjdläget. Även en felaktig vinkel på deponeringshålet ska beaktas. Fordonsläget justeras manuellt. Höjdlägesfel kan bero på fel i mekanismen för höjdlägesjustering eller i bristningar i materielen. Båda hör till fel i deponeringstunneln och de ger inget strålskyddsproblem.

- 2.3 **Om kapselpaketet stoppas på grund av hinder i deponeringshålet** skiljer man på två situationer: kan paketet dras tillbaka eller ej. Det första fallet är trivialt, eftersom kapseln fortfarande är skärmd av bentonit och rimligen kan dras tillbaka in i stål-cylindern. Det senare fallet måste lösas både med paketet delvis inne i deponeringshålet och helt inne. Det som skiljer dessa båda situationer är om transportfordonet blir låst eller inte. Oavsett vilket bör specialverktyg kunna föras fram och sättas på fordonet eller i tunneln och med "rå kraft" kan paketet dras ut och placeras på fordonet. Jämför punkt 2.1. Eftersom paketet hela tiden kan antas ligga skyddat av deponeringshålet och stål-cylindern utgör strålningen inget problem.

Hinder under inskjutningen kan t ex uppstå på grund av brottstycken av bentonit i hålet. Ett brottstycke kan låsa laddningsröret. Rullkropparna kan också gå sönder eller låsas på annat sätt. Om röret kan dras tillbaka är situationen enkel. Efter rensning av hålet eller reparation av rullkroppar återupptas deponeringsproceduren. Om röret inte kan dras tillbaka, måste man anbringa extra utrustning som med våld antingen trycker in röret tills fordonet kan flyttas undan eller drar tillbaka röret in i stål-cylindern. Stål-cylindern bör vara öppningsbar så att sådan utrustning kan sättas in. Bentoniten utgör tillräckligt strålskydd för manuell närvaro i åtminstone minutskalan.

- 3 **Fel vid vridmanöver med laddningsröret.** Fel på laddningsrörets drivmekanism behöver inte diskuteras eftersom det bör vara möjligt att dra ut aggregatet för åtgärd. Om greppet i laddningsröret inte kan lossas och aggregatet därmed låses, ger bentoniten strålskydd för manuella åtgärder i tunneln.
- 4 **Fel vid kapselns återtagning efter hinder vid deponeringen.** Detta kan betraktas som av varandra oberoende dubbelfel och på grund av den synnerligen låga sannolikheten brukar konsekvenser av sådana normalt inte tas upp. I deponeringsarbetet saknas den tidspress som brukar vara viktig i andra sammanhang. Här har man gott om tid att planera och genomföra korrigerande åtgärder, varvid även strålskyddsaspekten kan penetreras noggrant.

Så länge bentoniten är intakt är åtkomligheten god för de flesta korrigerande åtgärder. Ett nästa steg är ett tänkbart men osannolikt scenario där kapseln dras ur deponeringshålet utan strålskärm. Den bör då med fjärrstyrd utrustning kunna dras ut till transportfordonet som för den till omlastningsområdet, där den, fortfarande fjärrstyrt, bör skjutas in i en strålskärm eller i ett transportfordon med sådan skärm.

En närliggande fråga är om en grip kan få ett sådant fäste vid kapseln att det är möjligt att dra den tillbaka. Om fästet lossnar blir troligen kapselns gripkant deformationerad. Strålningen från kapselytan blir knappast högre men manuell närvaro är omöjlig. En skyttel med utrustning för att borra sig in i koppargodset kan sättas in. En sådan borrhning kan göras utan att koppargodsets tätning äventyras. Därefter appliceras skruvar och kapseln kan dras ut och in i en strålskärm på deponeringsvagnen. Vidare åtgärder bestäms då skadan inspekterats. En återföring till inkapslingsanläggningen för omsvetsning kan vara den yttersta hjälpen.

Feleffektanalys

I en feleffektanalys bryts först deponeringsprocessen upp i diskreta steg som kallas aktiviteter. I nästa etapp identifieras de olika typer av fel som kan störa en normaldrift och som måste avhjälpas för att deponeringen skall kunna fortgå. För varje fel utgår man från ett värsta tänkbara fall. Vad som orsakar felet tas inte upp.

I denna bilaga redovisas feleffektmatrisen för de tre teknikerna:

- 1c-, Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse vid deponeringshålet.
- 1c+, Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Lavetrörelse vid deponeringshålet.
- 4c, Deponering av strålskyddad kapsel i två paket med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavetrörelse vid deponeringshålet.

Matrisens rubriker är följande:

Aktivitet	Olika funktioner i deponeringsprocessen.
Feltyp	Namngiven feltyp med benämning antingen av möjliga bakomliggande orsak eller av felets synliga form.
Strålning	Förekomst av strålning under åtgärd.
Åtgärd	Namngiven åtgärd eller karaktären av föreslagen åtgärd för att kunna avhjälpa namngiven feltyp.
Konsekvens	Värdering av konsekvenserna som beror på feltyp och åtgärd. Kvantifieringen görs med användning av nedanstående skala.

Insatsen för att rätta till felet värderas kvantitativt på en tregradig skala med avseende på:

- Tidsåtgången för åtgärden (T),
- Strålningsteknisk säkerhet vid avhjälpandet (S) samt
- Resursbehov för avhjälpandet (R).

Skalan är relativ: värderingen görs relativt andra tekniker och andra moment i processen. Värderingen beror givetvis också på uppdelningen av processen i aktiviteter.

Tidsåtgång

T = 1	mindre än en dag
T = 2	från två till fem dagar
T = 3	mer än fem dagar

Säkerhet

- S = 1 inga extra säkerhetsåtgärder med avseende på strålning krävs
- S = 2 vissa extra säkerhetsåtgärder med avseende på strålning krävs
- S = 3 betydande extra säkerhetsåtgärder med avseende på strålning krävs

Resursbehov

- R = 1 driftspersonal
- R = 2 reparationspersonal
- R = 3 extraordinära insatser

Dessa så kallade TSR-koder summeras och bearbetas så att de olika deponeringstekniken kan jämföras ur strålskyddssynpunkt.

De två nyckeltalen som använts är:

TSR_A : summan av antalet gånger parametrarna T, S, eller R gavs ett värde "3" under genomgången av processen aktivitet för aktivitet.

S: summan av antalet gånger parametern S gavs värdet "2" och två gånger antalet gånger den gavs värdet "3". Till exempel, om S=3 i en aktivitet och S=2 i tre aktiviteter blir nyckeltalets värde fem.

Tabell 1. Feleffektmatrisen för teknik 1c-, Deponering av ej strålskyddad kapsel ”i delar” med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse vid deponeringshållet.

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
1	Bentonitfordon Transport av bentonitringar och bottenblock.	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normal fordonsteknisk åtgärd.	T=1 S=1 R=1
2	Bentonitfordon Fordon stannar vid aktuellt deponeringshål. Positionering.	Felaktig uppställning: a) Fel på navigeringssystem. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identitet. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärdena.	T=1 S=1 R=1
3	Bentonitfordon Inläggning av bentonitringar och bottenblock. följder t ex:	Störning i vagnfunktionen med olika a) stopp b) vält bentonitring/block	Nej	Personalen kan agera fritt mht strålning utan restriktioner.	T=1 S=1 R=1
4	Fordon för guiderör Transport av guiderör	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normal fordonsteknisk åtgärd.	T=1 S=1 R=1
5	Fordon för guiderör Fordon stannar vid aktuellt deponeringshål. Positionering.	Felaktig uppställning: a) Fel på navigeringssystemet. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identitet. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärdena.	T=1 S=1 R=1
6	Fordon för guiderör Inläggning av guiderör.	Rörelsehindrande fel: a) Fel på utrustningen (mekaniskt eller elektriskt) som hindrar arbetet. b) Placerade bentonitringar skadas trots en felfri positionering steget innan.	Nej	a) Personalen kan agera fritt mht strålning utan restriktioner. b) Ändring av bentonitringarnas nominella mått: Nominellt Rekomm Inv: 1 070 1 095 Utv: 1 650 1 675	T=2 S=1 R=2
7	Deponeringsfordon Transport från omlastning till deponeringshål.	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Ja	a) Användning av fjärrstyrd robot. b) Personal med eget strålskydd.	T=2 S=3 R=3 Incident typ E
8	Deponeringsfordon Fordon stannar vid aktuellt deponeringshål. Positionering.	Felaktig uppställning. a) Fel på navigeringssystem b) Fel på fordonets avkodare.	Ja	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identitet. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärdena.	T=2 S=3 R=3

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
9	Deponeringsfordon Införing av kapseln med hjälp av Cardano-rörelse.	Rörelsehindrande fel. a) Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex: elfel). b) Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter).	Ja	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om vilken typ av fel som uppstått. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och winschmöjlighet.	T=3 S=3 R=3 Incident typ A, B, C, D, E (Se avsnitt 5.1.1–5.1.5)
10	Deponeringsfordon Inmatning i guideröret	Rörelsehindrande fel. a) Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex: elfel). b) Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter).	Ja	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om vilken typ av fel som uppstått. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och winschmöjlighet.	T=3 S=3 R=3
11	Deponeringsfordon Returgång av tom utrustning.	Rörelsehindrande fel. a) Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex: elfel). b) Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter).	Ja	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om vilken typ av fel som uppstått. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och winschmöjlighet.	T=2 S=2 R=2
12	Fordon för guiderör Fordon stannar vid aktuellt deponeringshåll. Positionering.	Felaktig uppställning. a) Fel på navigeringssystemet. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej*	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshålls identitet. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärdena.	T=1 S=2 R=1

* Förutsatt att personalen inte kommer i närheten av deponeringshållets mynning. Administrativ åtgärd (se avsnitt 4.1.1).

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
13	Fordon för guiderör Återtag av guiderör	Rörelsehindrande fel. a) Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex: elfel). b) Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter).	Nej*	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om vilken typ av fel som uppstått. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinsch-möjlighet.	T=2 S=2 R=2
14	Bentonitfordon Transport av yttre bentonitblock.	Fel av sådan art som hindrar transporten.	Nej	Normal fordonsteknisk åtgärd.	T=1 S=2 R=1
15	Bentonitfordon Fordon stannar vid aktuellt deponeringshål. Positionering.	Felaktig uppställning. a) Fel på navigeringssystem b) Fel på fordonets avkodare.	Nej*	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identitet. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärdena.	T=1 S=2 R=1
16	Bentonitfordon Inplacering av yttre bentonitblock.	Störning i vagnfunktionen med olika följder t ex: a) stopp b) vält bentonitblock	Nej	Inplaceringen av det första blocket måste ske fjärrstyrt, medan vid inplaceringen av de övriga kan personalen agera fritt mht strålning utan restriktioner (se steg 10 i avsnitt 2 samt avsnitt 4.2.2.4).	T=1 S=2 R=1

* Förutsatt att personalen inte kommer i närheten av deponeringshålets mynning. Administrativ åtgärd (se avsnitt 4.1.1).

Sammanfattning för teknik 1c-

Summering av olika TSR-värdens möjliga kombinationer.

Kod	T 1	S 1	R 1	T 1	S 2	R 1	T 1	S 1	R 2	T 2	S 1	R 2	T 2	S 2	R 2	T 2	S 2	R 3	T 2	S 3	R 2	T 2	S 3	R 3	T 3	S 3	R 3
Antal	5			4			0			1			2			0			0			2			2		

Summering av TSR-faktorers respektive värde.

Kod	T=1	T=2	T=3	S=1	S=2	S=3	R=1	R=2	R=3
Antal	9	5	2	6	6	4	9	3	4

Nyckeltal $TSR_A = T3 + S3 + R3 = 10$
 $S = S2 + 2 \times S3 = 14$

Dessa resultat (summeringar och nyckeltal) är användbara vid jämförelsen av olika deponeringstekniker och i en begränsad omfattning vid jämförelsen av olika deponeringsteknik.

Tabell 2. Feleffektmatrisen för teknik 1c+, Deponering av strålskyddad kapsel "i delar" med guiderör och tre olika fordon. Lavetrörelse vid deponeringshålet.

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
1	Bentonitfordon Transport av bentonitringar och bottenplugg.	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normalt fordonstekniskt agerande.	T=1 S=1 R=1
2	Bentonitfordon Fordon stannar inför aktuellt deponeringshål, positionering.	Felaktig uppställning: a) Fel på navigeringssystemet. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identifikation. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=1 R=1
3	Bentonitfordon lläggning av bentonitringar och bottenplugg.	Störning i vagnfunktionen med olika följder typ: a) stopp b) vält bentonitring/plugg c) etc	Nej	Personalen kan agera fritt utan stråltekniska restriktioner.	T=1 S=1 R=1
4	Guiderörsfordon Transport av guiderör	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normalt fordonstekniskt agerande.	T=1 S=1 R=1
5	Guiderörsfordon Fordon stannar inför aktuellt deponeringshål. Positionering.	Felaktig uppställning: a) Fel på navigeringssystemet. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identifikation. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=1 R=1
6	Guiderörsfordon lläggning av guiderör.	Rörelsehindrande fel: a) Fel på utrustningen (mekaniskt eller elektriskt) med drifhindrande karaktär. b) Inneliggande bentonitringar skadas trots en felfri positionering steget innan.	Nej	a) Personalen kan agera fritt utan stråltekniska restriktioner. b) Ändring av bentonitringarnas nominella mått på: Nominellt Rekomm Inv: 1 070 1 095 Utv: 1 650 1 675 (Dep hål 1 750 -)	T=2 S=1 R=2
7	Kapsel Fordon Transport från omlastning till deponeringshål.	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normalt fordonstekniskt agerande.	T=1 S=1 R=1
8	Kapsel Fordon Fordon stannar inför aktuellt deponeringshål. Positionering.	Felaktig uppställning: a) Fel på navigeringssystemet. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identifikation. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=1 R=1

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
9.	Kapselfordon lläggning av kapseln. Lavett-rörelse, kortslagig linjär-rörelse, långslagig linjär-rörelse.	Rörelsehindrande fel a) Fel på drivningen, men hindrar ej använd- ningen av redundans (typ: elfel). b) Som a) men redun- dans hjälper ej. Rörelsen låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter).	Nej	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av icke fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet.	T=2 S=2 R=2
10	Kapselfordon Inmatning i guideröret. Samtidigt med kapseln skall en ändplugg (täcker kapselns yttre gavel) matas in i guideröret.	Rörelsehindrande fel a) Fel på drivningen, men hindrar ej användningen av redundans (typ: elfel). b) Som a) men varken redundans eller återtags- funktion hjälper. Rörelsen låst. (T ex obrukbara mekaniska komponenter.)	Nej	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av icke- fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet.	T=3 S=3 R=3
11	Kapselfordon Returgång av tom utrustning.	Rörelsehindrande fel a) Fel på drivningen, men hindrar ej användningen av redundans (typ: elfel). b) Som a) men varken redundans eller återtags- funktion hjälper. Rörelsen låst. (T ex obrukbara mekaniska komponenter.)	Nej	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av icke- fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet.	T=2 S=2 R=2
12	Guiderörsfordon Fordon stannar inför aktuellt deponeringshåll. Positionering.	Felaktig uppställning. a) Fel på navigerings- system. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbel- kontroll av varje depone- ringshålls identifikation. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=2 R=1
13	Guiderörsfordon Utdragning av guiderör	Rörelsehindrande fel	Nej	Personalen kan agera fritt utan stråltekniska restriktioner.	T=2 S=2 R=2
14	Bentonitfordon Transport av bentonit- pluggar.	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normalt fordonstekniskt agerande.	T=1 S=2 R=1
15	Bentonitfordon Fordon stannar inför aktuellt deponeringshåll. Positionering.	Felaktig uppställning a) Fel på navigerings- system. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbel- kontroll av varje depone- ringshålls identifikation. b) Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=2 R=1

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
16	Bentonitfordon lläggning av bentonit- pluggar.	Störning i vagnfunk- tionen med olika följder typ: a) stopp b) vält bentonitplugg etc.	Nej	Personalen kan agera fritt utan stråltekniska restriktioner.	T=1 S=2 R=1

Sammanfattning för teknik 1c+

Summering av olika TSR-värdens möjliga kombinationer.

Kod	T 1	S 1	R 1	T 1	S 2	R 1	T 1	S 1	R 2	T 2	S 1	R 2	T 2	S 2	R 2	T 2	S 2	R 3	T 2	S 3	R 2	T 2	S 3	R 3	T 3	S 3	R 3
Antal	7			4			0			2			2			0			0			0			1		

Summering av TSR-faktorers respektive värde.

Kod	T=1	T=2	T=3	S=1	S=2	S=3	R=1	R=2	R=3
Antal	11	4	1	9	6	1	11	4	1

Nyckeltal $TSR_A = T3 + S3 + R3 = 3$
 $S = S2 + 2 \times S3 = 8$

Dessa resultat (summeringar och nyckeltal) är användbara vid jämförelsen av olika deponeringstekniker och i en begränsad omfattning vid jämförelsen av olika deponeringsteknik.

Tabell 3. Feleffektmatrisen för teknik 4c, Deponering av strålskyddad kapsel i två paket med vridbara laddningsrör och ett deponeringsfordon. Lavetrörelse vid deponeringshålet.

Nr	Aktivitet	Felfunktion	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
1	Deponeringsfordon Transport av kapsel, bentonitringar och bottenplugg.	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normalt fordonstekniskt agerande.	T=1 S=1 R=1
2	Deponeringsfordon Fordon stannar inför aktuellt deponeringshål. Positionering.	Felaktig uppställning a) Fel på navigeringssystem. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identifikation. b) Slutent styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=1 R=1
3	Deponeringsfordon Vridning av strålskydd innehållande kapsel samt bentonit vrids 90° i horisontellt plan till deponeringsposition. Därefter görs en kortslagig linjär-rörelse.	Rörelsehindrande fel: Fel på utrustningen (mekaniskt eller elektriskt) med drifhindrande karaktär	Nej	Personalen kan agera fritt utan stråltekniska restriktioner. [Redundans för båda rörelser i form av manuell drivning (framåt eller i retur)].	T=1 S=1 R=1
4	Deponeringsfordon/deponeringshål Inskjutning av "paketet" bestående av kapsel och bentonitringar/pluggar skjuts in i deponeringshålet m h a ett laddningsrör.	Rörelsehindrande fel på utrustningen: a) Fel på drivningen, men hindrar ej användningen av redundans (typ: elfel). b) Som a) men varken redundans eller återtagsfunktionen hjälper. Rörelsen låst. (T ex obrukbara mekaniska komponenter.) Rörelsehindrande händelse i deponeringshålet: c) Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar, bitar av bentonit eller att den främre pluggen faller och blockerar tunneln.	Nej	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). c) Med laddningsröret medföljande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning framåt (kraftresurs) • gå i retur, avbryta operation, ta ut mataraggregat	T=2 S=2 R=2

Nr	Aktivitet	Felfunktion	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
5	Deponeringshåll Vridning av laddningsröret (180°) när rätt position har intagits.	Rörelsehindrande fel på utrustningen: a) Fel på drivningen, men hindrar ej användningen av redundans (typ: elfel). b) Som a) men varken redundans eller återtagsfunktionen hjälper. Rörelsen låst. (T ex obrukbara mekaniska komponenter.) Rörelsehindrande händelse i deponeringshålet: c) Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar, bitar av bentonit eller att den främre pluggen faller och blockerar tunneln.	Nej	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av inmatningens redundans för att föra "paketet" i retur. b) Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). c) Med laddningsröret med följandeoptiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning framåt (momentresurs) • avbryta operation, ta ut mataraggregat, överlämna deponeringshålet till särskild "uttagshantering".	T=2 S=2 R=2
6	Deponeringshåll/ deponeringsfordon Återtagning av laddningsröret. Då "skopan" utfört sin vridning dras laddningsröret ut ur deponeringshålet.	Rörelsehindrande fel på utrustningen: a) Fel på drivningen, men hindrar ej användningen av redundans (typ: elfel). b) Som a) men varken redundans eller återtagsfunktion hjälper. Rörelsen låst. (T ex obrukbara mekaniska komponenter.) Rörelsehindrande händelse i deponeringshålet: c) Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar. d) Den yttersta bentonitringen skadas alternativt faller när "skopan" dras ut.	Nej	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). c) Med laddningsröret medföljande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning utåt (kraftresurs) • avbryta operation, ta ut mataraggregat, överlämna deponeringshålet till särskild "uttagshantering". d) Laddningsröret utrustas med mothåll.	T=1 S=2 R=2
7.	Deponeringsfordon Ompositionering av fordon för iläggning av de yttersta bentonitpluggarna. (Utförs av samma fordon fast med laddningsrör nr 2.)	Felaktig uppställning a) Fel på navigeringssystemet. b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	a) Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identifikation. b) Slutna styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=2 R=1

Nr	Aktivitet	Felfunktion	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
8	Deponeringsfordon/ deponeringshål Inskjutning av "paketet" bestående av kapsel och bentonitringar/pluggar skjuts in i deponeringshålet m h a ett laddningsrör.	Rörelsehindrande fel på utrustningen: a) Fel på drivningen, men hindrar ej använd- ningen av redundans (typ: elfel). b) Som a) men varken redundans eller åter- tagsfunktionen hjälper. Rörelsen låst. (T ex obrukbara mekaniska komponenter.) Rörelsehindrande händelse i deponerings- hålet: c) Hinder i deponerings- hålet av typ bergkilar, bitar av bentonit eller att den främre pluggen faller och blockerar tunneln.	Nej	a) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. b) Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). Med laddningsröret med- följande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning framåt • (kraftresurs) gå i retur	T=1 S=2 R=1

Sammanfattning för teknik 4c

Summering av olika TSR-värdens möjliga kombinationer.

Kod	T 1	S 1	R 1	T 1	S 2	R 1	T 1	S 1	R 2	T 2	S 2	R 2	T 2	S 2	R 3	T 2	S 3	R 2	T 2	S 3	R 3	T 3	S 3	R 3
Antal	3			2			0			1			2			0			0			0		

Summering av TSR-faktorers respektive värde.

Kod	T=1	T=2	T=3	S=1	S=2	S=3	R=1	R=2	R=3
Antal	6	2	0	3	5	0	5	3	0

Nyckeltal $TSR_A = T3 + S3 + R3 = 0$
 $S = S2 + 2 \times S3 = 5$

Dessa resultat (summeringar och nyckeltal) är användbara vid jämförelsen av olika deponeringstekniker och i begränsad omfattning vid jämförelsen av olika deponeringsteknik.