

R-01-34

Projekt JADE

Process- och maskinbeskrivning av utrustning för deponering av kapslar i medellånga deponeringshål

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 medellånga deponeringshåll

Kalbantner, P

ÅF-Industri teknik AB

Augusti 2001

Sökord: djupförvar, deponering, KBS-3, horisontell deponering, medellånga håll, MLH.

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

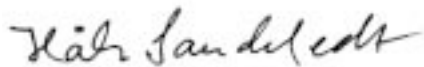
Slutsatserna från ett antal jämförelser av olika koncept för geologisk deponering innebär att KBS-3-systemet med vertikal deponering förblir referenssystem i SKB:s program, vilket lanserades 1992 med avsikt att påbörja deponering av använt kärnbränsle i svensk berggrund så snart som möjligt. Fältundersökningar 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 tolv tekniska lösningar för deponering av kapslar med använt kärnbränsle i medellånga horisontella deponeringshål. Kapslarna placerade efter varandra omgärdade av kompakterade bentonit i 100 till 500 m 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 i MLH är att skjuta in tunga föremål i ett långt, horisontellt hål. Två tekniker att deponera bentonitbarriären och kapslarna i separata processer har studerats. För deponering av bentonitbarriärer och kapslar ”i paket” har flera tekniker studerats: deponeringsrör, vridbart laddningsrör, gaffelvagn och glidskenor. De upprepade transportererna i ett hål som blir en konsekvens av att flera kapslar deponeras i samma hål kan leda till att bergflisor lösgörs från väggarna i deponeringshålet. I flera tekniker föreslås användningen av gångskydd (skyddsplåt eller isbana) för att minska påverkan på bergväggen i deponeringshålen från utrustningen och dess last.

En feleffektanalys har utförts för en av dessa tolv deponeringstekniker. I jämförelse med en teknik för horisontell deponering, en kapsel per hål, där samma teknik används krävs större resurser i den studerade MLH varianten för att avhjälp fel om incidenter skulle inträffa under deponeringen.

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

- Deponeringen utförs ”i paket”.
- Sträva efter minsta möjliga rörelse i deponeringshålet.

Tekniker som av ÅF-Industri teknik bedöms kunna utvecklas är tekniska lösningar för deponering ”i paket”, med ett deponeringsrör som glider på ett gångskydd i deponeringshålet. Deponeringsröret återanvänds. I andra hand kan tekniker med ett vridbart laddningsrör utvecklas. J Pirozka och H Sandstedt förordar MLH 1, också den en teknik med ett deponeringsrör. I MLH 1 används ett kopparnät som omsluter kapseln och bentoniten och nätet lämnas kvar i deponeringshålet.

Abstract

In this report twelve methods are presented to deposit a canister with spent nuclear fuel in a horizontal hole, several canisters per hole (MLH). These methods are part of 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, a choice of system has been considered during the development work. This is whether canister and bentonite buffer should be deposited “in parts”, i.e. at different occasions, but shortly after each other or “in a package”, i.e. together in a single package. The other choice in the guidelines for the JADE project, whether the canister should be placed in a radiation shield or not during transport in the secondary tunnels, was not relevant to MLH.

The basic technical problem is depositing heavy objects, the canister and the buffer components, in a horizontal hole which is approximately 200 m deep. Two methods for depositing of the bentonite barrier and the canisters in separate processes have been studied. For depositing of the bentonite barrier and the canister “in a package”, four alternative techniques have been studied: a metallic sleeve around the package, a loading scoop that is rotated, a fork carriage and rails. The repeated transports in a hole, a consequence of depositing several canisters in the same hole, could lead to the rock being crushed. The mutual impact of machines, load and rock wall has therefore been particularly considered. In several methods, the use of a gangway has been proposed (steelplates or layer of ice).

A failure mode and effect analysis has been performed for one of the twelve methods. When comparing with a method to deposit one canister per hole using the same technique, the need for equipment and resources is far larger for this MLH method if incidents should occur during depositing.

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 leading to minimal movement in the hole are preferred.

Methods that in ÅF-Industrietechnik's assessment could be developed are those using a metallic sleeve gliding on a gangway in the hole. The sleeve is reused. As a second method one could develop a method using a loading ladle. J Pirozka and H Sandstedt favour method MLH 1, in which a sleeve is used. In this case the sleeve consists of a copper net which encloses the canister as well as the bentonite and is left in the hole.

Innehåll

1	Bakgrund	11
2	Utveckling av deponeringstekniker för MLH	13
2.1	Grafisk sammanställning	13
2.2	Deponering i ett medellångt hål	16
2.3	En kort historik	17
3	Förutsättningar	19
3.1	Djupförvaret	19
3.2	De viktigaste geometriska förutsättningarna	20
3.3	Ändringar i förutsättningarna	21
3.3.1	Drivsystem	21
3.3.2	Deponeringshål	21
3.3.3	Bentonitringarna	22
3.4	Styrtekniska begrepp	22
4	Tekniska lösningar avseende deponering ”i delar”	25
4.1	MLH _{VBB} – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med kvarlämnat guiderör	25
4.1.1	Allmän beskrivning	25
4.1.2	Maskinbeskrivning	26
4.1.3	Processbeskrivningen	27
4.1.4	Fördelar och nackdelar med MLH _{VBB}	28
4.2	MLH 7 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med kapseln glidande mot bentoniten i slutskedet. Strålskyddstub med plunge	28
4.2.1	Allmän beskrivning	28
4.2.2	Maskinbeskrivning	30
4.2.3	Processbeskrivningen	31
4.2.4	Fördelar och nackdelar med MLH 7	33
5	Tekniska lösningar avseende deponering ”i paket” med laddningsrör	35
5.1	MLH _{ÅF-I} – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” liggande på kulburet, vridbart laddningsrör i deponeringshålet	35
5.1.1	Allmän beskrivning	35
5.1.2	Maskinbeskrivning	37
5.1.3	Processbeskrivning	38
5.1.4	Fördelar och nackdelar med MLH _{ÅF-I}	39
5.2	MLH 3 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med vridbart laddningsrör på gångskydd i deponeringshålet	40
5.2.1	Allmän beskrivning	40
5.2.2	Maskinbeskrivning	42
5.2.3	Processbeskrivning	43
5.2.4	Fördelar och nackdelar med MLH 3	44

5.3	MLH 6 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” liggande på luftburet, vridbart laddningsrör i deponeringshålet	45
5.3.1	Allmän beskrivning	45
5.3.2	Maskinbeskrivning	47
5.3.2	Processbeskrivning	48
5.3.4	Fördelar och nackdelar med MLH 6	49
6	Tekniska lösningar avseende deponering ”i paket” med deponeringsrör	51
6.1	MLH 1 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” i kopparnät glidande mot berget i deponeringshålet	51
6.1.1	Allmän beskrivning	51
6.1.2	Maskinbeskrivning	52
6.1.3	Processbeskrivning	53
6.1.4	Fördelar och nackdelar med MLH 1	54
6.2	MLH 4 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med avdragsbart, stelt deponeringsrör på gångskydd i deponeringshålet	55
6.2.1	Allmän beskrivning	55
6.2.2	Maskinbeskrivning	57
6.2.3	Processbeskrivning	58
6.2.4	Fördelar och nackdelar med MLH 4	60
6.3	MLH 8 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med avrullbart, böjligt deponeringsrör glidande på gångskydd i deponeringshålet	60
6.3.1	Allmän beskrivning	60
6.3.2	Maskinbeskrivning	63
6.3.3	Processbeskrivning	64
6.3.4	Fördelar och nackdelar med MLH 8	65
6.4	MLH 9 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med avdragbart, stelt deponeringsrör glidande på isskikt i deponeringshålet	66
6.4.1	Allmän beskrivning	66
6.4.2	Maskinbeskrivning	70
6.4.3	Processbeskrivning	71
6.4.4	Fördelar och nackdelar med MLH 9	72
7	Tekniska lösningar avseende deponering ”i paket”, urtag i bufferten	75
7.1	MLH 2A – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med bandburen gaffelvagn i deponeringshålet	75
7.1.1	Allmän beskrivning	75
7.1.2	Maskinbeskrivning	77
7.1.3	Processbeskrivning	78
7.1.4	Fördelar och nackdelar med MLH 2A	79
7.2	MLH 2B – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med rullgående gaffelvagn på gångskydd i deponeringshålet	80
7.2.1	Allmän beskrivning	80
7.2.2	Maskinbeskrivning	82
7.2.3	Processbeskrivning	83
7.2.4	Fördelar och nackdelar med MLH 2B	84

7.3	MLH 5 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” på glidskenor i deponeringshålet	85
7.3.1	Allmän beskrivning	85
7.3.2	Maskinbeskrivning	87
7.3.3	Processbeskrivning	88
7.3.4	Fördelar och nackdelar med MLH 5	90
8	Feleffektanalys	91
8.1	Feleffektmatris, uppbyggnad	91
8.2	Resultat av feleffektanalysen	92
8.3	Slutsatser	93
9	Jämförelse	95
9.1	Inledning	95
9.2	Jämförelsematris för teknikerna för seriell deponering i ett horisontellt hål	95
9.3	Redovisning	97
9.3.1	Strålskydd	97
9.3.2	Deponering ”i delar”	97
9.3.3	Deponering ”i paket”	98
9.3.4	Gångskydd	99
9.4	Slutsatser och rekommendationer	100
	Referenser	101
	Bilaga 1 Ritningar till sammanställningen över deponeringstekniker att deponera kapslar i medellånga hål (MLH)	103
	Bilaga 2 Beskrivning av deponeringsprocessen i ”strålsteg”	131
	Bilaga 3 Strålskyddsaspekter vid deponering	139
	Bilaga 4 Feleffektanalys för MLH _{ÅF-I}	147

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.

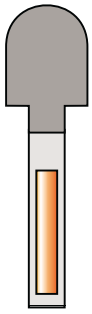
För KBS-3 har även möjligheten att deponera kapslarna i horisontella borrhål borrade i väggen av deponeringstunnlarna studerats (KBS-3 H). Denna metod har bedömts attraktivt ur ekonomisk synvinkel då den totala längden av deponeringstunnlar kan reduceras jämfört med deponering i vertikala deponeringshål (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 horisontell deponering av en kapsel per deponeringshål, KBS-3 H, 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 deponering av flera kapslar efter varandra i medellånga hål, MLH.

I föreliggande rapport beskrives de tolv deponeringstekniker som studerats för MLH. 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.

2 Utveckling av deponeringstekniker för MLH

I KBS-3-metodens MLH-variant (Medel Långa Hål) deponeras flera kapslar efter varandra i ett och samma horisontella deponeringshål. Mellan två kapslar med använt kärnbränsle läggs bentonitblock. Den vinst man söker i en jämförelse med KBS-3 V och H systemet, är att undvika deponeringstunnlar. I MLH utgår deponeringshålen direkt från transporttunnlarna.

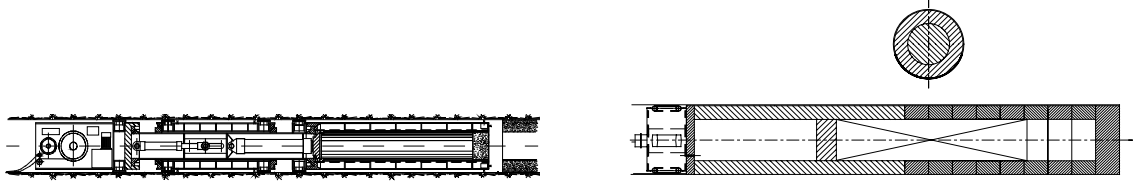
Utvecklingsarbetet har förts i två olika riktningar med avseende på deponeringsprocessens uppdelning. Det gäller om kapseln och bentoniten skall deponeras vid skilda tillfällen men kort efter varandra, vilket benämns deponering ”i delar”, eller om kapseln och bentoniten skall deponeras samtidigt, vilket benämns deponering ”i paket”.

Nedan lämnas en översikt över utvecklingsarbetet, vilken skall ses som ett komplement till den formellt likformiga beskrivningen av dessa tolv tekniska lösningar, en och en, senare i denna rapport. Inledningsvis visas en sammanställning över teknikerna, där särdragen för varje teknik åskådliggörs grafiskt. Som utgångspunkt för beskrivningen av de tolv teknikerna lämnas sedan en översiktlig allmän, maskin- och processbeskrivning samt en redovisning av teknikens för- och nackdelar. Avslutningsvis lämnas en kort redogörelse för utvecklingens olika faser.

2.1 Grafisk sammanställning

I de tolv MLH teknikerna att deponera en kapsel och bentonitbufferten i ett medellångt hål utnyttjas olika lösningar till den tekniska uppgiften att deponera ett tungt föremål i ett långt och trångt deponeringshål. I figur 2-1 nedan lämnas en grafisk sammanställning över utrustningen som är tänkt att användas i dessa tekniker, i vilken de grupperats efter huvudprincip. För en och samma lösning kan detaljer skilja de tekniker som studerats från varandra, varför dessa detaljer återges tillsammans med bilden av utrustningen.

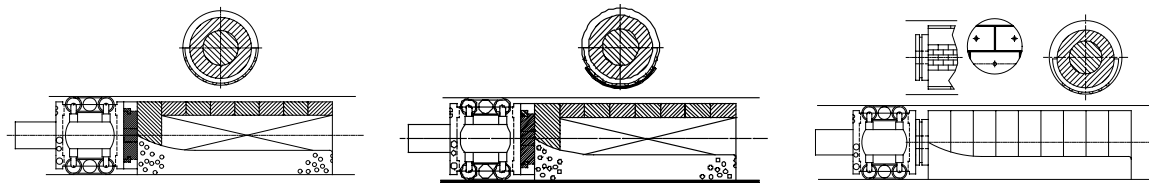
Deponering "i delar"



MLH_{VBB}
Deponering av strålskyddad kapsel "i delar" med kvarlämnat guiderör.

MLH7
Deponering av strålskyddad kapsel "i delar" med kapseln glidande mot bentoniten i slutskedet. Strålskyddstub med plunge.

Deponering "i paket" med laddningsrör

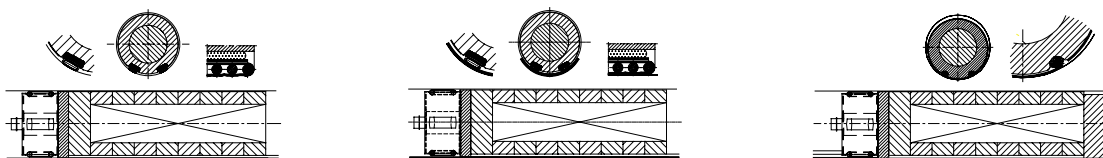


MLH_{AF-I}
Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" liggande på kulburet, vridbart laddningsrör i deponeringshålet

MLH3
Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" med vridbart laddningsrör på gångskydd i deponeringshålet

MLH6
Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" liggande på luftburet, vridbart laddningsrör i deponeringshålet

Deponering "i paket"; urtag i buffert



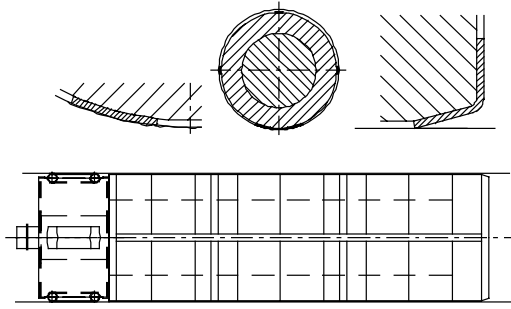
MLH2A
Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" med bandburen gaffelvagn i deponeringshålet

MLH2B
Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" med rullgående gaffelvagn på gångskydd i deponeringshålet

MLH5
Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" på glidskenor i deponeringshålet

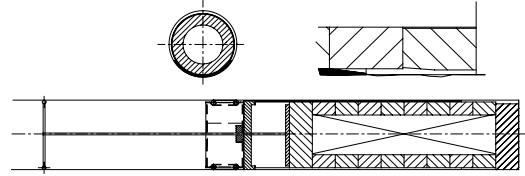
Figur 2-1. En grafisk sammanställning över utrustningen som används i de tolv teknikerna att deponera en kapsel i ett medellångt hål.

Deponering "i paket" med deponeringsrör



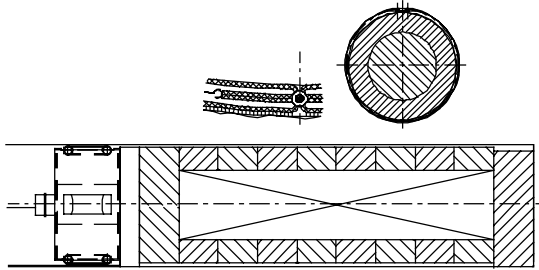
MLH1

Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" i kopparnät glidande mot berget i deponeringshålet



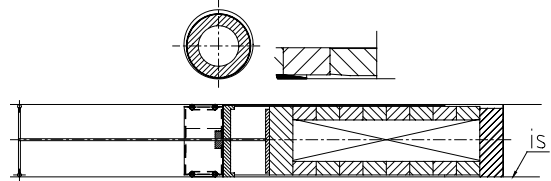
MLH4

Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" med avdragbart, stelt deponeringsrör på gångskydd i deponeringshålet



MLH8

Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" med avrullbart, böjligt deponeringsrör glidande på gångskydd i deponeringshålet



MLH9

Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" med avdragbart, stelt deponeringsrör glidande på isskikt i deponeringshålet

Figur 2-1 (fortsättning). En grafisk sammanställning över utrustningen som används i de tolv teknikerna att deponera en kapsel i ett medellångt hål.

2.2 Deponering i ett medellångt hål

Det huvudsakliga tekniska problemet i MLH är att skjuta in tunga föremål i ett 100–500 m långt horisontellt hål. Manöverutrymmet inne i hålet är mycket begränsat. Det tunga föremålet som skall skjutas in är kapseln med använt kärnbränsle. Kapseln skall ligga i mitten av en jämntjock ring som består av block av kompakterade bentonit. Under deponeringen är skillnaden mellan bentonitbuffertens ytterdiameter och hålets diameter mindre än 10 cm.

Ett utförande kan vara att först placera flera sektioner av bentonitbufferten formade som ”ananasringar”, efter varandra i hålet så att de tillsammans fodrar hålet och lämnar ett centrumhål för kapseln. Sedan skjuts kapseln in i detta centrumhål. Detta utförande benämns deponering ”i delar”.

Ett annat utförande är när bentonitbufferten placeras i deponeringshålet tillsammans (dvs samtidigt) med kapseln (deponering ”i paket”). Paketet med kapseln och omgivande bentonitelement har dessförinnan byggts upp i t ex en central verkstad.

Oberoende av hur själva deponeringsprocessen i MLH är utformad finns en väsentlig skillnad gentemot deponeringsprocessen i KBS-3 H, en kapsel per hål. Denna består i att i MLH upprepas transportmomenten i hålet, varför dessa ägnats proportionerligt mer uppmärksamhet än i KBS-3 H fallet.

Utgångspunkten för vidareutvecklingen av MLH metoderna är den teknik som kallas här för $MLH_{VBB} /1/$.

Karakteristiskt för MLH_{VBB} är att:

- Deponeringen utförs ”i delar”.
- Bentonitelementen och kapseln matas fram i hålet med den så kallade TBM-teknik.

Med TBM-teknik (TunnelBorrningsMaskin) avses den stegvisa förflyttningen av t ex tunnelborrningsmaskiner eller vissa så kallade ”pigs” i rörledningar. Främre delen av utrustningen tar spjörn mot bergväggen med hjälp av domkrafter medan den bakre delen förflyttas ihop med främre delen. När denna bakre del gjort ett fullt slag tar den spjörn mot bergväggen och den främre delen förflyttas utåt från den bakre delen. Rörelseschemat upprepas tills transportsträckan har avverkats.

Den ena huvudlinjen för utvecklingsarbetet var att identifiera en annan teknisk lösning än TBM-tekniken för den upprepade transporten i deponeringshålet. De domkrafter som pressas mot bergväggen i varje steg innebär lokala (och upprepade) tryckpåkänningar på bergväggen som kan leda till oönskad påverkan på borrhållsväggen, vilken i sin tur kan störa transportfunktionen. Påkänningarna kan dock minskas genom en lämplig utformning av domkraftens klack.

Den andra huvudlinjen för utvecklingsarbetet var att identifiera möjliga tekniker för deponering ”i paket” i stället för ”i delar”. Detta innebär att kapseln monteras ihop med bentonitbufferten till ett paket innan deponeringen i hålet inleds.

En teknik att deponera ”i paket” som studerats i KBS-3 H sammanhang är det vridbara laddningsröret. I denna teknik, MLH_{AF-I} när det appliceras i MLH-sammanhang, monteras paketet i en skopa i en verkstad i centralområdet. Vid deponeringshålets mynning skjuts skopan (laddningsröret) in i hålet och vandrar in till deponeringsläget på kulrullar. När den nått detta läge vrids skopan längs hålets axel. När den vridits tillräckligt mycket rullar paketet naturligt ner på hålets botten. Skopan kan då dras tillbaka och användas för att bygga upp ett nytt paket med en annan kapsel.

Den teknik som utvecklades först ($MLH_{\text{ÅF-I}}$) har dock sina osäkerhetsmoment. Tekniken med laddningsrör är oprövad och det finns en risk att bergflisor eller bentonitflisor hindrar dess rörelse eller till och med kilar fast laddningsröret. Vidare, ett paket med bentonitbuffert och kapsel uppskattas väga cirka 50 ton. Detta kan innebära att vikten skall fördelas på 50 till 60 stycken rullar i direkt kontakt med deponeringshålets bergvägg.

I utvecklingsfas tre, se historiken nedan, har därför undersökts alternativa tekniker. I två metoder har det vridbara laddningsröret behållits och två tekniker att minska belastningarna på hålets väggar har studerats. I $MLH 3$ läggs ett gångskydd (en cirka 10 mm tjock plåt) ut i botten på hålet. I $MLH 5$ ersätts kulorna under laddningsröret med lufkuddar.

I stället för laddningsrör kan en bandburen gaffelvagn användas, $MLH 2a$, för att fördela vikten över en större yta. Om gaffelvagnen skall ha rullar bör ett gångskydd ordnas för att minska punktbelastningarna och fördela vikten, som i $MLH 2b$ (en slät, 10 mm tjock plåt). En annan teknik, $MLH 5$, är att använda skenor på vilka paketet glider i deponeringshålet.

Vridningen av röret orsakar en del av osäkerheten med laddningsrörstekniken. Därför har tekniker att deponera ”i paket” utan vridning undersökts: i dessa tekniker förses paketet med ett metalliskt hölje. Paketet med höljet skjuts fram i hålet och glider på bergväggen eller på ett gångskydd. I $MLH 1$ används ett kopparnät som glider direkt på bergväggen. Nätet återtages ej. I andra tekniker används ett heltäckande metalliskt hölje som återvinns. När paketet nått sitt deponeringsläge dras höljet (ett så kallat deponeringsrör) bort och går i retur för att återanvändas. Utöver $MLH 1$ har tre varianter studerats:

- I $MLH 4$ används ett stelt deponeringsrör som glider på ett gångskydd (uppbyggt av plåtsegment som formats efter hålets väggar).
- I $MLH 8$ används ett böjligt deponeringsrör som glider på ett gångskydd. Deponeringsröret är delningsbart i mitten och kan rullas upp ungefär som en rullgardin på båda långsidor av paketet. När paketet skall deponeras dras eller rullas rörets båda sidor upp, paketet glider på hålets golv och det upprullade röret dras bort.
- I $MLH 9$ används ett stelt deponeringsrör, som i metod $MLH 4$, men med ett isskikt på deponeringshålets botten som gångskydd.

I en teknisk lösning, $MLH 7$, har deponering ”i delar” (MLH_{VBB}) vidareutvecklats. I två tekniska lösningar som studerats under arbetet med $KBS-3 H$ har man trätt in kapseln i bentonitringarna utan att använda ett guiderör. Motsvarande deponeringsteknik föreslås här.

2.3 En kort historik

Utvecklingsarbetet har utförts i successiva faser, till en början av VBB och sedan av $\text{ÅF-Industriteknik AB (ÅF-I)}$. Inledningsvis har målsättningen varit att utveckla och redovisa alternativa metoder inom $KBS-3$ och tillhörande teknisk utrustning för deponering av kapslar. Till viss del har arbetet bedrivits parallellt med utvecklingen av $KBS-3 H$. Utvecklingen har dock omfattat färre faser (tre stycken) än $KBS-3 H$:s fyra faser. Första fasen består av VBB :s deponeringsteknik avseende deponering ”i delar” (MLH_{VBB}). Den andra fasen består av ÅF-I :s deponeringsteknik avseende deponering ”i paket” ($MLH_{\text{ÅF-I}}$). I en sista, tredje fas har fältet vidgats med ytterligare tio tekniska lösningar.

Den första av de tolv teknikerna som beskrivs i denna rapport, MLH_{VBB} , utvecklades av VBB på uppdrag från SKB fram till 1992. Denna deponeringsteknik ingick i jämförelsen i PASS /1/.

ÅF-I:s utvecklingsarbete inleddes under våren 1996 inom ramen för projekt JADE med en genomgång av denna deponeringsteknik, MLH_{VBB} .

I ÅF-I:s fortsatta arbete har utvecklats, på basis av dessa synpunkter, en annan deponeringsteknik för MLH ($MLH_{ÅF-I}$) avsedd för deponering ”i paket”. En feleffektanalys utfördes för denna samtidigt med motsvarande analys för tre KBS-3 H metoder (redovisade i /4/).

Inom ramen för projekt JADE gjordes sedan en bred översyn av möjliga tekniska lösningar till deponeringen i MLH. Målsättningen var att bredda bedömningsunderlaget beträffande samverkan mellan bergväggen i deponeringshålet och den delen av utrustningen som går in i deponeringshålet. Experter från flera organisationer har bidragit med synpunkter och förslag. Under detta arbetet studerades ytterligare tio tekniker. Dessa skiljer sig i övrigt föga från teknikerna i tidigare utvecklingsfaser: processens transport- och fordonsdel, processens styrning samt utrymmesbehovet är identiska. Teknikerna är:

- MLH 1. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” i kopparnät glidande mot berget i deponeringshålet.
- MLH 2a. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med bandburen gaffelvagn i deponeringshålet.
- MLH 2b. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med rullgående gaffelvagn på gångskydd i deponeringshålet.
- MLH 3. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med vridbart laddningsrör på gångskydd i deponeringshålet.
- MLH 4. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med avdragbart, stelt deponeringsrör på gångskydd i deponeringshålet.
- MLH 5. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” på glidskenor i deponeringshålet.
- MLH 6. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” liggande på luftburet, vridbart laddningsrör i deponeringshålet.
- MLH 7. Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med kapseln glidande mot bentoniten i slusket. Strålskyddstubb med plunge.
- MLH 8. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med avrullbart, böjligt deponeringsrör glidande på gångskydd i deponeringshålet.
- MLH 9. Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med avdragbart, stelt deponeringsrör glidande på isskikt i deponeringshålet.

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.

Bland förutsättningarna ingår dels geometriska förutsättningar såsom kapselns dimensioner, dels förutsättningar som har sitt ursprung i ett teknikval. Ett fåtal ändringar av förutsättningarna föreslås i denna rapport, liksom i parallella rapporten för horisontell singeldeponering /4/, i syfte att bättre utnyttja de tekniska lösningarnas karakteristiska drag.

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.

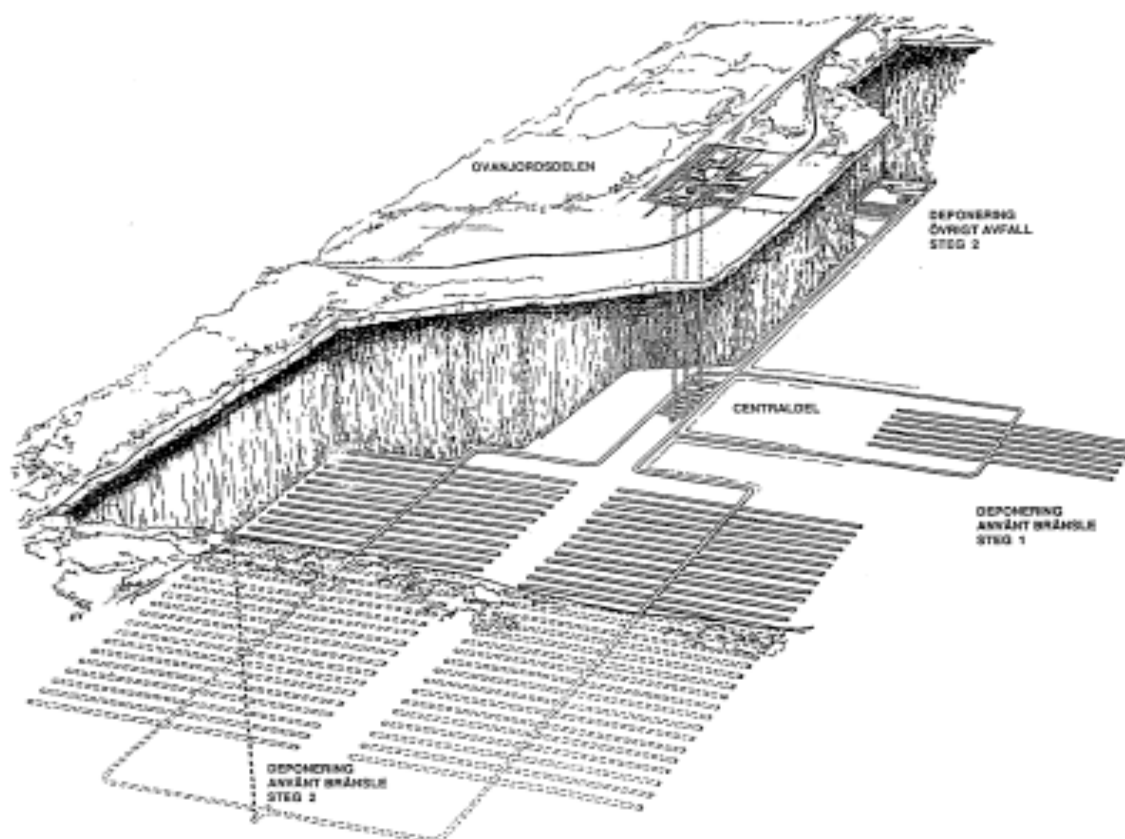
Avslutningsvis definieras och diskuteras några styrtekniska begrepp som används i denna rapport.

3.1 Djupförvaret

Djupförvaret består av ett centralområde och deponeringsområden placerade på cirka 500 meters 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. För MLH har avståndet mellan deponeringshålen beräknats till 40 m och avståndet mellan kapslarna till 1 m. Kapslarna skiljs åt av kompakterad bentonit. Längden på deponeringstunnlarna kommer att variera mellan 100 och 500 m beroende på de geologiska förutsättningarna.



Figur 3-1. En översiktbild 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.
- Deponeringshålens diameter är 1 750 mm.
- Deponeringshålens längd är cirka 200 m. Kan variera mellan 100 och 500 m.

Transporttunnelns tvärsnitt anpassas bland annat till maskinutrustningens behov av utrymme vid deponering.

3.3 Ändringar i förutsättningarna

3.3.1 Drivsystem

I en sammanställning över gällande riktlinjer för projekt JADE förutsattes ett drivsystem med eldrift via kabel eller skena, vilket kan betecknas som ett "icke autonomt" drivsystem.

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

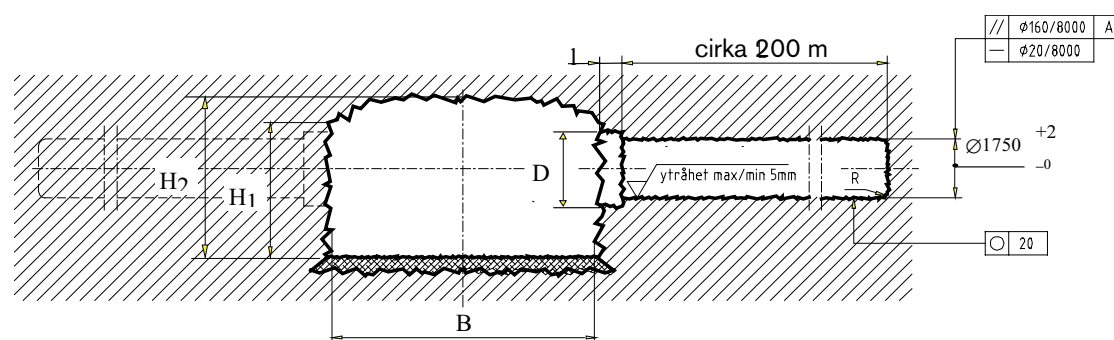
Författarna till föreliggande rapport rekommenderar att inte redan nu utesluta det "autonoma" drivsystemet. I nuvarande skede av utvecklingsarbetet skulle därmed upprätthållas en bredare valmöjlighet.

I 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

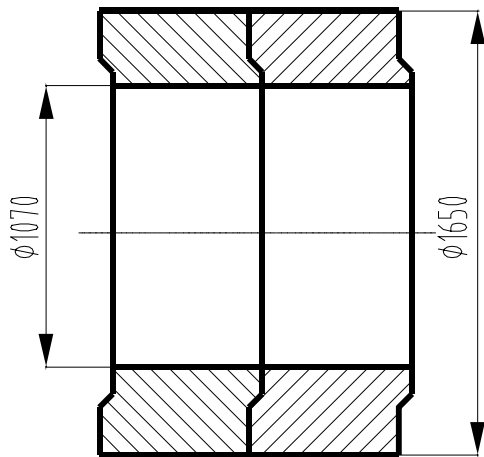
Utformningen av transporttunnelns sektion och av deponeringshålet som redovisas i denna rapport följer i stort förutsättningar i projekt JADE med ett undantag: den försänkning i deponeringshålets mynning som föreslagits i MLH sammanhang. Syftet med försänkningen, se figur 3-2, är att bidra till att eliminera läckage av strålning när deponeringsutrustning dockas till hålet. Transporttunnelns 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 borrarat i horisontellt plan i normalens riktning mot tunnelns längdriktning

Figur 3-2. Tvärsnitt, transporttunnel och deponeringshål.



Figur 3-3. Bentonitringar.

3.3.3 Bentonitringarna

Enligt förutsättningarna i projekt JADE, skall bentonitringarna ha de mått som beskrivits i avsnitt 3.2. När ett helt paket deponeras räknas bentonitbufferten med som strålningsavskärmade komponent. För att förhindra läckage av strålning i skarvarna mellan bentonitringarna föreslås dessa få en utformning enligt figur 3-3.

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 (t ex strålskydd) samt på de teknikval som gjorts.

Beslut under arbetet som presenteras i föreliggande rapport eller efter att det avslutats kan innebära att såväl vissa överväganden i arbetet som några av de deponeringsmetoder som redovisas i denna rapport blir mindre aktuella. Icke desto mindre behöver dessa överväganden och metoder redovisas. Avsikten med detta avsnitt, som utgår från och i många avseenden är identiskt med motsvarande avsnitt i rapporten om KBS-3 H /4/, 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 denna rapport och i motsvarande rapport för KBS-3 H /4/. Den ena frågan som ställs är om driften är manuell eller automatiserad. 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 t ex 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 samt 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 att ge operatören möjligheten att följa processen okulärt.

Omfattningen av den information som skall befordras 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 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 deponeringsammanhang 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 manövrering, där operatören har full frihet att fatta beslut, bör förses med ett från operatören

oberoende system vars uppgift **inte är att styra utan att hindra fel** operatörsbeslut som kunde ha svåra konsekvenser. Under transporter t ex, 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 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. I MLH fallet är kapseln strålskyddad under transporten i tunnlar fram till deponeringshålet. Under transporten i hålet och placeringen på deponeringsplatsen förutses inget strålskydd för kapseln.

Om kapseln är avskärmd i exempelvis en strålskyddstub kan en operatör vistas i närheten för att styra och kontrollera operationerna samt okulärt följa händelseförloppet. Transporten i tunnlar till deponeringshålet och inplaceringen av utrustning 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 deponeringen i hålet 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.

Bortsett från strålskyddstekniska aspekter har operatören ändå ingen möjlighet att övervaka okulärt deponeringen i ett medellångt hål. Dels ligger deponeringsplatsen som mest cirka 200 m in från transporttunneln, dels blockeras operatörens insyn av deponeringsutrustningen som befinner sig mellan det föremål som deponeras och operatören.

För fjärrstyrning och kontroll av förloppen i deponeringshålet måste deponeringsutrustningen förses med ett kamerasytem.

4 Tekniska lösningar avseende deponering ”i delar”

4.1 MLH_{VBB} – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med kvarlämnat guiderör

Beskrivningen nedan utgår från den som lämnades av VBB i en arbetsrapport som utgjorde underlag för PASS-projektet /1/.

4.1.1 Allmän beskrivning

Kapseln och bentonitbufferten deponeras vid olika tidpunkter. Först deponeras bentonitbufferten och kort därefter deponeras kapseln i centrumhålet som lämnas av bentonitringarna.

Bentonitbufferten och kapseln förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggingsaggregat med rörelser av TBM-typ. Bentonitbufferten deponeras ”i paket” med hjälp av ett perforerat deponeringsrör som skyddar den mot beröring med berget. Inga åtgärder vidtas för att skydda bufferten mot dropp. Varken bentonit eller kapselns strålskydd vidrör berget (hålets väggar) under transporten inne i deponeringshålet.

För att underlätta inskjutningen av kapseln in i bentonitbuffertens centrumhål byggs bufferten upp kring ett guiderör som inte återtas.

Ett rälsbundet fordon används för deponeringen. En kapsel deponeras i sex steg. Ett deponeringshål fylls med n kapslar i $6n+1$ steg.

Deponeringsprocess

Se VBB:s ritningar i bilaga: figur 1, 2, 3 och 4.

En kapsel deponeras i fyra steg:

- Fordonet dockar hålet och för in bentonitpaketet.
- Fordonet dockar igen och för in iläggingsaggregatet.
- Fordonet dockar igen och för in kraftförsörjningsaggregatet. Iläggingsaggregatet bär bentonitpaketet till deponeringsplatsen och lämnar det där.
- Fordonet dockar hålet igen och för in strålskyddet med kapseln i.
- Fordonet dockar igen och för in iläggingsaggregatet.
- Fordonet dockar igen och för in kraftförsörjningsaggregatet. Iläggingsaggregatet bär kapseln till deponeringsplatsen och lämnar den där.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $6n + 1$ steg:

- En kapsel deponeras i 6 steg, vilket innebär $6n$ steg för n kapslar.
- De förseglande bentonitblocken deponeras.

Inför deponeringen byggs bentonitbuffertens element (eller ringar) ihop till ett paket kring ett guiderör (ett perforerat stålrör) i ett deponeringsrör. Ett bentonitblock placeras i strålskyddstuben. Deponeringsfordonet hämtar bentonitbufferten i sitt deponeringsrör och lastar det. Strålskyddstuben lastas på fordonet. När kapseln anländer till slutförvarets centralområde lastas kapseln över till deponeringsfordonets strålskyddstub.

Deponeringsfordonet kör till aktuella deponeringshålet och positioneras framför det.

I första steget matas deponeringsröret med bentonitbufferten in i hålet och lämnas strax innanför hålets mynning.

I andra steget flyttas fordonet till deponeringsposition för iläggningsaggregatet. Aggregatet förs in i deponeringshålet och kopplas till deponeringsröret.

I tredje steget flyttas fordonet till deponeringsposition för kraftförsörjningsaggregatet. Aggregatet förs in i hålet och kopplas till iläggningsaggregatet. Iläggningsaggregatet bär in bentonitbufferten till deponeringsplatsen och sänker den på hålets golv. Därefter drar aggregatet tillbaka deponeringsröret (eller skjuter ut bufferten ur röret). Aggregatet går i retur med deponeringsröret. Kraftförsörjningsaggregatet, iläggningsaggregatet och deponeringsröret lastas ombord deponeringsfordonet.

I fjärde steget flyttas deponeringsfordonet till deponeringsposition för strålskyddstuben med kapseln. Strålskyddstuben matas in i deponeringshålet till ett läge strax innanför hålets mynning och lämnas där.

I femte steget upprepas andra steget. Fordonet flyttas till deponeringsposition för iläggningsaggregatet. Aggregatet förs in, kopplas med strålskyddet och lämnas i hålet.

I sjätte steget flyttas fordonet till deponeringsposition för kraftförsörjningsaggregatet. Aggregatet förs in i hålet och kopplas till iläggningsaggregatet. Iläggningsaggregatet bär kapseln i sitt strålskydd in till deponeringsplatsen. Där skjuts kapseln med plunge in i bentonitbuffertens centrumhål. Aggregatet går i retur och lastas på deponeringsfordonet.

I ett avslutande steg, när deponeringshålet fyllts med n stycken kapslar, deponeras de förseglande bentonitblocken.

4.1.2 Maskinbeskrivning

Endast ett fordon används, deponeringsfordonet. Fordonets utseende framgår av ritningar VBB 3 och VBB 4. Fordonet är rälsbundet och elmotordrivet.

Fordonets huvuddelar utgörs av:

- Rälsbunden elmotordriven plattform.
- Iläggningsaggregat med stegningsmekanism av TBM-typ, kopplings/gripningsutrustning för kapsel respektive bentonitbuffert och avdragare för bentonitbuffertens skyddshölje.
- Kraftförsörjningsaggregat för iläggningsaggregatet.

- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.
- Deponeringsrör för bentonitbufferten.
- Strålskyddstub för kapseln.

Med TBM-typ menas här en förflyttningsteknik, som används i tunnelborrningssammanhang. I främre respektive bakre delen av en TBM:s maskinkropp sitter domkrafter, som pressar fast mot den omgivande bergväggen. I maskinkroppen finns axiellt arbetande hydraulcylindrar med vars hjälp maskinkroppen kan förflyttas framåt genom att låsa maskinkroppen mot bergväggen med växelvis främre och bakre domkraftenhet och därmed göra ett steg med hydraulcylindern.

4.1.3 Processbeskrivningen

1. Bentonitbufferten bestående av bentonitringar, ett guiderör och ett yttre, icke heltäckande skyddshölje sätts ihop till ett paket. Kapseln och ett bentonitblock placeras i sitt skyddshölje. Detta sker i djupförvarets centralområde cirka 500 m under markytan med utnyttjande av fasta installationer.
2. Bentonitbufferten, skyddshöljet med kapsel och iläggingsaggregatet lastas på plattformen och transporteras fram till deponeringshålet.
3. Plattformen dockas och riktas upp med bentonitbufferten mitt för deponeringshålet. Bentonitbufferten skjuts in i deponeringshålet till ett läge strax innanför mynningen.
4. Plattformen förflyttas ett steg, så att iläggingsaggregatet hamnar mitt för deponeringshålet. Iläggingsaggregatet förs in i deponeringshålet och kopplas samman med bentonitbufferten.
5. Iläggingsaggregatet förflyttar bentonitbufferten stegvis fram till deponeringsläget. Gripenheterna lossar mot deponeringshålets bergväggar och bentonitbufferten läggs på plats.
6. Bentonitbuffertens skyddshölje dras tillbaka och iläggingsaggregatet går i retur till plattformen.
7. Plattformen förflyttas ett steg, så att skyddshöljet med kapsel kommer mitt för deponeringshålet.
8. Plattformen förflyttas ett steg, dockas och riktas upp med skyddshöljet och kapseln mitt för deponeringshålet. Skyddshöljet med kapsel skjuts in i deponeringshålet till ett läge strax innanför mynningen.
9. Plattformen förflyttas, så att iläggingsaggregatet hamnar mitt för deponeringshålet. Iläggingsaggregatet förs in i deponeringshålet och kopplas samman med skyddshöljet.
10. Iläggingsaggregatet förflyttar skyddshöljet med kapsel stegvis fram till den tidigare deponerade bentonitbufferten.
11. Kapsel och bentonitblocket skjuts in i bentonitbuffertens guiderör.
12. Iläggingsaggregatet går i retur till plattformen.
13. Pos 1–12 upprepas tills deponeringshålet har fyllts med kapslar.
14. Yttre delen av deponeringshålet fylls med förseglande bentonitringar.

4.1.4 Fördelar och nackdelar med MLH_{VBB}

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

Fördelar

1. Genomgående möjlighet att använda beprövad teknik.
2. Möjlighet till återtag av kapseln med deponeringsutrustningen.
3. Möjlighet att styra slutposition på kapseln.

Nackdelar

1. Guideröret lämnas kvar.
2. Skaderisk för bentonit och dess skyddshölje under transport i deponeringshålet.
3. Skaderisk för kapsel och dess skyddshölje under transport i deponeringshålet.
4. Många transporter i deponeringshålet.
5. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning.

4.2 MLH 7 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med kapseln glidande mot bentoniten i slutskedet. Strålskyddstub med plunge

4.2.1 Allmän beskrivning

Denna tekniska lösning bygger på MLH 6 för singeldeponering (se /4/ avsnitt 5.2). Kapseln och bentonitbufferten deponeras vid skilda tidpunkter. Först deponeras bentonitbufferten och därefter skjuts kapseln in i centrumhålet som lämnas av bentonitringarna.

För förflyttningen av bentonitbuffert och kapsel i strålskyddstub används ett så kallat iläggningssaggregat. Formade plåtar är utlagda i deponeringshålet som gångskydd för iläggningssaggregat och strålskyddstuben.

Tre olika fordon används vid deponeringen, ett bentonitfordon, ett deponeringsfordon och ett fordon för gångskydd. Deponeringen av en kapsel sker i fyra steg. Ett deponeringshål fylls med n kapslar i $4n + 2$ steg.

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

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

Deponeringsprocessen

Deponeringsskvensen åskådliggörs i ritning JADE 000 0120B.

En kapsel deponeras i två steg:

- Bentonitfordonet dockar hålet och för in laddningsröret med bentonitringarna.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras i botten av hålet.
- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in strålskyddstuben med kapseln.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och kapseln deponeras i bentonitringarnas centrumhål.

Deponeringshålet fylls alltså med n stycken kapslar i $4n + 2$ steg:

- Ett gångskydd läggs in i hålet.
- En kapsel deponeras i fyra steg, vilket innebär $4n$ steg för n kapslar.
- De förseglande bentonitblocken deponeras.

Innan någon kapsel deponeras i ett deponeringshål läggs skyddsplåtar ut i hålet. Plåtarnas längd är anpassad, så att de går jämt upp med deponeringsplatserna för kapslar. Plåtarna läggs ut från hålets mynning och inåt, med deponeringsplatsen för den innersta kapseln lämnas bar.

Följande fyra steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt. I det första och andra steget deponeras bentonitbufferten för en kapsel. I det tredje och fjärde steget deponeras en kapsel i bentonitringarnas centrumhål.

I första steget läggs bentonitringar motsvarande längden av en kapsel in i deponeringshålet. Om ingen kapsel lagts in tidigare i detta deponeringshål läggs även ett bentonitblock i botten av hålet.

Bentonitringarna (och ett bentonitblock om det är första gången buffert läggs i ett hål) lastas i ett laddningsrör på bentonitfordonet i centralområdet. Fordonet transporterar dem till deponeringshålet och positioneras framför aktuellt deponeringshål. Vid deponeringshålet vrids laddningsröret i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas laddningsröret med bentonitelementen till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Laddningsröret med bentonitelementen kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

I andra steget flyttas bentonitfordonet till deponeringspositionen för iläggingsaggregatet. Iläggingsaggregatet matas in i hålet, kopplas ihop med laddningsröret, samt skjuter detta till deponeringsplatsen. Sista sträckan skjuts laddningsröret för bentonitringarna i kontakt med deponeringshålets vägg, men iläggingsaggregatet stannar på gångskyddet. Där vrids laddningsröret ett halvt varv kring sin längdaxel, vilket resulterar i att bentonitelementen glider ur laddningsröret och hamnar på deponeringshålets botten.

Iläggingsaggregatet med laddningsröret återgår till bentonitfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta bentonitpaketet för nästa kapsel.

I det tredje steget matas kapseln i sin strålskyddstub in i deponeringshålet. Deponeringsfordonet transporterar kapseln liggande inne i ett strålskydd, fram till aktuellt deponeringshål, där fordonet positioneras och stabiliseras.

Vid deponeringshålet vrids strålskyddstuben i horisontalplanet och matas av från fordons chassi till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen och lämnas där.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggningsaggregatet.

I det fjärde steget matas iläggningsaggregatet in i hålet, kopplas ihop med strålskyddstuben, samt skjuter denna fram till de tidigare deponerade bentonitringarna. Där skjuter en plunge ut kapsel ur strålskyddet in i bentonitringarna.

Iläggningsaggregatet med strålskyddstuben återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa kapsel.

Vartefter kapslar deponeras tas skyddsplåtarna bort från nästa deponeringsplats och återanvänds mellan hålen.

I ett avslutande steg, när hålet fyllts med kapslar, läggs de förslutande bentonitblocken in i deponeringshålet med ett hjälp av laddningsröret, i ett förfarande som motsvarar deponeringen av bentonitringarna.

4.2.2 Maskinbeskrivning

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

Deponeringsfordonet

Deponeringsfordonets utseende framgår av ritningarna:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Iläggningsaggregat för kapselpaket	JADE MLH 1004
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonets chassi	JADE 000 0424

Bentonitfordon

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Laddningsrör på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Iläggningsaggregatet är försett med kopplingsmekanism och vridenhet för laddningsrör, grip-enhet mot bergväggen.

- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Bentonitfordonet utrustas med två laddningsrör. I ett laddningsrör byggs ett paket med bentonitringar medan det andra deltar i en deponeringsprocess.

Deponeringsfordon

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet. Plunge för skjutning av kapsel från strålskyddstuben in i bentonitringarna. Detta utförs med hydraulisk kolv. Vattentank och pump behövs för hydrauliken.
- Elmotordrivna kuls kruvar för linjär förflyttning av strålskyddstuben in i deponeringshålets försänkning.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Fordon för gångskydd

Ett fordon för iläggning och borttagning av skyddsplåtar. Deponeringshålets botten fodras med cirka 2 m långa plåtsegment i hela hålets längd, utom de sista metrarna där kapseln kommer att ligga i sin bentonitbuffert.

4.2.3 Processbeskrivningen

1. Skyddsplåtarna läggs ut i deponeringshålet med början från hålets mynning. Detta görs med utrustning för att skarva plåtarna, som tillhör ilägningsaggregatet på fordon för gångskydd.
2. Bentonitringar (plus ett block vid första deponeringen längst in i ett nytt deponeringshål) monteras till ett paket i ett laddningsrör. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Två laddningsrör används (utbytes-system).
3. Bentonitfordonet anländer till centralområdet och lämnar ett tomt laddningsrör. Röret lämnas i ett sådant läge att punkt 2 kan genomföras. Det färdigmonterade laddningsröret kopplas ihop med bentonitfordonet.
4. Bentonitfordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavettrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion och skjuts fram medelst en linjär rörelse in i deponeringshålet strax innanför mynningen.

6. Bentonitfordonet positioneras om för anslutning av iläggningsaggregatet.
7. Iläggningsaggregatet går fram, kopplas ihop med laddningsröret och fortsätter skjuta detsamma på gångskyddet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
8. I rätt position töms laddningsröret medelst en 180° vridrörelse kring längdaxeln. Därefter går iläggningsaggregatet i retur till fordonet som återgår sedan till djupförvarets centralområde för lastning av nästa färdigmonterat bentonitpaket.
9. Parallellt med händelserna i punkter 1–8 installeras en kapsel tillsammans med ett gaveltäckande bentonitblock (på gaveln som kommer att vetta mot deponeringshålets mynning) i ett strålskydd i djupförvarets centralområde. Skyddet är anslutningsbart till kapsel-fordonets chassi och försett med en intern plungekolv samt yttre justeringsanordning i två plan (vertikalt och horisontellt).
10. Kapsel-fordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
11. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion och matas av ifrån chassit över till deponeringshålet strax innanför mynningen medelst en linjär rörelse.
12. Kapsel-fordonet positioneras om för anslutning av iläggningsaggregatet.
13. Iläggningsaggregatet går fram, kopplas ihop med strålskyddet och fortsätter skjuta detsamma på gångskyddet, fram tills skyddets framsida kommer i kontakt med det tidigare inplacerat bentonitpaketet.
14. Efter justeringen av kapselns position i förhållande till bentonitpaketet (med stöd ifrån bergväggen) matas kapseln in i det med hjälp av plungekolven. Därefter går iläggningsaggregatet i retur till fordonet som återgår sedan till djupförvarets centralområde för lastning av nästa färdigmonterad kapsel.
15. Fordonet för gångskydd positioneras vid aktuellt deponeringshål och drar hela gångskyddsmattan ut ur deponeringshålet så långt att nästa kapselpaket skall hamna på "ofordrat golv".
16. Punkt 2–15 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 17–19.
17. Bentonitfordonet med det förseglande bentonitpaketen transporteras till och sedan positioneras vid aktuellt deponeringshål, deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
18. Laddningsröret med bentonitblocken vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion och skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i deponeringshålet.
19. I rätt position töms laddningsröret medelst en 180° vridrörelse kring längdaxeln. Därefter går rörelserna i retur och fordonet kan återgå till djupförvarets centralområde för lastning av ett färdigmonterat bentonitpaket.

4.2.4 Fördelar och nackdelar med MLH 7

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

Fördelar

1. Den totala nettolasten (cirka 30 ton kapsel och 20 ton bentonit) hanteras i två mindre dellaster.
2. Bufferten kan inspekteras även när den är placerad i sin slutposition, innan kapseln skjuts in.
3. Möjlighet att styra slutposition på kapseln.
4. Färre rörliga delar i kapselhanteringen (kapseln ligger direkt i strålskyddet).
5. Gångskydd eliminerar kontakt mellan deponeringsutrustning och bergvägg.

Nackdelar

1. Begränsad tid mellan deponering av bentonit och kapsel på grund av vattentillströmning.
2. Hantering av plungekolvens hydraulvätska (vatten).
3. Eventuella effekten av inskjutningen av kapseln i buffertens centrumhål kan ej kontrolleras (och ännu mindre åtgärdas).
4. Hantering, transport, utläggning samt återtag av gångskyddet.

5 Tekniska lösningar avseende deponering ”i paket” med laddningsrör

5.1 MLH_{AF-1} – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” liggande på kulburet, vridbart laddningsrör i deponeringshålet

5.1.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket” med hjälp av ett vridbart, skopformat laddningsrör.

Laddningsröret vilar på kulrullar. Inga åtgärder vidtas för att skydda berget från paketets vikt. Inga åtgärder vidtas för att skydda bentonitbufferten från dropp. Laddningsröret förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggingsaggregat.

Endast ett fordon används. Deponeringen av ett paket med en kapsel utförs i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.

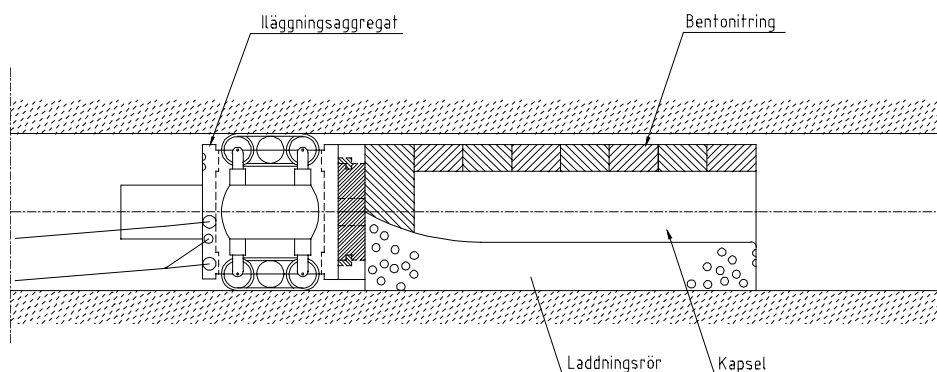
Lämpliga dimensioner på transporttunneln är (se avsnitt 3.3.2; figur 3-2):

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Höjd $H = 4$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.

Ingen strålningsrisk förekommer vid deponeringen.

Deponeringsfordonet utrustas med två laddningsrör för kapselpaket. Det ena används till att bygga ett paket i medan det andra deltar i den pågående deponeringen. Ett tredje laddningsrör används endast för de bentonitblock med vilka deponeringshålet förseglas efter att samtliga kapslar deponerats i hålet.



Figur 5-1. Iläggingsaggregat med laddningsrör och kapselpaket, se även ritning JADE MLH 1002.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för deponeringen av n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras i deponeringshålets bortre ände. Detta sker endast innan deponeringen av det första paketet och kan utföras manuellt, eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

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. Deponeringsfordonet hämtar laddningsröret med paketet i centralområdet och transporterar paketet till deponeringshålet. Under transporten befinner sig laddningsröret med kapseln i en strålskyddstub.

I första steget placeras deponeringsfordonet i deponeringsposition med kapselpaketet i laddningsröret framför deponeringshålet. Vid hålet vrids strålskyddstuben i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas laddningsröret med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Laddningsröret med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggingsaggregatet.

I andra steget matas iläggingsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med laddningsröret. Aggregatet skjuter laddningsröret till deponeringsplatsen. Där vrids laddningsröret ett halvt varv kring sin längdaxel, vilket resulterar i att hela paketet glider ur laddningsröret och hamnar på deponeringshålets botten.

Iläggingsaggregatet med laddningsröret återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa "paket".

I det avslutande steget, när deponeringshålet är fyllt, förseglas hålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i det tredje laddningsröret, som endast används vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

5.1.2 Maskinbeskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ändblocken deponeras tillsammans i ett paket. Ett fordon används. I deponeringshålet används ett laddningsrör som drivs fram av ett iläggningsaggregat.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Iläggningsaggregat för kapselpaket	JADE MLH 1004
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi	JADE 000 0424

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet 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.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Iläggningsaggregatet är försett med kopplingsmekanism och vridenhet för laddningsrör, grip-enhet mot bergväggen.
- Laddningsrör för paket med kapsel, bentonitringar och ett bentonitändblock inuti strålskyddstuben.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

5.1.3 Processbeskrivning

1. I djupförvarets centralområde monteras bentonitringar och ett block monteras till ett paket direkt i laddningsröret, med utnyttjande av fasta installationer. Laddningsröret ligger horisontellt upplagt, skilt från strålskyddet. Efter färdig montering skjuts en yttre rörhylsa över laddningsröret.
2. Det monterade laddningsröret reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta laddningsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis falls laddningsröret 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 deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras där framför det aktuella deponeringshålet.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets bortre ände (endast vid första deponeringen i ett hål).
6. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavettrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
7. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
8. Laddningsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
9. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kulskruvarna kopplas från laddningsröret och går i retur.
10. Strålskyddet och lavettrörelsen går i retur.
11. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggningsaggregatet.
12. Iläggningsaggregatet går fram, kopplas ihop med laddningsröret och fortsätter matningsrörelsen i deponeringshålet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
13. Gripenheten låser fast sig mot bergväggen i det rätta läget, vridenheten vrider sedan laddningsröret cirka 180° kring den horisontella längdaxeln. Kapselpaketet hamnar därmed på deponeringshålets botten varvid laddningsröret hamnar i tomrummet mellan bentonitbufferten och bergväggen och blir avlastat.
14. Iläggningsaggregatet går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.
15. Punkt 3–14 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 16–22.
16. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
17. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.

18. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
19. Bentonitpaket skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
20. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
21. 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.
22. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

5.1.4 Fördelar och nackdelar med MLH_{ÅF-I}

Sammanställningen av fördelar och nackdelar återspeglar endast en relativ bedömning i jämförelse med de övriga deponeringstekniker för horisontell, seriell deponering som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Mindre känsligt för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
2. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
3. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
4. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
5. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.

Nackdelar

1. Risk för rörelsehindrande störningar i samverkan mellan bergvägg och laddningsrör. Lossade bergsflisor kan kila fast laddningsrör.
2. Ovisshet om den åstadkomna påverkan på bentonitbufferten vid laddningsrörets tömning.
3. Under laddningsrörets ”tömning” gör kapseln i bentonitbufferten en okontrollerad avrullningsrörelse.
4. Bentonitbuffertens ovan del är oskyddad mot droppande vatten under transporten i deponeringshålet.

5.2 MLH 3 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med vridbart laddningsrör på gångskydd i deponeringshålet

5.2.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket” med hjälp av ett vridbart, skopformat laddningsrör.

Laddningsröret vilar på kulrullar och förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggingsaggregat. Formade plåtar ligger utlagda i deponeringshålet som gångskydd för iläggingsaggregat och för laddningsröret. Aggregatet skjuter laddningsröret i kontakt med gångskyddet förutom de sista metrarna, där rörets rullkroppar kommer i kontakt direkt med berget. Aggregatet lämnar aldrig gångskyddet. Iläggning och borttagning av dessa skyddsplåtar görs av ett fordon, fordon för gångskydd. Inga åtgärder vidtas för att skydda bentonitbufferten från dropp.

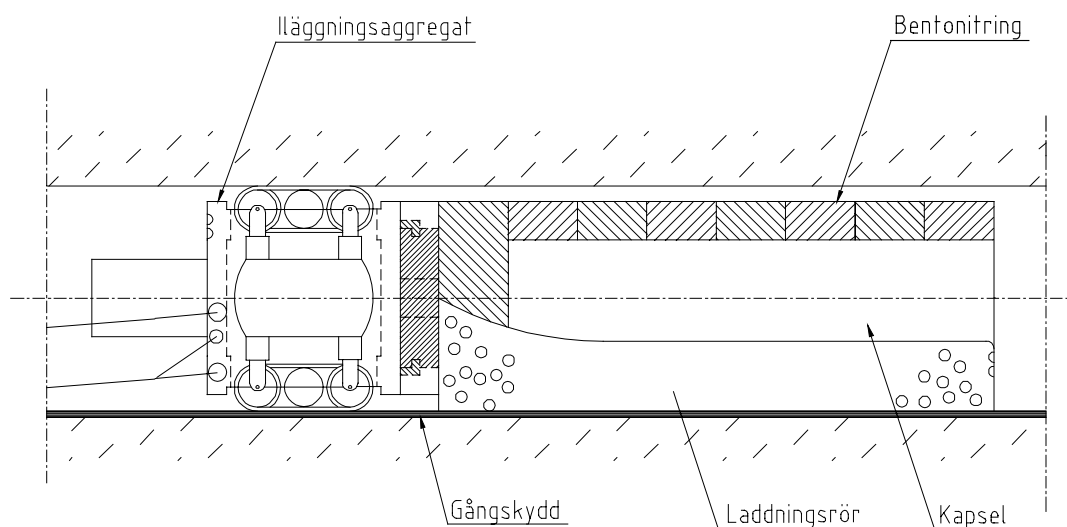
Två fordon används. Deponeringen av ett paket med en kapsel utförs i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.

Lämpliga dimensioner på transporttunneln är (se avsnitt 3.3.1; figur 3-2):

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.

Deponeringsfordonet utrustas med två laddningsrör för kapselpaket. Det ena används till att bygga ett paket i medan det andra deltar i den pågående deponeringen. Ett tredje laddningsrör används endast för de bentonitblock med vilka deponeringshålet förseglas efter att samtliga kapslar deponerats i hålet.



Figur 5-2. Iläggingsaggregat med laddningsrör och kapselpaket.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Alltså, ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras och skyddsplåtar läggs in.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras i deponeringshålets botre ände. Sedan läggs skyddsplåtar in i hålet. Plåtarnas längd är anpassad, så att de går jämt upp med kapselpaketens deponeringsplatser. De läggs in från hålets mynning och inåt, men deponeringsplatsen för det innersta paketet lämnas bar. Detta arbete kan utföras manuellt eftersom ingen strålning förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

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. Deponeringsfordonet hämtar laddningsröret med paketet i centralområdet och transporterar paketet till deponeringshålet. Under transporten befinner sig laddningsröret med kapseln i en strålskyddstub.

I första steget placeras deponeringsfordonet i deponeringsposition med kapselpaketet i laddningsröret framför deponeringshålet. Vid hålet vrids strålskyddstuben i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas laddningsröret med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Laddningsröret med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggingsaggregatet.

I andra steget matas iläggingsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med laddningsröret. Aggregatet skjuter laddningsröret fram till deponeringsplatsen på gångskyddet. Den sista sträckan, motsvarande paketets deponeringsplats, går laddningsröret på bara berget. På platsen vrids laddningsröret ett halvt varv kring sin längdaxel, vilket resulterar i att hela paketet glider ur laddningsröret och hamnar på deponeringshålets botten.

Iläggingsaggregatet med laddningsröret återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa ”paket”. Vartefter kapselpaketerna deponeras tas skyddsplåtarna bort från nästa deponeringsplats och återanvänds mellan hålen.

I det avslutande steget, när deponeringshålet är fyllt, förseglas deponeringshålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett tredje laddningsrör, som endast används vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglande bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

5.2.2 Maskinbeskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ändblocken deponeras tillsammans i ett paket. Två fordon används. I deponeringshålet används ett laddningsrör som drivs fram av ett iläggningsaggregat. Båda går på plåtar som lagts ut som gångskydd.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Iläggningsaggregat för kapselpaket	JADE MLH 1004
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi	JADE 000 0424
Utförande gångskydd	JADE MLH 1009

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet 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.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Iläggningsaggregatet är försett med kopplingsmekanism och vridenhet för laddningsrör, grip-enhet mot bergväggen.
- Laddningsrör för paket med kapsel, bentonitringar och ett bentonitändblock inuti strålskyddstuben.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för upprikning och styrning av fordon och kapsel.

Fordon för gångskydd

Ett fordon för iläggning och borttagning av skyddsplåtar. Deponeringshålets botten fodras med cirka 2 m långa plåtsegment i hela hålets längd, utom de sista metrarna där ”paketet” kommer att ligga.

5.2.3 Processbeskrivning

1. Skyddsplåtarna läggs ut i deponeringshålet med början från hålets mynning. Detta görs med utrustning för att skarva plåtarna, som tillhör iläggningsaggregatet på fordon för gångskydd.
2. Bentonitringar och ett block 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.
3. Det monterade laddningsröret reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta laddningsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis fälls laddningsröret 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. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras där framför det aktuella deponeringshålet.
6. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets borte ände (endast vid första deponeringen i ett hål).
7. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
8. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
9. Laddningsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
10. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kuls kruvarna kopplas från laddningsröret och går i retur.
11. Strålskyddet och lavetrörelsen går i retur.
12. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggningsaggregatet.
13. Iläggningsaggregatet går fram, kopplas ihop med laddningsröret och fortsätter matningsrörelsen i deponeringshålet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
14. Gripenheten låser fast sig mot bergväggen, vridenheten vrider sedan laddningsröret cirka 180° kring den horisontella längdaxeln. Kapselpaketet hamnar därmed på deponeringshålets botten varvid laddningsröret hamnar i tomrummet mellan bentonitbufferten och bergväggen och blir avlastat.

15. Iläggingsaggregatet går i retur.
16. Iläggingsaggregatet går upp på deponeringsfordonet, detta frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.
17. Fordonet för gångskydd positionerar vid aktuellt deponeringshål och drar hela gångskyddsmattan ut ur deponeringshålet så långt att nästa kapselpaket skall hamna på "ofordrat golv".
18. Punkt 3–17 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 19–25.
19. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
20. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
21. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
22. Bentonitpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
23. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
24. 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.
25. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

5.2.4 Fördelar och nackdelar med MLH 3

Sammanställningen av fördelar och nackdelar återspeglar endast en relativ bedömning i jämförelse med de övriga deponeringstekniker för horisontell, seriell deponering som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Mindre känsligt för vattentillströmning till deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
2. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering "i paket").
3. Mindre risk för felhantering vid deponering "i paket".
4. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
5. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en "verkstad".
6. Gångskydd eliminerar kontakt mellan deponeringutrustning och bergvägg.

Nackdelar

1. Ovisshet om den åstadkomna påverkan på bentonitbufferten vid laddningsrörets tömning.
2. Under laddningsrörets "tömning" gör kapseln i bentonitbufferten en okontrollerad avrullningsrörelse.
3. Bentonitbuffertens ovandel är oskyddad mot droppande vatten under transporten i deponeringshålet.
4. Hantering, transport, utläggning samt återtag av gångskydd.

5.3 MLH 6 – Deponering av strålskyddad kapsel "i paket" liggande på luftburet, vridbart laddningsrör i deponeringshålet

5.3.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett "paket" med hjälp av ett vridbart, skopformat laddningsrör.

Laddningsröret vilar på luftkuddar, uppdelade i segment för att säkerställa funktionen även då berget är sprucket och leder bort luften. Laddningsröret förflyttas i deponeringsröret med ett så kallat iläggingsaggregat. Inga åtgärder vidtas för att skydda bentonitbufferten från dropp.

Endast ett fordon används. Deponeringen av ett paket med en kapsel sker i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.

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

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.

Deponeringsfordonet utrustas med två laddningsrör för kapselpaket. Det ena används till att bygga ett paket i medan det andra deltar i den pågående deponeringen. Ett tredje, kulburet laddningsrör används endast för de bentonitblock med vilka deponeringshålet förseglas efter att samtliga kapslar deponerats i hålet.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Alltså, ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för deponeringen av n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras längst in i deponeringshålet. Detta arbete kan utföras manuellt eftersom ingen strålning förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

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. Deponeringsfordonet hämtar laddningsröret med paketet i centralområdet och transporterar paketet till deponeringshålet. Under transporten befinner sig laddningsröret med kapseln i en strålskyddstub.

I första steget placeras deponeringsfordonet i deponeringsposition med kapselpaketet i laddningsröret framför deponeringshålet. Vid hålet vrids strålskyddstuben i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas laddningsröret med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Laddningsröret med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggingsaggregatet.

I andra steget matas iläggingsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med laddningsröret. Aggregatet skjuter laddningsröret fram till deponeringsplatsen på gångskyddet. På platsen vrids laddningsröret ett halvt varv kring sin längdaxel, vilket resulterar i att hela paketet glider ur laddningsröret och hamnar på deponeringshålets botten.

Iläggingsaggregatet med laddningsröret återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa "paket".

I det avslutande steget, när deponeringshålet fyllts med kapslar, förseglas hålet med ytterligare bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett annat laddningsrör, som endast används vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

5.3.2 Maskinbeskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ändblocken deponeras tillsammans i ett paket. Ett fordon, här kallat deponeringsfordon, används. I hålet används ett laddningsrör som förflyttas av ett så kallat iläggningsaggregat.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Iläggningsaggregat för kapselpaket	JADE MLH 1004
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi	JADE 000 0424
Laddningsrörets utförande	JADE MLH 1012A
Laddningsrörets utförande	JADE MLH 1012B

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet (se avsnitt 1.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Iläggningsaggregatet är försett med kopplingsmekanism och vridenhet för laddningsrör, grip-enhet mot bergväggen.
- Laddningsrör för paket med kapsel, bentonitringar och ett bentonitändblock inuti strålskyddstuben. Laddningsröret är försett med luftkuddar istället för med kul-kroppar. Luftkuddarna är segmenterade, så att olycklig sprickbildning i hålet ej skall äventyra funktionen hos luftkuddarna genom kollaps.
- Kompressor för tryckluften till luftkuddarna. Kompressorn spänningsförsörjs först av deponeringsfordonet direkt och sedan via iläggningsaggregatet.
- Laddningsrör för bentonitändblock. Detta laddningsrör är kulburet.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

5.3.2 Processbeskrivning

1. Bentonitringar och ett block 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 laddningsröret reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta laddningsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis falls laddningsröret 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 bentonitblock direkt på fordonet. Fordonet dockar med hotcellen och drar in det förberedda laddningsröret i strålskyddet.
4. Deponeringsfordonet körs fram till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets bortre ände (endast vid första deponeringen i ett hål).
6. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavettrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
7. En kompressor startar och förser luftkudden på laddningsröret med ett luftflöde.
8. Laddningsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
9. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget. Kompressorn kopplas bort varvid kapselpaketet lägger sig på golvet i deponeringshålet. Kuls kruvarna kopplas från laddningsröret och går i retur.
10. Lavettrörelsen går i retur.
11. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggningsaggregatet.
12. Iläggningsaggregatet går fram och kopplas ihop med laddningsröret. Kompressorn startas återigen, nu försörd från iläggningsaggregatet, och lyfter kapselpaketet. Matningsrörelsen fortsätter i deponeringshålet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning. Aggregatet är självgående, kraftmatning och styrning sker från deponeringsfordonet via kablar.
13. Gripenheten låser fast sig mot bergväggen i det rätta läget, vridenheten vrider sedan laddningsröret cirka 180° kring den horisontella längdaxeln. Kapselpaketet hamnar därmed på deponeringshålets botten varvid laddningsröret hamnar i tomrummet mellan bentonitbufferten och bergväggen och blir avlastat. Kompressorn kopplas successivt från under vridningen.
14. Iläggningsaggregatet går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.
15. Punkt 3–14 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 16–22.
16. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.

17. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
18. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
19. Bentonitpaket skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
20. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
21. 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.
22. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

5.3.4 Fördelar och nackdelar med MLH 6

Sammanställningen av fördelar och nackdelar nedan återspeglar endast en relativ bedömning i jämförelse med de övriga deponeringstekniker för horisontell, seriell deponering som presenteras i föreliggande rapport.

Fördelar

1. Mindre känsligt för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
2. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
3. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
4. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
5. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.
6. Luftkudde minimerar kontakt mellan deponeringstrustning och bergvägg.

Nackdelar

1. Ovisshet om den åstadkomna påverkan på bentonitbufferten vid laddningsrörets tömning.
2. Under laddningsrörets ”tömning” gör kapseln i bentonitbufferten en okontrollerad avrullningsrörelse.
3. Bentonitbuffertens ovan del är oskyddad mot droppande vatten under transporten i deponeringshålet.

6 Tekniska lösningar avseende deponering ”i paket” med deponeringsrör

6.1 MLH 1 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” i kopparnät glidande mot berget i deponeringshålet

6.1.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket”, som hålls ihop i en ”korg” av kopparskenor. Denna kopparkorg lämnas kvar i deponeringshålet.

Kapselpaketet i sin kopparkorg glider på berget. Paketet förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggingsaggregat. Inga åtgärder vidtas för att skydda berget från paketets vikt. Inga åtgärder vidtas för att skydda bentonitbufferten från dropp.

Endast ett fordon används. Deponeringen av ett paket med en kapsel utförs i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.

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

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt. Deponeringshålets diameter avviker från vad som beskrivits i avsnitt 3.3.2 . Den bör kunna minskas till cirka 1 700 mm därför att paketet glider på sina kopparskenor i deponeringshålet och vrids inte vid deponeringen.

För förseglingen av ett deponeringshål med bentonitblock används ett laddningsrör.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för deponeringen av n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras i deponeringshålets bortre ände. Detta sker endast innan det första paketet deponeras och kan utföras manuellt, eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och bentonitringar till ett paket i ett nät av kopparskenor. För detta utnyttjas fasta installationer i centralområdet. Deponeringsfordonet hämtar paketet i sin korg i centralområdet och transporterar paketet till deponeringshålet. Under transporten befinner sig kapselpaketet i en strålskyddstub.

I första steget placeras deponeringsfordonet med kapselpaketet i deponeringsposition framför deponeringshålet. Vid hålet vrids strålskyddstuben cirka 90° i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas ”kopparkorgen” ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. ”Kopparkorgen” med kapselpaketet i kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggningsaggregatet.

I det andra steget matas iläggningsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med ”kopparkorgen”. Aggregatet skjuter paketet framför sig till deponeringsplatsen och lämnar det där. Iläggningsaggregatet återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa ”paket”.

I det avslutande steget, när deponeringshålet fyllts med kapslar, förseglas hålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett laddningsrör.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

6.1.2 Maskinbeskrivning

Deponeringen sker från ett och samma fordon, här kallat deponeringsfordon, vilket är försett med ett integrerat tubformat strålskydd. Inskjutning och inläggning på plats i deponeringshålet sker med ett iläggningsaggregat.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen se ritning	JADE MLH 1001
Lavett se ritning	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för kapselpaketet	JADE MLH 1004
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi se ritning	JADE 000 0424

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Det är försett med en kopplingsmekanism till kapselpaketet.
- Iläggningsaggregat med laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

6.1.3 Processbeskrivning

1. Bentonitringar och ett block monteras till ett paket i en tidigare färdigställd ”korg” av kopparskenor. Detta sker i djupförvarets centralområde med utnyttjande av fasta installationer.
2. Det monterade bentonit/kopparpaketet reses vertikalt och installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta paketet (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat).
3. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet. Fordonet dockar med hotcellen och drar in det förberedda kapselpaketet i strålskyddet.
4. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras där framför det aktuella deponeringshålet.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets botre ände (endast vid första deponeringen i ett hål).

6. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av en elmotor-driven konstruktion med ett kuggkranslager.
7. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
8. ”Kopparkorgen” matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
9. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kulskruvarna kopplas från kapselpaketet och går i retur.
10. Lavetrörelsen går i retur.
11. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggingsaggregatet.
12. Iläggingsaggregatet går fram, kopplas ihop med kapselpaketet skjuter in detta i deponeringshålet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
13. Iläggingsaggregatet går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.
14. Punkt 3–12 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 14–20.
15. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
16. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
17. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
18. Bentonitpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
19. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
20. 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.
21. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

6.1.4 Fördelar och nackdelar med MLH 1

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

Fördelar

1. Möjlighet att återta kapselpaketet efter avslutad deponering.
2. Minskad risk för rörelsehindrande störningar i samverkan mellan bergvägg och kapselpaket.
3. Deponeringshålets dimensioner bör kunna minskas.
4. Få mekanismer och rörelsemoment
5. Okänslighet för vattentillströmning i 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”.
8. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
9. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.

Nackdelar

1. Ytterligare material (koppar) lämnas kvar i deponeringshålet.
2. Kostnad för kopparkorg.
3. ”Kopparkorgen” ger inte ett heltäckande skydd för bentonitelementen mot fysisk påverkan från berget (bergflisor, vatten).

6.2 MLH 4 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med avdragsbart, stelt deponeringsrör på gångskydd i deponeringshålet

6.2.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket” med hjälp av ett deponeringsrör.

Deponeringsröret förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggingsaggregat. Formade plåtar är utlagda i deponeringshålet som gångskydd för iläggingsaggregat och som glidyta för deponeringsröret. Iläggingsaggregatet skjuter deponeringsröret i kontakt med gångskyddet förutom de sista metrarna, där deponeringsröret kommer i kontakt direkt med berget. Iläggingsaggregatet lämnar aldrig gångskyddet.

Två fordon används. Kapselpaketet deponeras av ett deponeringsfordon. Gångskyddet läggs in i hålet och dras bort från hålet av ett fordon, fordon för gångskydd.

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

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt. Deponeringshålets diameter avviker från vad som beskrivits i avsnitt 3.3.2. Diametern bör kunna minskas till cirka 1 700 mm därför att paketet i sitt deponeringsrör glider på gångskyddet i deponeringshålet och ingen vridning förekommer när paketet lämnas på sin deponeringsplats.

Deponeringsfordonet utrustas med två deponeringsrör. I det ena byggs ett paket med kapsel och bentonit medan det andra deltar i den pågående deponeringen. Fordonet utrustas även med ett laddningsrör, som endast används för de förseglande bentonitringarna efter att samtliga kapslar deponerats i deponeringshålet.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för deponeringen av n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras längst in i deponeringshålet. Sedan läggs gångskyddsplåtarna in, från hålets mynning inåt. Plåtarnas längd är anpassad, så att de går jämt upp med kapselpaketets deponeringsplatser. De sista metrarna längst in, motsvarande en deponeringsplats för ett kapselpaket, läggs inte några plåtar in. Detta arbete sker endast innan det första paketet deponeras och kan utföras manuellt eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och bentonitringar till ett paket i deponeringsröret. För detta utnyttjas fasta installationer i centralområdet. Deponeringsfordonet hämtar röret med paketet i centralområdet och transporterar det till deponeringshålet. Under transporten befinner sig kapselpaketet i en strålskyddstubb.

I första steget placeras deponeringsfordonet i deponeringsposition med kapselpaketet framför det aktuella deponeringshålet. Vid deponeringshålet vrids strålskyddstuben 90° i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas

deponeringsröret med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Deponeringsröret med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggingsaggregatet.

I andra steget matas iläggingsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med deponeringsröret. Aggregatet skjuter detta till deponeringsplatsen. Där hålls kapselpaketet på plats av ett mothåll, deponeringsröret dras tillbaka tills hela kapselpaketet glider ur deponeringsröret och hamnar på deponeringshålets botten.

Iläggingsaggregatet med deponeringsröret återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa "paket".

Vartefter kapselpaketerna deponeras tas bort skyddsplåtarna bort och återanvänds mellan hålen.

I det avslutande steget, när hålet fyllts med kapslar, förseglas deponeringshålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett laddningsrör, som endast används vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

6.2.2 Maskinbeskrivning

Två fordon används. Deponeringen sker från ett och samma fordon, här kallat deponeringsfordon, vilket är försett med ett integrerat tubformat strålskydd. Inskjutning och inläggning på plats i deponeringshålet sker med ett iläggingsaggregat. Gångskyddsplåtarna läggs in i hålet och dras ut av ett fordon för gångskydd.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggingsaggregat för kapselpaketet	JADE MLH 1004
Iläggingsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi	JADE 000 0424
Utformning av gångskydd	JADE MLH 1011A
Deponeringssekvens	JADE MLH 1011B

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Ilägningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Det är försett med en kopplingsmekanism till deponeringsröret, ett mothåll mot bentoniten och en kulskruv för att dra av deponeringsröret från kapselpaketet.
- Deponeringsrör, som är stelt och avdragbart.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Fordon för gångskydd

Ett fordon för iläggning och borttagning av skyddsplåtar. Deponeringshålets botten fodras med cirka 2 m långa plåtsegment i hela hålets längd, utom de sista metrarna där ”paketet” kommer att ligga.

6.2.3 Processbeskrivning

1. Skyddsplåtarna läggs ut i deponeringshålet med början från hålets mynning. Detta görs med utrustning för att skarva plåtarna, som tillhör ilägningsaggregatet på fordon för gångskydd.
2. Bentonitringar och ett block monteras till ett paket direkt i deponeringsröret. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Deponeringsröret står vertikalt skilt från strålskyddet. Två deponeringsrör används (utbytes-system).
3. Det monterade deponeringsröret installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta deponeringsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis fälls deponeringsröret tillbaka till horisontellt läge.
4. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och lämnar ett tomt deponeringsrör. Röret lämnas i ett sådant läge att punkt 2 kan genomföras. Fordonet dockar med hotcellen och drar in det förberedda deponeringsröret i strålskyddet.
5. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
6. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets botten ände (endast vid första deponeringen i ett hål).

7. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotor driven konstruktion med ett kuggkranslager.
8. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
9. Deponeringsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotor drivna kulskruvar.
10. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kulskruvarna kopplas från deponeringsröret och går i retur.
11. Strålskyddet och lavetrörelsen går i retur.
12. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggingsaggregatet.
13. Iläggingsaggregatet går fram, kopplas ihop med deponeringsröret och fortsätter skjuta deponeringsröret (med kapsel och bentonitelementen) på gångskyddet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
14. Då kapselpaketet ligger i rätt position roteras en kulskruv, så att ett mothåll går mot det yttre bentonitblocket. Iläggingsaggregatet är fästad i deponeringsröret, kulskruven roteras vidare varvid iläggingsaggregatet och röret dras av kapselpaketet.
15. Iläggingsaggregatet går tillbaks till deponeringsfordonet och tar med sig deponeringsröret. Deponeringsfordonet körs tillbaks till centralområdet.
16. Fordonet för gångskydd positionerar vid aktuellt deponeringshål och drar hela gångskyddsmattan ut ur deponeringshålet så långt att nästa kapselpaket skall hamna på "ofordrat golv".
17. Punkt 4–16 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 18–24.
18. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
19. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
20. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotor drivet kuggkranslager.
21. Bentonitpaket skjuts fram med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
22. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotor drivna kulskruvar.
23. 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.
24. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

6.2.4 Fördelar och nackdelar med MLH 4

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

Fördelar

1. Heltäckande skydd för kapselpaketet under hela deponeringen.
2. Okänslighet för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
3. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering ”i paket”).
4. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
5. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
6. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.
7. Möjlighet att styra slutpositionen på kapseln.
8. Gångskydd eliminerar kontakt mellan deponeringutrustning och bergvägg.
9. Deponeringshålets dimensioner bör kunna minskas.

Nackdelar

1. Hantering, transport, utläggning samt återtag av gångskydd.
2. Eventuell påverkan på bentonitbufferten vid utskjutning ur deponeringsröret.

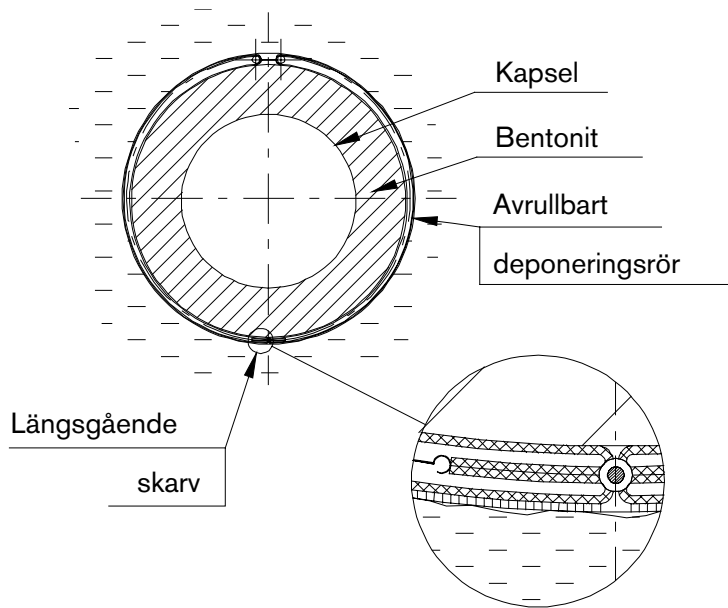
6.3 MLH 8 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i delar” med avrullbart, böjligt deponeringsrör glidande på gångskydd i deponeringshålet

6.3.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket” med hjälp av ett avrullbart, böjligt deponeringsrör.

Deponeringsröret förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggingsaggregat. Formade plåtar är utlagda i deponeringshålet som gångskydd för iläggingsaggregat och som glidyta för deponeringsröret. Iläggingsaggregatet skjuter deponeringsröret i kontakt med gångskyddet förutom de sista metrarna, där deponeringsröret kommer i kontakt direkt med berget. Iläggingsaggregatet lämnar aldrig gångskyddet.

Två fordon används. Deponeringen av ett paket med en kapsel utförs i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.

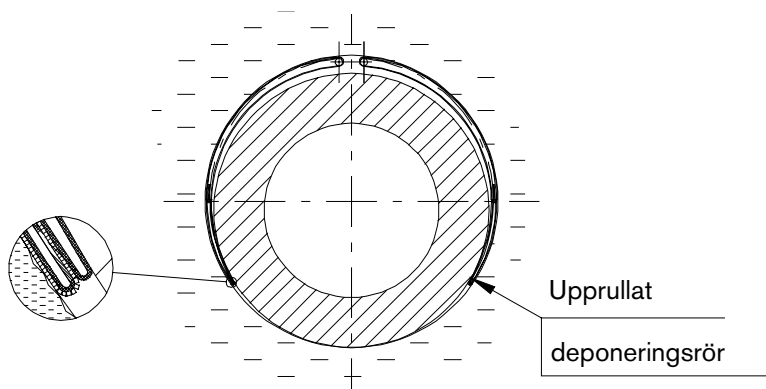


Figur 6-1. Kapselpaket i avrullbart, böjligt deponeringsrör.

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

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försäkningsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.



Figur 6-2. Kapselpaket i delvis upprullat deponeringsrör.

Deponeringsfordonet utrustas med två deponeringsrör. I det ena byggs ett paketet medan det andra deltar i den pågående deponeringen. Fordonet utrustas även med ett laddningsrör, som endast används för de förseglande bentonitringarna efter att samtliga kapslar deponerats i deponeringshålet.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta blocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för deponeringen av n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras längst in i deponeringshålet. Sedan läggs gångskyddsplåtarna in, från hålets mynning inåt. Plåtarnas längd är anpassad, så att de går jämt upp med kapselpaketens deponeringsplatser. De sista metrarna längst in, motsvarande en deponeringsplats för ett kapselpaket, läggs inte några plåtar in. Detta arbete sker endast innan det första paketet deponeras och kan utföras manuellt eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och bentonitringar till ett paket i deponeringsröret. För detta utnyttjas fasta installationer i centralområdet. Deponeringsfordonet hämtar röret med paketet i centralområdet och transporterar det till deponeringshålet. Under transporten befinner sig kapselpaketet i en strålskyddstubb.

I första steget placeras deponeringsfordonet i deponeringsposition med kapselpaketet framför det aktuella deponeringshålet. Vid deponeringshålet vrids strålskyddstuben 90° i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas deponeringsröret med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Deponeringsröret med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggingsaggregatet.

I andra steget matas iläggingsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med deponeringsröret. Aggregatet skjuter detta till deponeringsplatsen i kontakt med gångskyddet förutom de sista metrarna, där deponeringsröret kommer i kontakt direkt med berget. Iläggingsaggregatet lämnar aldrig gångskyddet. Deponeringsrörets nedre längdsgående skarv lossas och vardera halvan av deponeringsröret dras uppåt utvändigt kapselpaketet, så att detta hamnar på deponeringshålets botten. Se ritning JADE MLH 1013B.

Iläggingsaggregatet med det upprullade deponeringsröret återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa ”paket”.

Vartefter kapselpaketen deponeras tas bort skyddsplåtarna bort och återanvänds mellan hålen.

I det avslutande steget, när hålet fyllts med kapslar, förseglas deponeringshålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett laddningsrör, som endast används vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

6.3.2 Maskinbeskrivning

Deponeringen sker från ett och samma fordon, här kallat deponeringsfordon, vilket är försett med ett integrerat tubformat strålskydd. Paketet skjuts in och läggs på plats i deponeringshålet med ett iläggingsaggregat. Iläggning och borttagning av skyddsplåtar görs av ett andra fordon, fordon för gångskydd.

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggingsaggregat för kapselpaket	JADE MLH 1004
Iläggingsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi	JADE 000 0424
Utformning av gångskydd	JADE MLH 1013A
Avrullbart, böjligt deponeringsrör	JADE MLH 1013B

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.

- Iläggningssaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Det är försett med en kopplingsmekanism till deponeringsröret och utrustning för att koppla loss och rulla upp det böjiga deponeringsröret från kapselpaketet.
- Deponeringsrör, som är böjligt och upprullbart.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Fordon för gångskydd

Ett fordon för iläggning och borttagning av skyddsplåtar. Deponeringshålets botten fordras med cirka 2 m långa plåtsegment i hela hålets längd, utom de sista metrarna där ”paketet” kommer att ligga.

6.3.3 Processbeskrivning

1. Skyddsplåtarna läggs ut i deponeringshålet med början från hålets mynning. Detta görs med utrustning för att skarva plåtarna, som tillhör iläggningssaggregatet på fordon för gångskydd.
2. Bentonitringar och ett block monteras till ett paket direkt i deponeringsröret. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Två deponeringsrör används (utbytessystem).
3. Det monterade deponeringsröret installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta deponeringsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis fälls deponeringsröret tillbaka till horisontellt läge.
4. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och lämnar ett tomt deponeringsrör. Röret lämnas i ett sådant läge att punkt 2 kan genomföras. Fordonet dockar med hotcellen och drar in det förberedda deponeringsröret i strålskyddet.
5. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
6. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets bortre ände (endast vid första deponeringen i ett hål).
7. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavettrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
8. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
9. Deponeringsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
10. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kulskruvarna kopplas från deponeringsröret och går i retur.
11. Strålskyddet och lavettrörelsen går i retur.

12. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggningsaggregatet.
13. Iläggningsaggregatet går fram, kopplas ihop med deponeringsröret och fortsätter skjuta deponeringsröret (med kapsel och bentonitelementen) på gångskyddet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
14. Då kapselpaketet ligger i rätt position frigörs laddningsrörets skarv under kapselpaketet. Laddningsröret bäge halvordras upp på utsidan av kapselpaket, så att kapselpaketet hamnar på deponeringshålets botten.
15. Iläggningsaggregatet går tillbaks till deponeringsfordonet och tar med sig deponeringsröret. Deponeringsfordonet körs tillbaks till centralområdet.
16. Fordonet för gångskydd positionerar vid aktuellt deponeringshål och drar hela gångskyddsmattan ut ur deponeringshålet så långt att nästa kapselpaket skall hamna på "ofordrat golv".
17. Punkt 4–16 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 18–24.
18. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
19. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
20. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
21. Bentonitpaket skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
22. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
23. 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.
24. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

6.3.4 Fördelar och nackdelar med MLH 8

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

Fördelar

1. Heltäckande skydd för kapselpaketet under hela deponeringen.
2. Okänslighet för vattentillströmning i deponeringshålet på grund av samtidig deponering av kapsel och bentonit.
3. Mindre skaderisk för deponeringskomponenter (deponering "i paket").

4. Mindre risk för felhantering vid deponering ”i paket”.
5. Enkelt att reversera deponeringsprocessen.
6. Kapseln och bentonitringar monteras ihop i en ”verkstad”.
7. Möjlighet att styra slutpositionen på kapseln.
8. Gångskydd eliminerar kontakt mellan deponeringutrustning och bergvägg.

Nackdelar

1. Hantering, transport, utläggning samt återtag av gångskydd.
2. Avrullningsbart, böjligt deponeringsrör är en komplicerad konstruktion och känslig för driftstörningar.

6.4 MLH 9 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med avdragbart, stelt deponeringsrör glidande på isskikt i deponeringshålet

6.4.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket” med hjälp av ett deponeringsrör.

Nedre delen av deponeringshålets omslutande mantelyta beläggs med ett isskikt som utgör ett glidskikt för deponeringsröret. Isskiktet upprätthålls tills deponeringen i det aktuella hålet är avslutad.

Deponeringsröret förflyttas i hålet med ett så kallat ilägningsaggregat.

Endast ett fordon används. Deponeringen av ett paket med en kapsel utförs i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.

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

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

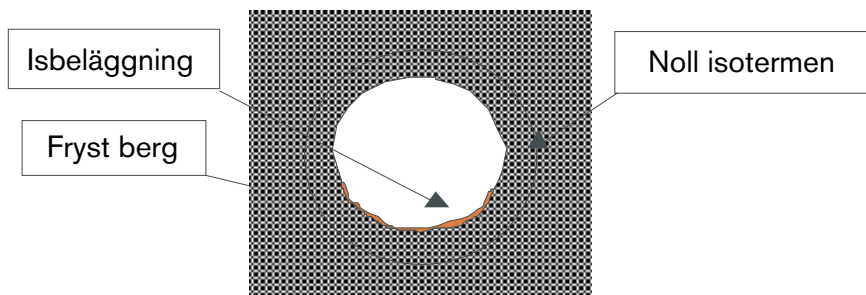
Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.

Framställningen av ett skikt is som gångskydd

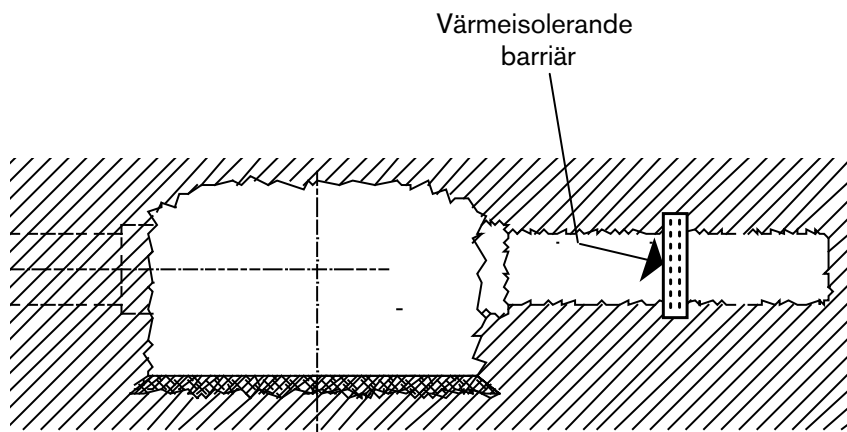
Ett gångskydd för deponeringsröret och för iläggingsaggregatet ordnas genom att frysa vatten på deponeringshålets väggar till is. Isbeläggningen täcker hela hålets längd. Lämplig tjocklek bör testas fram avseende vikt, hastighet och temperatur.

Isbeläggningen framställs i två steg:

1. Deponeringshålets inre volym hålls vid -15°C i cirka 48 timmar med hjälp av kontinuerlig inblåsning av luft med en temperatur på -15°C . Efter dess 48 timmar har berget frusit (0°C isotermin befinner sig) cirka 0,5 m in från hålets vägg. Vattnet i vattenförande bergsprickor har också frusit, varför sprickorna inte längre är vattenförande. Medelkyleffekten över de två dyggen är cirka 0,6 MW för ett 200 m djupt hål.
2. Efter att deponeringshålet kylts ner förs en "ismaskin" in i hålet. Ismaskinens främre del jämnar ut den ojämna, fläckvisa isbeläggningen som har bildats på hålets vägg under nedkylningsperioden genom att hyvla eller fräsa bort störande isformationer (runt om hålets omkrets). Samtidigt sprejar ismaskinens bakre del hålets nedre halva med nedkyllt vatten som fryser till en isbeläggning.



Figur 6-3. Noll isotermin, frost bergvolym och isbelagd del av hålväggen.



Figur 6-4. Placeringen av den värmeisolerande barriären.

Upprätthållandet respektive avvecklingen av skapat isskikt

En aktiv underhållskylning mellan två på varandra följande deponeringar bedöms kunna upprätthålla det klimat som behövs att stabilisera förhållanden i deponeringshålet. För underhållskylningen försluts mynningen på deponeringshålet helt med en värmeisolerande barriär.

Avvecklingen av skapat isbeläggning bedöms kunna tillåtas ske på en naturlig väg.

Eftersom deponeringen sker med ett viss tidsmellanrum (exempelvis en kapsel per dygn), motverkas underhållskylningen i deponeringshålet av en energitillförsel från berget och de redan deponerade kapslarna. Följden blir att kylningen i den del av deponeringshålet där de deponerade paketen (kapslarna) ligger försämras av två skäl. Dels utgör paketen en värmekälla, dels är de en barriär för kyl luften.

Summaeffekten blir att först smälter isbeläggningen under paketen och sedan, med en viss fördröjning, förlorar bergvolymen kring hålet sin tätande funktion när isen i vattenförande sprickorna smälter. Denna summaeffekt kommer att ge sig till känna genom att vatten visar upp sig på deponeringshålets vägg. En sådan summaeffekt är i och för sig inte besvärande för tekniken som sådan. Det som vore besvärande, men bör kunna undvikas med rätt dimensionering, är om detta vatten skulle kunna lämna den delen av deponeringshålet där paketen deponerats och rinna ut till den del där inga paket ännu deponerats. Deponeringshålet lutar mot transporttunneln med en lutning på högst 1:100 enligt förutsättningarna i projekt JADE.

Med ”rätt dimensionering” menas identifieringen av de praktiskt användbara värden för de egenskaper och parametrar som bromsar den ovannämnda upptiningen. Dessa är:

- sammanhanget mellan den frysta bergvolymens tjocklek och tiden tills den tätande funktionen förloras,
- bentonitbuffertens vattenupptagning,
- bentonitgelens potential som barriär mot rinnande vatten,
- kylningens effektivitet över de sist och näst sist deponerade paketen.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar hålet igen och för in iläggingsaggregatet. Aggregatet deponerar paketet i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringen i ett hål inleds med att ett isskikt anordnas som glidskikt i deponeringshålet, enligt den procedur som beskrivits ovan, i avsnittet **Framställningen av ett skikt is som gångskydd**. Proceduren påbörjas cirka 48 timmar innan första kapseln skall deponeras.

I det första steget i deponeringen, när vattnet frusit och berget kylts ner, placeras ett bentonitblock i deponeringshålets bortre ände. Detta moment utförs innan det första paketet deponeras. De kan utföras manuellt, eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och bentonitringar till ett paket i ett deponeringsrör. För detta utnyttjas fasta installationer i centralområdet. Deponeringsfordonet hämtar paketet i sitt rör i centralområdet och transporterar paketet till deponeringshålet. Under transporten befinner sig kapselpaketet i en strålskyddstubb.

I första steget placeras deponeringsfordonet med kapselpaketet i deponeringsposition framför deponeringshålet. Vid hålet vrids strålskyddstuben cirka 90° i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas paketet i deponeringsröret ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Röret med kapselpaketet i kopplas loss och lämnas i detta läge.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggningssaggreatet.

I det andra steget matas iläggningssaggreatet in i hålet och kopplas ihop med deponeringsröret. Saggreatet skjuter paketet framför sig till deponeringsplatsen, glidande på isskiktet. Där hålls kapselpaketet på plats av ett mothåll. Deponeringsröret dras tillbaka tills hela kapselpaketet glider ur deponeringsröret och hamnar på isremsan i deponeringshålets botten.

Iläggningssaggreatet återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa "paket".

Under den tid som iläggningssaggreatet skjuter deponeringsröret, lämnar paketet på sin plats och går i retur är den värmeisolerande barriären i hålets mynning på plats.

Under hela tiden som deponeringsprocessen i ett hål pågår upprätthålls isbeläggningen med hjälp av underhålskyllning i den tomma delen av hålet. Företrädesvis underhållskyls deponeringshålet mellan två på varandra följande deponeringar. Upprätthållandet av glidskiktet kan även innebära förnyad sprejning med vatten.

I det avslutande steget, när deponeringshålet fyllts med kapslar, förseglas hålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett laddningsrör.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

6.4.2 Maskinbeskrivning

För deponeringen används ett fordon, här kallat deponeringsfordon, vilket är försett med ett integrerat tubformat strålskydd. Kapselpaketet skjuts in och läggs på plats med ett så kallat iläggningsaggregat.

Deponeringsfordon

Hanteringen av kapselpaketet med deponeringsfordonet framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för kapselpaketet	JADE MLH 1004
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi	JADE 000 0424

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet.
- Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Det är försett med en kopplingsmekanism till deponeringsröret, ett mothåll mot bentoniten och en kulskruv för att dra av deponeringsröret från kapselpaketet.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Deponeringsrör.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Utrustning för framställning av isbeläggning i botten på deponeringshålet

Enligt presentationen i avsnitt **Framställning av isskikt som gångskydd** skall utrustningen svara för skapandet dels av rätt klimat för isbeläggningen, dels av en isbeläggning med önskad kvalitet på hålets vägg. Utrustningen är delvis stationär och installerad utanför deponeringshålet, men flyttas mellan aktuella deponeringshålen, och delvis mobil i deponeringshålet.

6.4.3 Processbeskrivning

1. Prepareringen av aktuell deponeringshål med avseende på att åstadkomma en isrensa i hålets botten har två dygn tidigare påbörjats.
2. Bentonitringar och ett block monteras till ett paket direkt i deponeringsröret. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Deponeringsröret står vertikalt skilt från strålskyddet. Två deponeringsrör används (utbytes-system).
3. Det monterade deponeringsröret installeras sedan i en strålskyddad cell (hotcell). En kapsel med använt kärnbränsle firas ned i det uppresta deponeringsröret (lämpligen från en ovanliggande våning där yttransportfordonet är parkerat). Avslutningsvis fälls deponeringsröret tillbaka till horisontellt läge.
4. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet och lämnar ett tomt deponeringsrör. Röret lämnas i ett sådant läge att punkt 2 kan genomföras. Fordonet dockar med hotcellen och drar in det förberedda deponeringsröret i strålskyddet.
5. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
6. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets botten (endast vid första deponeringen i ett hål).
7. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotor driven konstruktion med ett kuggkranslager.
8. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
9. Deponeringsröret matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotor drivna kulskruvar.
10. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kulskruvarna kopplas från deponeringsröret och går i retur.
11. Strålskyddet och lavetrörelsen går i retur.
12. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggingsaggregatet.
13. Iläggingsaggregatet går fram, kopplas ihop med deponeringsröret och fortsätter med att skjuta deponeringsröret med kapsel och bentonitelementen fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
14. Samtidigt med att transporten i deponeringshålet påbörjats återinstalleras värmebarriären.
15. Då kapselpaketet ligger i rätt position roteras en kulskruva, så att ett mothåll går mot det yttre bentonitblocket. Iläggingsaggregatet är fäst i deponeringsröret, kulskruven roteras vidare varvid iläggingsaggregatet och röret dras av kapselpaketet.
16. Iläggingsaggregatet går tillbaks till deponeringsfordonet och tar med sig deponeringsröret. Deponeringsfordonet körs tillbaks till centralområdet.
17. Under tiden tills deponeringsfordonet återkommer med nästa paket återupptas underhållskylningen.

18. Punkt 4–17 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 19–25.
19. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
20. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
21. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
22. Bentonitpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
23. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
24. 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.
25. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

6.4.4 Fördelar och nackdelar med MLH 9

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

Fördelar

1. Heltäckande skydd för kapselpaketet under hela deponeringen.
2. Vattentillströmning till deponeringshålet hindras av att berget är nedfryst närmast deponeringshålet.
3. Bentonitbufferten är skyddad mot mekaniska skador (bergflisor, utfallande mindre block ur sidor och tak).
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 styra slutpositionen på kapseln.
9. Isskikt eliminerar kontakt mellan deponeringstrustning och bergvägg samt minskar friktionen (is: $\sigma_{\text{tryck}} \approx 13$ respektive 7 MPa).
10. Skapade isskiktet behöver inget återtagningsmoment.

Nackdelar

1. Hantering av ett relativt komplex system för skapandet av isbeläggingen.
2. Eventuell påverkan på bentonitbuffert vid utskjutning ur deponeringsrör.
3. Ej beprövad teknik.

7 Tekniska lösningar avseende deponering ”i paket”, urtag i bufferten

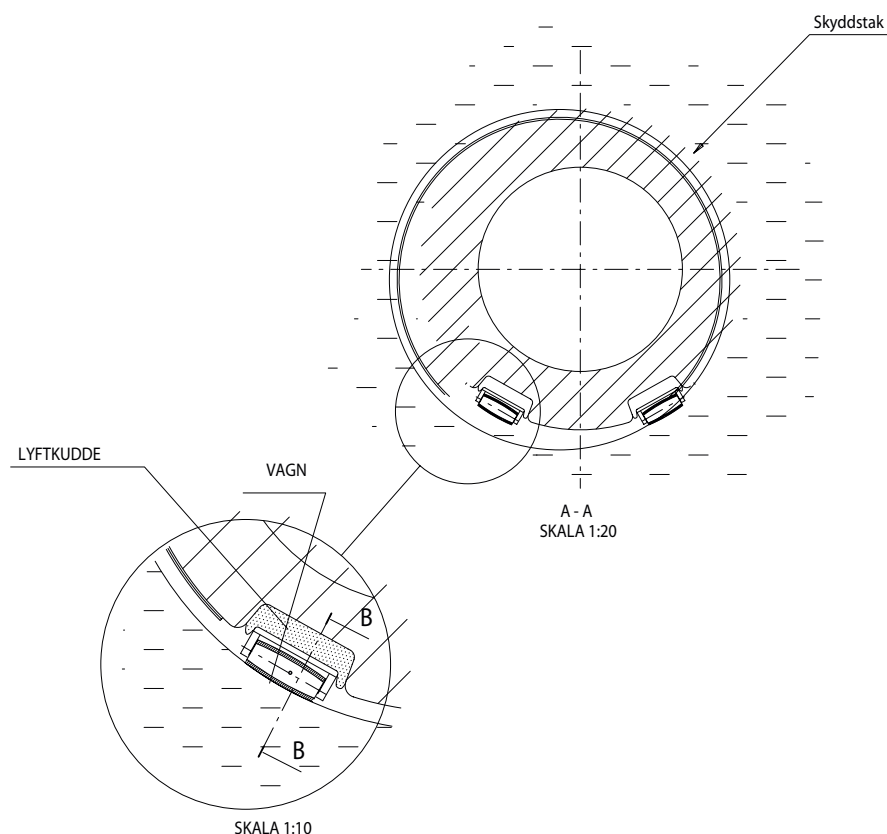
7.1 MLH 2A – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med bandburen gaffelvagn i deponeringshålet

7.1.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket” av en bandburen gaffelvagn.

Paketet ligger på lyftkuddar ovanpå vagnens gafflar, se figur 7-1 nedan. Bentonitbuferten skyddas från dropp under transporten i deponeringshålet med ett skyddstak. Gaffelvagnen förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggingsaggregat.

Endast ett fordon används, deponeringsfordonet. Deponeringen av ett paket med en kapsel utförs i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.



Figur 7-1. Iläggingsaggregatets larvband med lyftkuddar.

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

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.

Bentonitelementen avviker från förutsättningarna i projekt JADE. Samtliga bentonitblock och -ringar har två urtag i den yttre begränsningsytan för att paketet skall kunna hantieras av gaffelvagnen. De förseglande blocken har inga urtag.

Bentonitblocken med vilka deponeringshålet förseglas deponeras med hjälp av ett laddningsrör.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet med gaffelvagnen.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för deponeringen av n stycken kapslar.
- De förseglande bentonitblocken deponeras i ett separat paket efter att samtliga kapselpaket har deponerats.

Deponeringsprocessen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras i deponeringshålets borte ände, innan det första paketet deponeras. Arbetet kan utföras manuellt, eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapselpaket som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och bentonitringar till ett paket i en verkstad i centralområdet. Deponeringsfordonet hämtar paketet och transporterar det till deponeringshålet. Under transporten befinner sig paketet med kapseln, vilande på en gaffelkonstruktion, i en strålskyddstub.

I första steget placerar deponeringsfordonet monteringsröret med kapselpaketet till det aktuella deponeringshålet och placerar sig där i deponeringsposition. Vid deponeringshålet vrids strålskyddstuben i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas gaffelkonstruktionen med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Gaffelkonstruktionen med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggningsaggregatet.

I ett andra steg matas iläggningsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med gaffelvagnen. Aggregatet skjuter paketet, vilande på gafflarna, till deponeringsplatsen. Där släpps vatten ur lyftkuddarna och paketet sjunker ner på deponeringshålets botten.

Iläggningsaggregatet återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa "paket".

I det avslutande steget, när hålet fyllts med kapslar, förseglas deponeringshålet sedan med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett laddningsrör, som endast används vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

7.1.2 Maskinbeskrivning

Ett enda fordon, här kallat deponeringsfordon, används. Inne i deponeringshålet används en gaffelvagn, på vilken paketet vilar, och ett iläggningsaggregat, som skjuter gaffelvagnen framför sig tills "paketet" når rätt position. För de förseglade bentonitblocken används ett laddningsrör.

Utförande av larvband för trucken, se ritning JADE MLH 1007.

Deponeringsfordon

Hanteringen av kapselpaketet med deponeringsfordonet framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för kapselpaketet	JADE MLH 1004
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi se ritning	JADE 000 0424

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet (se avsnitt 1.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.

- Strålskyddstub på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningssaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Paketet bestående av kapsel och buffert vilar på en gaffeltruckliknande konstruktion, där vardera gaffeln är försett med larvband och lyftkuddar. Dessa fylls med vatten när kapselpaketet lyfts respektive töms när paketet sänks. Även ett skyddstak över kapselpaketet kan vara kopplat till gaffeltrucken.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

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 fälls röret 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 deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras där framför det aktuella deponeringshålet.
5. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets bortre ände (endast vid första deponeringen i ett hål).
6. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
7. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
8. 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.
9. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kuls kruvarna kopplas från och går i retur.
10. Strålskyddet och lavetrörelsen går i retur.
11. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggningssaggregatet.
12. Iläggningssaggregatet går fram, kopplas ihop med monteringsröret Gafflarnas lyftkuddar fylls, monteringsröret lyfts och fortsätter matningsrörelsen i deponeringshålet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
13. Lyftkuddarna töms, kapselpaketet läggs ner på deponeringshålets golv och gafflarna blir avlastade.

14. Iläggningssaggregatet går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.
15. Punkt 3–14 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 16–22.
16. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
17. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
18. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
19. Bentonitpaket skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
20. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
21. 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.
22. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

7.1.4 Fördelar och nackdelar med MLH 2A

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

Fördelar

1. Möjlighet att åstadkomma heltäckande takskydd för kapselpaketet under hela deponeringsprocessen.
2. Möjlighet att återta kapselpaketet efter avslutad deponering.
3. Mindre känsligt 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 styra slutpositionen på kapseln.

Nackdelar

1. Urtag i bentonitelementen.
2. Eventuell efterfyllning av urtag i bentonitelementen.
3. Risk för rörelsehindrande störningar i samverkan mellan kapselpaket och bergvägg.

7.2 MLH 2B – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” med rullgående gaffelvagn på gångskydd i deponeringshålet

7.1.1 Allmän beskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket” med hjälp av en gaffelvagn.

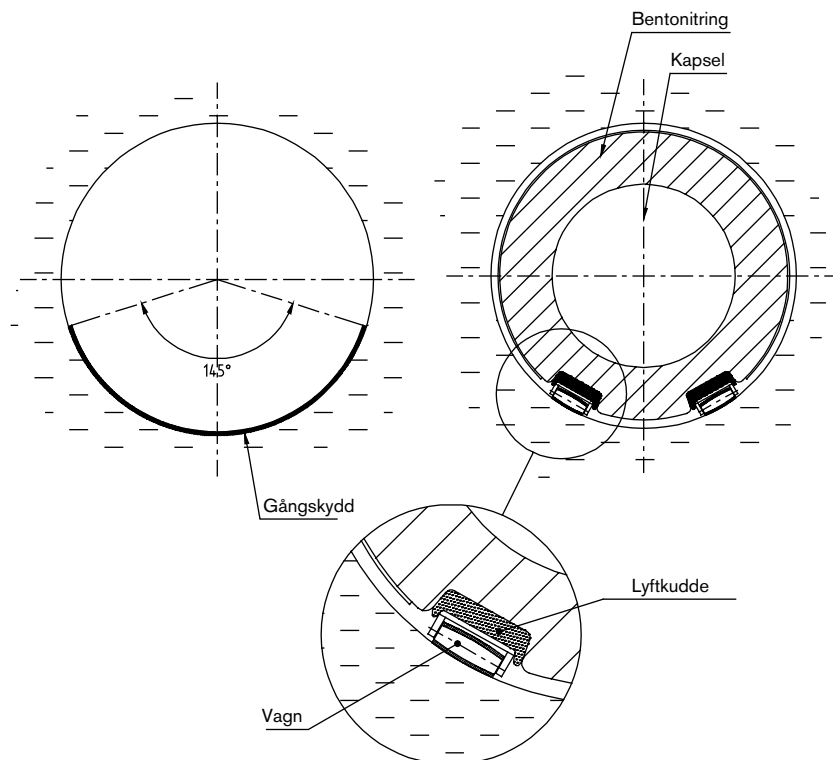
Paketet vilar på lyftkuddar ovanpå gaffelvagnens gafflar. Gaffelvagnen förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggningsaggregat. Gaffelvagnen och aggregatet rullar på plåtar som lagts ut som gångskydd. De sista metrarna rullar gaffelvagnen på bara berget. Iläggningsaggregatet lämnar inte gångskyddet. Ett skyddstak skyddar bentonitbufferten för dropp.

Två fordon används, ett deponeringsfordon med kapseln och ett fordon för gångskydd som används för att lägga in och ta bort skyddsplåtarna. Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Ett deponeringshål fylls med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg.

Lämpliga dimensioner på transporttunneln är (se avsnitt 3.3.1; figur 3-2):

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försänkingsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter

Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.



Figur 7-2. Gångskydd och iläggningsaggregatets larvband och lyftkuddar.

Bentonitelementen avviker från förutsättningarna i projekt JADE. Samtliga bentonitblock, utom de förseglande blocken, och bentonitringar har två urtag i den yttre begränsningsytan för att paketet skall kunna hanteras av gaffelvagnen.

Ingen strålningsrisk förekommer vid deponeringen.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in paketet vilande på en gaffeltruck.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för deponeringen av n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Deponeringsprocessen inleds med att ett bentonitblock placeras i deponeringshålets botre ände. Skyddsplåtar läggs ut i deponeringshålet. Plåtarnas längd är anpassad, så att de går jämt upp med kapselpaketets deponeringsplatser. De läggs ut från hålets mynning och inåt, fram till den innersta deponeringsplats som lämnas bar. Detta sker innan det första paketet deponeras och arbetet kan utföras manuellt, eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet fyllts.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och -ringar till ett paket. Före detta utnyttjas fasta installationer i centralområdet. Deponeringsfordonet hämtar paketet och transporterar det till deponeringshålet. Under transporten vilar paketet på gaffelvagnen i en strålskyddstub.

I första steget placeras deponeringsfordonet med kapselpaketet i deponeringsposition framför det aktuella deponeringshålet. Vid hålet vrids strålskyddstuben i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas gaffelkonstruktionen med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben till ett läge i deponeringshålet strax innanför mynningen. Gaffelkonstruktionen med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggingsaggregatet.

I det andra steget matas iläggingsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med gaffelvagnen. Aggregatet skjuter paketet, vilande på gafflarna, till deponeringsplatsen. Gaffelvagnen körs ut på bara berget men iläggingsaggregatet stannar på gångskyddet. Vid deponeringsplatsen släpps vattnet ur lyftkuddarna och paketet sjunker ned på deponeringshålets botten.

Iläggingsaggregatet återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa "paket".

Vartefter kapselpaketerna deponeras dras skyddsplåtar motsvarande en kapsellängd ut ur deponeringshålet.

I det avslutande steget, när hålet fyllts med kapslar, förseglas deponeringshålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett laddningsrör, som används endast vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

7.2.2 Maskinbeskrivning

Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ändblocken deponeras tillsammans i ett paket från ett och samma fordon, här kallat deponeringsfordon.

För transporten och placeringen inne i deponeringshålet används en gaffeltruck, på vilken paketet vilar och ett ilägningsaggregat som skjuter paketet framför sig.

Gångskydden läggs in och dras ut av ett fordon för gångskydd.

Utförande gångskydd och larvband se ritning JADE MLH 1009

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Lavett se ritning	JADE MLH 1005
Ilägningsaggregat för paketet	JADE MLH 1004
Ilägningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonschassi	JADE 000 0424

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet. 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.

- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Paketet bestående av kapsel och buffert vilar på en gaffeltruckliknande, där vardera gaffeln är försedd med larvband och lyftkyddar. Dessa vattenfylls respektive töms för lyftning och sänkning av kapselpaketet. Även ett skyddstak över kapselpaketet kan vara kopplat till gaffeltrucken.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Fordon för gångskydd

Ett fordon för iläggning och borttagning av skyddsplåtar. Deponeringshålets botten fordras med cirka 2 m långa plåtsegment i hela hålets längd, utom de sista metrarna där första ”paketet” kommer att ligga.

7.2.3 Processbeskrivning

1. Skyddsplåtarna läggs ut i deponeringshålet med början från hålets mynning. Detta görs med utrustning för att skarva plåtarna, som tillhör iläggningsaggregatet på fordon för gångskydd.
2. 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.
3. 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 fälls röret tillbaka till horisontellt läge.
4. 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.
5. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet, dockar med hotcellen och drar in det förberedda monteringsröret i strålskyddet.
6. Deponeringsfordonet körs bort till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras där framför det aktuella deponeringshålet.
7. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets borte ände (endast vid första deponeringen i ett hål).
8. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotordriven konstruktion med ett kuggkranslager.
9. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
10. Gaffelkonstruktionen matas ur strålskyddet, in i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.

11. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kulskruvarna kopplas från och går i retur.
12. Strålskyddet och lavettrörelsen går i retur.
13. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggingsaggregatet.
14. Iläggingsaggregatet går fram, kopplas ihop med monteringsröret. Gafflarnas lyftkuddar fylls, monteringsröret lyfts och fortsätter matningsrörelsen i deponeringshålet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
15. Iläggingsaggregatet stannar vid kanten av skyddsplåtarna, lyftkuddarna töms och kapselpaketet hamnar på deponeringshålets golv och gafflarna blir avlastade.
16. Iläggingsaggregatet går i retur till strålskyddet.
17. Iläggingsaggregatet går tillbaka till deponeringsfordonet varvid lavettrörelsen går tillbaka. Fordonet frigörs från bergväggen och återgår till centralområdet.
18. Fordonet för gångskydd positionerar vid aktuellt deponeringshål och drar hela gångskyddsmattan ut ur deponeringshålet så långt att nästa kapselpaket skall hamna på ”ofordrat golv”.
19. Punkt 3–18 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 20–26.
20. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
21. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
22. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotordrivet kuggkranslager.
23. Bentonitpaketet skjuts fram med hjälp av en elmotordriven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.
24. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kulskruvar.
25. 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.
26. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

7.2.4 Fördelar och nackdelar med MLH 2B

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

Fördelar

1. Möjlighet att åstadkomma heltäckande takskydd för kapselpaketet under hela deponeringsprocessen.
2. Möjlighet att återta kapselpaketet efter avslutad deponering.
3. Mindre känsligt 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 styra slutpositionen på kapseln.
9. Gångskydd eliminerar kontakt mellan deponeringstrustning och bergvägg.

Nackdelar

1. Urtag i bentonitelementen.
2. Eventuell efterfyllning av urtag i bentonitelementen.
3. Hantering, transport, utläggning samt återtag av gångskydd.

7.3 MLH 5 – Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” på glidskenor i deponeringshålet

7.3.1 Allmän beskrivning

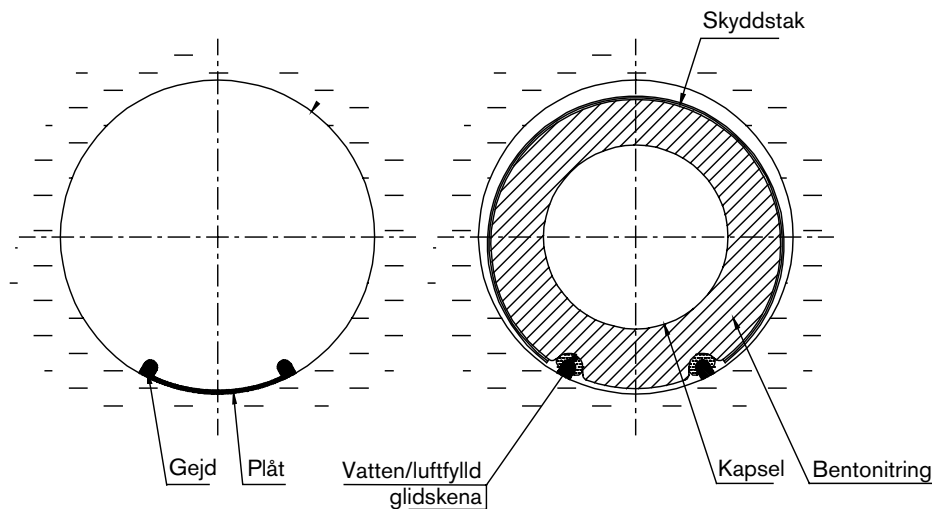
Kapseln, de omslutande bentonitringarna samt ett ändblock vid yttre gaveln deponeras tillsammans som ett ”paket”. Paketet glider på skenor inne i deponeringshålet.

Kapselpaketet vilar på vattenfyllda glidskenor, som glider mot gejdrar i deponeringshålet. Paketet förflyttas i deponeringshålet med ett så kallat iläggningsslaggregat. Bentonitbufferten skyddas flör dropp under transporten med ett skyddstak.

För deponeringen av kapselpaketet används ett fordon, deponeringsfordonet. Iläggning och borttagning av gejdrarna görs av ett fordon, fordon för gejdrar.

Lämpliga dimensioner på transporttunneln är (se avsnitt 3.3.1; figur 3-2):

- Bredd $B = 7,5$ meter
- Anfangshöjd $H_1 = 4$ meter
- Total höjd $H_2 = 5,8$ meter
- Försäkningsdiameter $D = 2,2$ meter
- Försänkingsdjup $l = 0,2-0,5$ meter



Figur 7-3. Gejdrar och vattenfyllda glidskenor.

Deponeringshålet är cirka 200 m långt med en diameter på 1 750 mm.

Bentonitelementen avviker från förutsättningarna i projekt JADE. Samtliga bentonitblock (utom de förseglade blocken) och bentonitringar har två urtag i den yttre begränsningsytan för att paketet skall kunna hanteras av gaffelvagnen.

Ett laddningsrör används för de förseglade bentonitringarna efter att samtliga kapslar deponerats i deponeringshålet.

Deponeringsprocess

Ett paket med en kapsel deponeras i två steg:

- Deponeringsfordonet dockar hålet och för in kapselpaketet.
- Fordonet dockar igen, för in iläggingsaggregatet och paketet deponeras av aggregatet i botten av hålet.

Ett deponeringshål fylls alltså med n stycken kapslar i $2n + 2$ steg:

- Det innersta bentonitblocket deponeras.
- Ett paket med en kapsel deponeras i två steg. Det innebär $2n$ steg för n stycken kapslar.
- Deponeringshålet förseglas med bentonitblock.

Innan deponeringsprocessen inleds i ett deponeringshål läggs gejdrar och skyddsplåt ut i deponeringshålet. Gejdrarnas och plåtarnas längd är anpassad, så att de går jämt upp med kapselpaketets deponeringsplatser. Gejdrarna och plåtarna läggs ut från hålets mynning och inåt. Gejdrarna läggs ut fram till den position där första kapselpaketet bortre ände slutligen hamnar. Skyddsplåten mellan gejdrarna läggs ut till den position där kapselpaketets främre ände kommer att hamna.

Deponeringsprocessen i ett hål inleds med att ett bentonitblock placeras i deponeringshålets bortre ände. Detta kan utföras manuellt, eftersom ingen strålningsrisk förekommer.

Följande två steg upprepas för varje kapsel som deponeras i ett hål, tills deponeringshålet är fyllt.

När kapseln anlant till slutförvaret byggs den ihop med bentonitblock och bentonitringar till ett paket i en verkstad i centralområdet. Deponeringsfordonet hämtar paketet och transporterar det till deponeringshålet. Under transporten befinner sig paketet med kapseln i en strålskyddstub, vilande på glidskenor som i sin tur ligger på gejdrar inbyggda i strålskyddstuben.

I ett första steg placerar sig deponeringsfordonet med kapselpaketet i deponeringsposition framför det aktuella deponeringshålet. Vid deponeringshålet vrids strålskyddstuben i horisontalplanet och dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge matas glidskenorna med kapselpaketet ut ur strålskyddstuben över på gejdrar i deponeringshålet till ett läge strax innanför deponeringshålets mynning. Glidskenorna med kapselpaketet kopplas loss och lämnas i deponeringshålet.

Deponeringsfordonet flyttas till deponeringspositionen för iläggningsaggregatet.

I det andra steg matas iläggningsaggregatet in i hålet och kopplas ihop med paketet. Aggregatet skjuter paketet, vilande på glidskenor, framför sig till deponeringsplatsen. Paketet lämnar gångskyddet när det glider in på sin deponeringsplats men iläggningsaggregatet lämnar inte gångskyddet. I slutpositionen släpps vattnet ur lyftkuddarna och paketet sjunker ned på deponeringshålets botten.

Iläggningsaggregatet återgår till deponeringsfordonet, som sedan kör tillbaka till centralområdet för att hämta nästa ”paket”. Vartefter kapselpaketerna deponeras tas bort skyddsplåtarna med gejdrar bort och återanvänds mellan hålen.

I det avslutande steget, när hålet fyllts med kapslar förseglas deponeringshålet med bentonitblock. Dessa byggs ihop som ett separat paket i ett laddningsrör, som endast används vid den sista deponeringssekvensen i det aktuella hålet.

Deponeringsfordonet med laddningsröret och de förseglade bentonitblocken positioneras vid det aktuella deponeringshålet. Laddningsröret med bentonitpaketet dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Från detta läge skjuts laddningsröret in i deponeringshålet och roteras ett halvt varv kring sin längdsaxeln varvid bentonitpaketet hamnar på deponeringshålets botten. Därefter går alla rörelser i retur.

7.3.2 Maskinbeskrivning

Deponeringen sker från ett och samma fordon, här kallat deponeringsfordon, vilket är försett med ett integrerat tubformat strålskydd. Inskjutning och inläggning på plats i deponeringshålet sker med ett iläggningsaggregat.

Utförande gejdrar och glidskenor, se ritning JADE MLH 1010A

Deponeringsfordon

Deponeringsfordonets utseende framgår av följande ritningar:

Deponeringsfordonets utseende	JADE MLH 1000
Transportlägen	JADE MLH 1001
Lavett	JADE MLH 1005
Iläggningsaggregat för paketet	JADE MLH 1004
Iläggningsaggregat för bentonitändblock	JADE 000 0423
Deponeringsfordonets chassi	JADE 000 0424

Fordonet är cirka 13 m långt, 4,4 m brett, 3,6 m högt och har en uppskattad totalvikt på 170 ton. Antalet hjul (solida gummidäck) är 36 st. Varje hjulpar har egen drivning och är individuellt styrda.

Huvuddelarna utgörs av:

- Gummihjulsburet deponeringsfordon, som bär upp hela utrustningen.
- Huvudmotor av kretsdiesel- eller Stirlingtyp installerad på fordonet (se avsnitt 1.1). Motorn driver en generator för kraftförsörjning till olika funktioner.
- Strålskyddstube på elmotordriven kuggkrans, som vrider tuben cirka 90° i horisontalplanet för positionering axiellt med deponeringshålet.
- Iläggningsaggregat med elmotordrift för transport i deponeringshålet. Kapselpaketet vilar på glidskenor med lyftkuddar. Dessa vattenfylls respektive töms för lyftning och sänkning av kapselpaketet. Även ett skyddstak över kapselpaketet kan vara kopplat till glidskenorna.
- Laddningsrör för bentonitändblock.
- Positionerings- och övervakningsutrustning för uppriktning och styrning av fordon och kapsel.

Fordon för gångskydd

Ett fordon för iläggning och borttagning av gejdrar och skyddsplåtar.

7.3.3 Processbeskrivning

1. Skyddsplåtarna med gejdrar läggs ut i deponeringhålet med början från hålets mynning. Detta görs med utrustning för att skarva gejdrar, som tillhör iläggningsaggregatet på fordon för gejdrar.
2. Bentonitringar och ett block monteras till ett paket i ett monteringsrör, vars inre inhyser gejdrar försedda med glidskenor. Detta sker i djupförvarets centralområde, med utnyttjande av fasta installationer. Monteringsröret ligger horisontellt upplagt, skilt från strålskyddet.

3. 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 fälls röret tillbaka till horisontellt läge.
4. Deponeringsfordonet anländer till centralområdet, dockar med hotcellen och drar in det förberedda kapselpaketet vilande på glidskenor in i strålskyddet.
5. Deponeringsfordonet kör fram till deponeringshålet och positioneras samt stabiliseras framför det aktuella deponeringshålet.
6. Deponeringshålet kontrolleras visuellt. Ett ändblock deponeras i hålets borte ände (endast vid första deponeringen i ett hål).
7. Strålskyddet vrids cirka 90° i horisontalplanet (lavetrörelse) på fordonet med hjälp av en elmotor driven konstruktion med ett kuggkranslager.
8. Strålskyddet skjuts fram med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse in i en försänkning kring deponeringshålets mynning.
9. Kapselpaketet vilande på glidskenor matas ur strålskyddet över på tidigare inlagda gejdrar i deponeringshålet och fram till ett läge strax innanför mynningen. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotor drivna kuls kruvar.
10. Rörelsen bryts i det ovan beskrivna läget, kuls kruvarna kopplas från och går i retur.
11. Strålskyddet och lavetrörelsen går i retur.
12. Deponeringsfordonet positioneras om för anslutning av iläggingsaggregatet.
13. Iläggingsaggregatet går fram, kopplas ihop med kapselpaketet vilande på glidskenor och fortsätter matningsrörelsen i deponeringshålet, fram till den rätta positionen i hålets längdriktning.
14. Iläggingsaggregatet stannar vid kanten av skyddsplåtarna, lyftkuddarna töms och kapselpaketet hamnar på golvet i hålet.
15. Iläggingsaggregatet går tillbaks till deponeringsfordonet varvid lavetrörelsen går tillbaks. Fordonet frigörs från bergväggen och återgår till centralområdet.
16. Fordonet för gejdrar positionerar vid aktuellt deponeringshål och drar hela sammanhängande gejdersystemet tillbaka ut ur deponeringshålet, så att nästa kapselpaket hamnar på golvet mellan gejdrarna.
17. Punkt 4–16 upprepas tills deponeringshålet är fyllt med kapselpaket. Därefter sker försegling av deponeringshålet enligt punkt 18–24.
18. Deponeringshålets främre del kontrolleras visuellt.
19. Deponeringsfordonet positioneras om för deponering av det förseglande bentonitpaketet.
20. Skyddshylsan med bentonitblocken i laddningsröret vrids cirka 90° i horisontalplanet på fordonet med hjälp av ett elmotor drivet kuggkranslager.
21. Bentonitpaket skjuts fram med hjälp av en elmotor driven linjär rörelse in i försänkningen vid deponeringshålets mynning.

22. Laddningsröret matas ur skyddshylsan, in i deponeringshålet fram till det sist deponerade paketet. Rörelsen är linjär och utförs med hjälp av elmotordrivna kuls kruvar.
23. 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.
24. Matningsrörelsen går i retur, fordonet frigörs från bergväggen och är redo att återgå till centralområdet.

7.3.4 Fördelar och nackdelar med MLH 5

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

Fördelar

1. Möjlighet att åstadkomma heltäckande takskydd för kapselpaketet under hela deponeringsprocessen.
2. Möjlighet att återta kapselpaketet efter avslutad deponering.
3. Mindre känsligt 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 styra slutpositionen på kapseln.
9. Glidskenor och gejdrar eliminerar kontakt mellan deponeringutrustning och bergvägg.

Nackdelar

1. Urtag i bentonitelementen.
2. Eventuell efterfyllning av urtag i bentonitelementen.
3. Hantering, transport, utläggning samt återtag av gejdrar.

8 Feleffektanalys

En feleffektanalys har genomförts samtidigt för en deponeringsteknik för horisontell seriell deponering, MLH_{AF-I} , och för tre tekniker för horisontell singeldeponering /4/. Syftet med feleffektanalysen 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 strålskyddsynpunkt. Underlaget som erhållits för de tre teknikerna för singeldeponering och slutsatserna som dragits ur den analysen redovisas i rapporten /4/.

I en feleffektanalys värderas en deponeringsteknik relativt andra tekniker. Eftersom endast en teknik granskats för MLH, kan inte någon analys utföras av resultaten motsvarande den som genomförts för KBS-3 H deponeringstekniker, se rapporten /4/. Däremot kan underlaget som erhållits genom feleffektanalysen användas för att belysa skillnader mellan singeldeponering och seriell deponering. MLH_{AF-I} är en deponering ”i paket” med kulburet vridbart laddningsrör. Tekniken med vridbart laddningsrör har studerats även för singeldeponering och en sådan teknik, 4c, ingick i uppsättningen på tre tekniker på vilka feleffektanalysen utförts.

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 den normala driften och som måste avhjälpas för att deponeringen skall kunna fortgå. För varje fel utgår man från ett värsta tänkbara fall. Vad som orsakat felet tas inte upp. För varje insats som krävs för att avhjälpa felet måste hänsyn tas till om kapseln är strålskyddad eller ej.

Arbetsgången var följande:

- Deponeringsutrustning och funktioner beskrevs i en arbetsrapport, som lämnades till Bengt Lönnberg, AB ATOM, som underlag för dennes arbete.
- Under hans arbete förtydligades deponeringsprocessen genom att bryta ner den i strålningssituationer i en beskrivning (Bilaga 2) som också lämnades till honom.
- Processen analyserades ur en strålskyddsteknisk synvinkel av Lönnberg. Rapporten återges som Bilaga 3.
- ÅF-I genomförde feleffektanalysen och en värdering som återges i 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 deponeringstekniker och andra moment i processen. Värderingen beror också på uppdelningen av processen i aktiviteter. Det är således vanskligt att jämföra de resultat som erhållits för horisontella deponeringsteknikerna (KBS-3 H) och MLH med de resultat som erhållits i feleffektanalysen för vertikala deponeringstekniker (KBS-3 V). Skalan som använts 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 summeras och bearbetas så att de olika deponeringsvarianter respektive tekniker kan jämföras ur strålskyddssynpunkt.

De två nyckeltalen som använts 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 feleffektmatrisen hänvisas till Bilaga 4. I analysen av MLH_{AF-I} erhöles följande värden för nyckeltalen TSR_A och S vilka definierats ovan:

$$TSR_A = 3$$

$$S = 6$$

Värdet "3" för nyckeltalet TSR_A är att hänföra till resursbehoven för att åtgärda fel under förflyttningen i deponeringshålet, under avlämnandet av paketet med kapsel och bentonitbuffert samt under återtaget av laddningsröret. Det beror på att alla åtgärder blir komplicerade om utrustningen fastnar i hålet. Möjligheterna att komma åt felet och rätta till det är små med de geometriska toleranser som är aktuella.

Värdet "6" för nyckeltalet S betyder att vissa extra säkerhetsåtgärder bedömdes krävas med avseende på strålning under sex aktiviteter, däribland de tre som gav upphov till värdet "3" för TSR_A .

8.3 Slutsatser

Slutsatsen från feleffektanalysen av de tre tekniska lösningarna för singeldeponering är att deponering bör utföras, så långt det är möjligt, med ett omslutande strålskydd kring kapseln /4/. Även små fel blir svåra att avhjälpa när kapseln ligger oskyddad på deponeringsfordonet. Beslut att strålskydd kring kapseln skall ingå i alla KBS-3 varianter respektive tekniker har tagits av SKB. I MLH_{AF-1} ingår ett strålskydd kring kapselpaketet under transporten i tunnlarna.

Resultatet från feleffektanalysen för MLH_{AF-1} är att åtgärder för att komma tillrätta med fel är mer komplicerade för fel under rörelser i deponeringshålet än fel under andra moment.

Efter att feleffektanalysen utförts har teknikerna modifierats med hänsyn till resultaten från denna och nya tekniker har utvecklats, både för singeldeponering och för seriell deponering. För dessa andra tekniker har ingen feleffektanalys genomförts. Feleffektanalysen för MLH_{AF-1} har således begränsad användbarhet när det gäller att välja ut en eller ett fåtal tekniker bland de tolv tekniska lösningar för seriell deponering som beskrivits i denna rapport.

9 Jämförelse

9.1 Inledning

I föreliggande rapport har process- och maskinbeskrivningar sammanställts för tolv deponeringstekniker att deponera kapslar med använt kärnbränsle i medellånga deponeringshål (MLH). Dessa tekniker har tagits fram successivt varvid nya tekniker har utvecklats utgående från en analys av starka respektive svaga sidor i tidigare tekniska lösningar. I sammanställningen redovisas även de fördelar och nackdelar som har identifierats för varje tekniker. Särdragen för teknikerna presenteras i jämförelsematrisen i nästa avsnitt.

I detta avsnitt jämförs dessa tolv deponeringstekniker översiktligt i syfte att identifiera en eller ett fåtal tekniker som kan utvecklas vidare. Utifrån befintligt underlag kan inte jämförelsen vara annat än kvalitativ. Den utgår huvudsakligen från de bedömningar som gjordes under utvecklingsarbetet.

9.2 Jämförelsematris för teknikerna för seriell deponering i ett horisontellt hål

Jämförelsematrisen i tabell 9-1 nedan är en sammanställning av de alternativa deponeringsteknikerna där de grundläggande data och viktigaste urvalskriterierna anges. 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 den teknik som valts för deponeringen av kapseln. I fallet deponering "i delar" är det frågan om guiderör används eller ej. I fallet deponering "i paket" kan utrustningen bestå av ett vridbart laddningsrör, av ett deponeringsrör som dras av från paketet eller lämnas kvar, av en gaffelvagn som bär upp paketet eller av skenor på vilka paketet glider. Ytterligare en karakteristik är om gångskydd används.

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.

Transporttunneln – Uppskattad bredd och höjd på transporttunneln anges.

Antalet fordon – som används för deponeringsprocessen.

Bedömning – I denna rad görs en markering för de teknikerer som författarna anser vara utvecklingsbara.

Tabell 9-1. Jämförelsematrix för MLH deponeringsteknikerna (horisontell, seriell deponering).

		Deponeringsteknik											
		MLH _{VBB}	MLH _{ÅF-I}	MLH1	MLH2A	MLH2B	MLH3	MLH4	MLH5	MLH6	MLH7	MLH8	MLH9
Typ av deponering	"i delar"	x									x		
	"i paket"		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
Guiderör används "i delar"		ja									nej		
Deponering "i paket" karakteriseras av	deponeringsrör			nät				x				x	x
	laddningsrör		x				x			x			
	bandgående gaffeltruck				x	x							
	gejdrar								x				
Gångskydd i deponeringshållet		nej	nej	nej	nej	ja (plåt)	ja (plåt)	ja (plåt)	nej	nej	ja (plåt)	ja (plåt)	ja (isbana)
Relativrörelse under inplaceringen i deponeringshållet mellan	utrustning/berg	ja	ja	ja	ja	nej	nej	nej	nej	nej	nej	ja	nej
	utrustning/bentonit	ja	ja	nej	nej	nej	ja	ja	nej	ja	nej	nej	ja
	kapsel/bentonit	nej	ja	nej	nej	nej	ja	nej	nej	ja	ja	nej	nej
Transporttunnelns mått (bredd x höjd) [m] ⊛		7,5x4									6,2x3,5	7,5x4	
Antal fordon		1	1	1	1	2	2	2	2	1	3	1	1
Bedömning				Framhålls av J. Piroška och H. Sandstedt			medelgod utvecklingspotential	god utvecklingspotential		medelgod utvecklingspotential			god utvecklingspotential

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

9.3 Redovisning

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

9.3.1 Strålskydd

Ur en generell synvinkel har frågan om kapseln är strålskyddad eller inte 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 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.

Kapseln är alltid omgiven av ett strålskydd i transporttunneln. Det har inte varit aktuellt att undersöka om kapseln skall omges av ett strålskydd eller ej under transporten i ett medellångt deponeringshål.

Deponeras en kapsel ”i paket” är paketets ytterdiameter (1,65 m) endast något mindre än hålets diameter (1,75 m). Det finns inget utrymme för något strålskyddshölje kring paketet utöver bentonitbufferten. Deponeras kapseln ”i delar” används ett strålskydd (MLH_{VBB} och MLH 7).

Mänsklig medverkan eller okulär övervakning under transporten i hålet eller under deponeringen längst in är omöjlig på grund av det begränsade utrymmet.

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 passa in i bentonitringarnas centrumhål. Kapselns vikt och längd, deponeringshålets längd samt de snäva toleranser som hör till slutförvarets funktion ställer därvid särskilda krav. Inpassningen av kapseln i centrumhålet är i sig en krävande operation.

Att skjuta in ett tungt föremål som vilar på bentonitringarna innebär alltid en risk för att föremålet, det vill säga kapseln, skall skära i ringarna. Det finns en risk att ringarna krossas, att kross lösgörs, skjuts fram och hindrar kapseln från att skjutas in helt. Risken finns också att kapseln helt kör fast. Samma risker finns för deponering i horisontella hål, en kapsel per hål, som för medellånga hål. Några tekniska utföranden för att reducera påfrestningarna på bentonitelement under inskjutningen har studerats för KBS-3 H, singeldeponeringen /4/. I MLH_{VBB} används ett guiderör som inte tas tillbaka. I MLH 7 träs kapseln direkt in i bentonitringarnas centrumhål. Idag finns inte tillräckligt underlag för att avgöra om guideröret är nödvändigt eller om det kan undvaras. 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.

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.

Till dessa allmänna synpunkter som gäller för deponering både en kapsel per hål som i medellånga hål tillkommer några frågor som hör ihop med de större avstånd i hålet som MLH innebär. Rent praktiskt är tiden mellan deponeringen av bufferten och deponeringen av kapseln längre i MLH än i KBS-3 H. Detta innebär större risk för att vatteninträddningen skall hinna påverka bufferten. De upprepade transporterna i hålet innebär att berget kring hålet vid mynningen kommer att ha påverkats mest. Om bergfragment förekommer kommer de flesta fragmenten att finnas närmast mynningen.

9.3.3 Deponering ”i paket”

I en deponering ”i paket” passas bentonitringar och bentonitblock omkring kapseln i en verkstad (hot cell) i centralområdet. Paketet deponeras sedan i deponeringshålet. Bentoniten ger ett visst strålskydd under operationerna i hålet.

Deponering ”i paket” innebär tyngre fordon eftersom både kapsel (30 ton) och bentonit skall deponeras samtidigt, totalt cirka 50 ton.

Det stora tekniska problemet är att transportera ett paket med kapsel och bentonit i ett cirka 200 m långt deponeringshålet. Manövermarginalerna är ganska små. Några tekniska lösningar har studerats:

- vridbart laddningsrör, vilket studerats även för KBS-3 H /4/,
- deponeringsrör (heltäckande rör eller kopparnät),
- gaffelvagn, vilket studerats även för KBS-3 H /4/, samt
- glidskenor (gejdrar) , vilket också studerats för KBS-3 H /4/.

Laddningsröret är en skopa på vilken paketet lastats. När paketet i laddningsröret nått sin deponeringsplats skall röret vridas ett halvt varv. Skopan glider på bergsväggen. 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 bergsflis. Den okontrollerade urullningen av paketet ut ur skopan kan påverka bentonitelementen. Farhågor har framförts att röret och dess last kan kilas fast av den så kallade ”byråläds-effekten” när röret roteras och när det dras ut. De geometriska förhållanden under utdragningen är dock sådana att fastkilningen av den anledningen är föga sannolik.

Deponeringsröret är ett metallrör som omsluter bentonitpaketet. Paketet i sitt rör skjuts glidande fram i hålet till deponeringsplatsen. Därigenom undviks den skjuvande kontakten mellan berget och bentonitringarna. Framme vid deponeringsplatsen kan röret antingen lämnas kvar, som i MLH 1, eller dras av som i de övriga teknikerna: MLH 1, 4, 8 och 9. I MLH 1 byggs deponeringsröret upp av kopparskenor som ett gallerverk eller som en korg: vatten kan tränga in genom korgen och mätta bentoniten när paketet är på sin plats. I de övriga teknikerna med deponeringsrör dras röret ut och återanvänds. I MLH 4 och MLH 9 appliceras ett mothåll mot paketet och iläggingsaggregatet drar ut röret. En variant är MLH 8. Där föreslås röret bestå av ett böjligt omslag som kan

rullas upp på ömse sidor av paketet, liknande en jalusidörr, och dras ut från hjässan av paketet. Tekniken med deponeringsrör är oprövad. I MLH 8 ställs stora krav på skarven mellan de upprullbara sidorna för att den skall motstå påfrestningarna under transporten cirka 200 m in i deponeringshålet. En fördel med deponeringsrör framför laddningsröret är att påverkan på bentonitelementen torde vara mindre när paketet skjuts ut ur ett deponeringsrör än när det rullar ut ur ett skopformat laddningsrör.

De tekniska lösningar där paketet bärs in på en gaffelvagn eller glider in på skenor är mer konventionella och beprövade tekniker. Stora nackdelen är att urtag görs i bentonitelementen för gafflarna eller gejderna, vilka urtag kan behöva efterfyllas med bentonit efter att paketet deponerats. Spåren gör det dock möjligt att enkelt återta paketet efter slutförd deponering om behov skulle uppstå, så länge de inte fyllts igen eller vatten hunnit strömma till hålet och bentonit börjat svälla.

De dynamiska påfrestningarna som orsakas av kapseln på bentonitringarna är små. Där- emot kan inplaceringen av paketen innebära andra dynamiska påfrestningar på bentonitelementen, i kontaktytan mellan bentonit och berg. De tekniska lösningarna som refererats ovan (laddningsrör, deponeringsrör, gaffelvagn eller glidskenor) syftar till att minimera denna påverkan. 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, som på ett eller annat sätt hindrar fullföljandet av deponeringen i ett hål. Under transporten i ett hål kan inträngande vatten absorberas av bentoniten om paketet inte skyddas, till exempel med ett droppskydd. Ett sådant skydd lämnas av ett helt deponeringsrör, men inte av kopparkorgen i MLH 1, eller av den dropplåt som förutsetts i teknikerna MLH 2A, MLH 2B och MLH 5.

9.3.4 Gångskydd

Berget i deponeringshålet kan skadas av den dynamiska belastning som transporten av den stora vikten av kapseln eller paketet med kapseln innebär. Om flisor eller kross lossnar kan de försvåra transporten eller andra operationer i deponeringshålet. Jämfört med singeldeponering (KBS-3 H) innebär de upprepade transporterna i ett hål en större belastning och konsekvenserna, till exempel fastkilat paket, svårare att åtgärda.

I den först beskriven MLH-tekniken, MLH_{VBB} , används samma lösning för framdrivningen i deponeringshålet som för en tunnelborrningsmaskin (TBM). Transportaggregatet tar spjörn mot bergets väggar med hjälp av domkrafter som flyttas successivt. Den punktvisa belastningen kan göras liten om tryckplattan är bred, men risken finns i den upprepade belastningen.

I övriga tekniker används ett iläggingsaggregat som rullar på hålets väggar. Där- emot kommer paketet att direkt belasta berget. Kulrullarna hos laddningsröret i MLH_{AF-I} innebär en punktvis belastning. Detta kan undvikas genom att använda luftkuddar i stället för kulrullar, som i MLH 6, eller låta röret rulla på ett gångskydd som fördelar trycket över en större yta (MLH 3). Gångskydd används även för rullgående gaffelvagnen (metod MLH 2B). Behov av ett gångskydd förutses även för deponeringstekniker med deponeringsrör (MLH 4, 8 och 9). Förslaget är att gångskydden tillverkas av plåtar som formats efter hålets botten. Nackdelen är att dessa plåtar måste läggas ut och tas tillbaka. I MLH 9 ersätts plåtarna med ett isskikt som fyller samma funktion men inte behöver återtas. När isen smälter tas vattnet upp av bentoniten. En nackdel kan vara att deponeringsrörets kantar, som eventuellt är vassa, kan skära i isen, vilket inte är fallet med plåtar. Å andra sidan kan skarvarna mellan plåtarna ge upphov till tröskelproblem.

Nedfrysningen av berget som behövs för att skapa isskiktet har dessutom fördelen att den hindrar inträngning av vatten till den del av deponeringshålet som ännu inte fyllts med kapsel och bentonitblock.

Behovet av gångskydd eller andra åtgärder grundas av farhågor för spjälkning av bergflisor. Idag finns inte tillräckligt underlag för att avgöra hur känsligt berget är och om gångskyddet kan undvaras. För säkerhets skull har det medtagits i samtliga tekniker där belastningen på berget kan befaras vara stor.

9.4 Slutsatser och rekommendationer

I jämförelsematrisens rad "Bedömning" har två tekniker märkts ut. ÅF-I:s bedömning är att MLH 4 och MLH 9, deponeringsrör och gångskydd, har störst utvecklingspotential. I andra hand kan tekniker med laddningsrör vara värda att utvecklas. Någon färdig, slutgiltig deponeringsteknik finns inte idag. Det huvudsakliga resultatet av utvecklingsarbetet, layoutskede E, utgörs av att antalet potentiella deponeringstekniker har minskats till dessa två (eller fyra).

J Piroška och H Sandstedt bedömer att MLH 1, där ett kopparnät används kring paketet med kapsel och bentonit, har god utvecklingspotential.

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 R-01-35, Svensk Kärnbränslehantering AB
- /4/ **Kalbantner P, ÅF-Energikonsult AB, 2001.** Process- och maskinbeskrivning av utrustning för deponering av kapslar i horisontella deponeringshål. SKB R-01-33, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- /5/ **Kämpe J, 1995.** Position Determination in Underground Mines (An inventory of technologies that can be used for position determination and vehicle navigation in the operating conditions of an underground mine). Tekniska Högskolan i Luleå, examensarbete, HLU-TH-EX 1995:212-E.

Ritningar till sammanställningen över deponeringstekniker att deponera kapslar i medellånga hål (MLH)

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

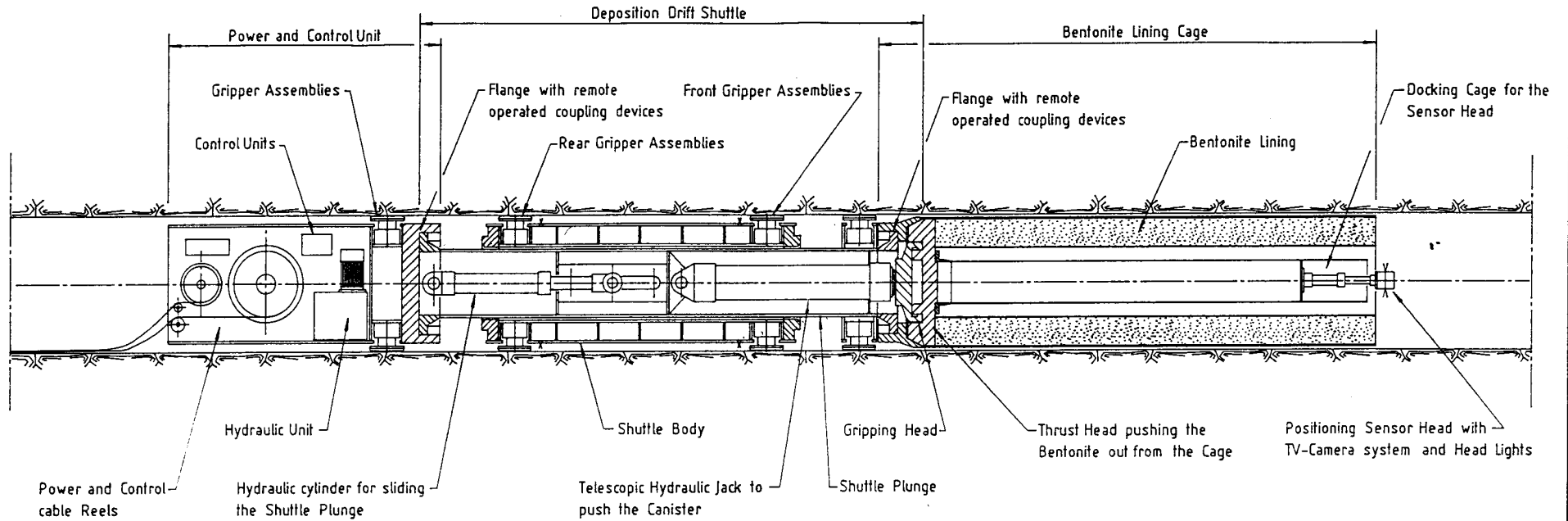
Ritningsförteckning

Figur 2	Kapseldeponering	MLH _{VBB}										
Figur 3	Plattform	MLH _{VBB}										
Figur 4	Plattform	MLH _{VBB}										
JADE 000 0423	Iläggingsaggregat för bentonitändblock	MLH _{ÅF-I}	MLH 1	MLH 2a	MLH 2b	MLH 3	MLH 4	MLH 5	MLH 6		MLH 8	MLH 9
JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi	MLH _{ÅF-I}	MLH 1	MLH 2a	MLH 2b	MLH 3	MLH 4	MLH 5	MLH 6		MLH 8	MLH 9
JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende	MLH _{ÅF-I}	MLH 1	MLH 2a	MLH 2b	MLH 3	MLH 4	MLH 5	MLH 6		MLH 8	MLH 9
JADE MLH 1001	Transportlägen	MLH _{ÅF-I}	MLH 1	MLH 2a	MLH 2b	MLH 3	MLH 4	MLH 5	MLH 6		MLH 8	MLH 9
JADE MLH 1002	Iläggingsaggregat för kapselpaket	MLH _{ÅF-I}										
JADE MLH 1004	Iläggingsaggregat för kapselpaket	MLH _{ÅF-I}	MLH 1	MLH 2a	MLH 2b	MLH 3	MLH 4	MLH 5	MLH 6			MLH 9
JADE MLH 1005	Lavett	MLH _{ÅF-I}	MLH 1	MLH 2a	MLH 2b	MLH 3	MLH 4	MLH 5	MLH 6		MLH 8	MLH 9
JADE MLH 1006	Deponering av paket		MLH 1	MLH 2a								
JADE 000 0120B	Strålskyddstub med plunge									MLH 7		
JADE MLH 1007	Utförande på larvband			MLH 2a								
JADE MLH 1008	Utförande på gångskydd och larvband					MLH 3						
JADE MLH 1009	Utförande på gångskydd och larvband				MLH 2b							
JADE MLH 1010A	Utförande gejdrar och glidskenor							MLH 5				
JADE MLH 1011A	Utformning av gångskydd						MLH 4					
JADE MLH 1011B	Deponeringssekvens						MLH 4					
JADE MLH 1012A	Laddningsrörets utförande								MLH 6			
JADE MLH 1012B	Laddningsrörets utförande								MLH 6			
JADE MLH 1013A	Utformning av gångskydd										MLH 8	
JADE MLH 1013B	Avrullbart, böjligt deponeringsrör										MLH 8	

Ritningar fördelade på tekniker

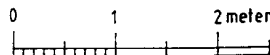
Teknik	Ritningsnr	Benämning
MLH _{ÅF-1}	JADE MLH 1000	Deponeringsfordon med iläggningssaggregat
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1002	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1004	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	Iläggningssaggregat för benttonitändpluggar
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
MLH _{VBB}	Figur 1	Benttonitdeponering
	Figur 2	Kapseldeponering
	Figur 3	Plattform
	Figur 4	Plattform
MLH 1	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	Iläggningssaggregat för benttonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
	JADE MLH 1006	Deponering av paket
MLH 2a	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	Iläggningssaggregat för benttonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
	JADE MLH 1007	Utförande på larvband
MLH 2b	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	Iläggningssaggregat för benttonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
	JADE MLH 1009	Utförande på gångskydd och larvband
MLH 3	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	Iläggningssaggregat för benttonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
	JADE MLH 1008	Utförande gångskydd
MLH 4	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	Iläggningssaggregat för benttonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
	JADE MLH 1011A	Utformning av gångskydd
JADE MLH 1011B	Deponeringssekvens	
MLH 5	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	Iläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	Iläggningssaggregat för benttonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
JADE MLH 1010A	Utförande gejdrar och glidskenor	

Teknik	Ritningsnr	Benämning
MLH 6	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	lläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	lläggningssaggregat för bentonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
	SADE MLH 1012A	Laddningsrörets utförande
	SADE MLH 1012B	Laddningsrörets utförande
MLH 7	SADE 000 0120B	Strålskyddstub med plunge
MLH 8	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	lläggningssaggregat för bentonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi
	JADE MLH 1013A	Utformning av gångskydd
	JADE MLH 1013B	Avrullbart, böjligt deponeringsrör
MLH 9	JADE MLH 1000	Deponeringsfordonets utseende
	JADE MLH 1001	Transportlägen
	JADE MLH 1004	lläggningssaggregat för kapselpaket
	JADE MLH 1005	Lavett
	JADE 000 0423	lläggningssaggregat för bentonitändblock
	JADE 000 0424	Deponeringsfordonschassi

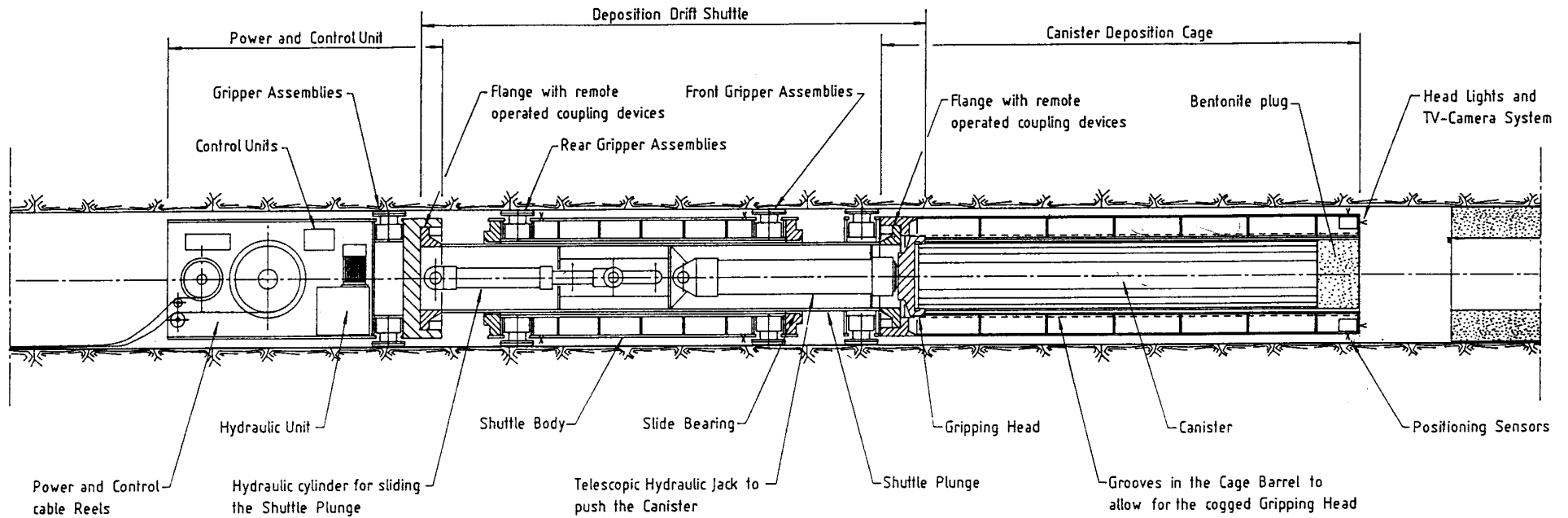


107

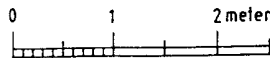
VBB-CAD



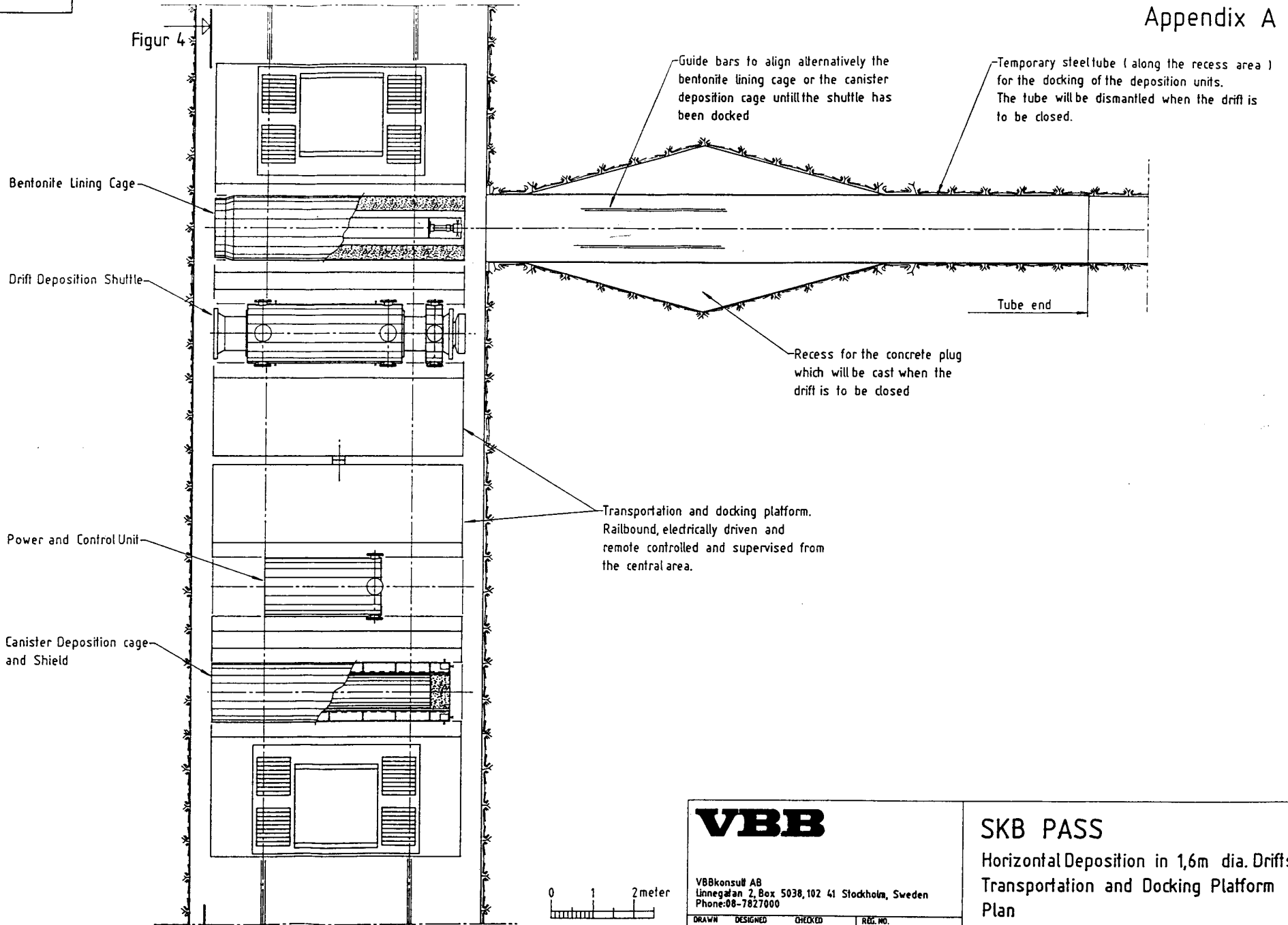
VBB				SKB PASS Horizontal Deposition in 1,6m dia. Drifts Bentonite Deposition Cage	
VBBkonsult AB Linnegatan 2, Box 5038, 102 41 Stockholm, Sweden Phone: 08-7827000					
DRAWN	DESIGNED	CHECKED	REG. NO.	SCALE: Figure 1	
HAJ	HAJ		SA687		
1992-04-10			<i>[Signature]</i>		KOD TYP POS
			DRAWING NO.		REV.



VBB-CAD



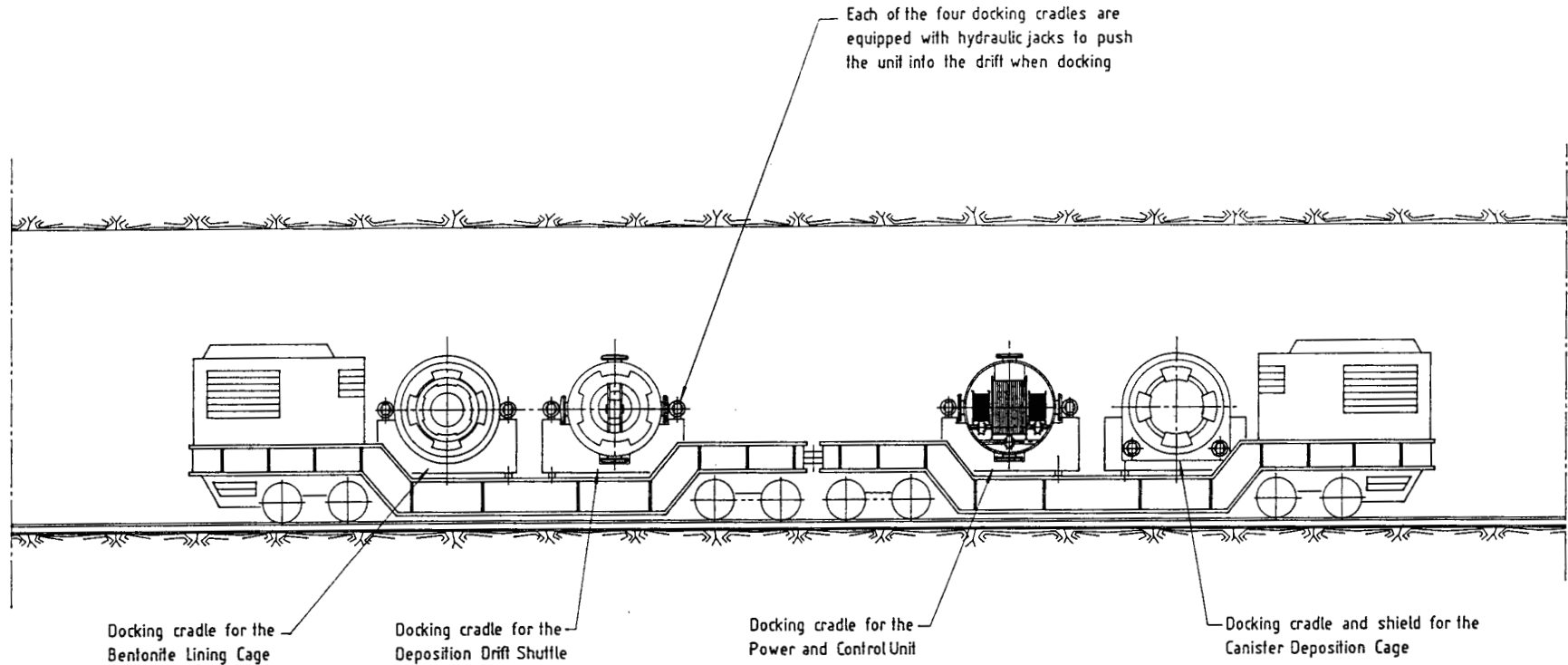
VBB VBBkonsult AB Linnegatan 2, Box 5038, 102 41 Stockholm, Sweden Phone: 08-7827000		SKB PASS Horizontal Deposition in 1,6m dia. Drifts Canister Deposition Assembly	
		DRAWN HAJ	DESIGNED HAJ
1992-04-10		KOD TYP PDS	DRAWING NO. Figure 2
		SCALE:	REV.



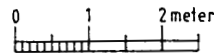
Figur 4

VBB		SKB PASS	
VBBkonsult AB Linnegatan 2, Box 5038, 102 41 Stockholm, Sweden Phone:08-7827000		Horizontal Deposition in 1,6m dia. Drifts Transportation and Docking Platform Plan	
DRAWN HAJ	DESIGNED HAJ	CHECKED	REG. NO. 54687
1992-04-10	<i>[Signature]</i>		SCALE:
KOD TYP POS	DRAWING NO.	REV.	
	Figure 3		

110

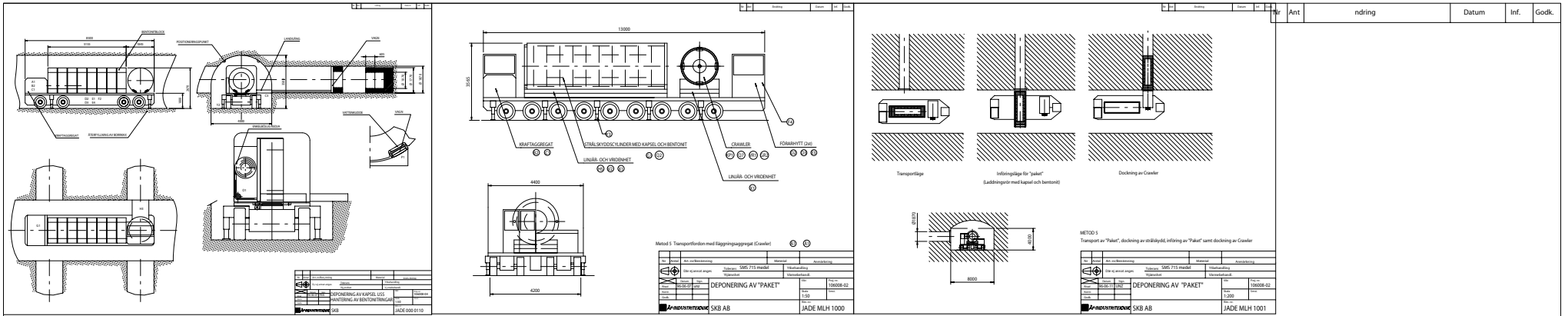


The docking cradle for each of the four units are individually adjustable in the x, y and z direction in order to align each unit to the drift entrance



VBB-CAD

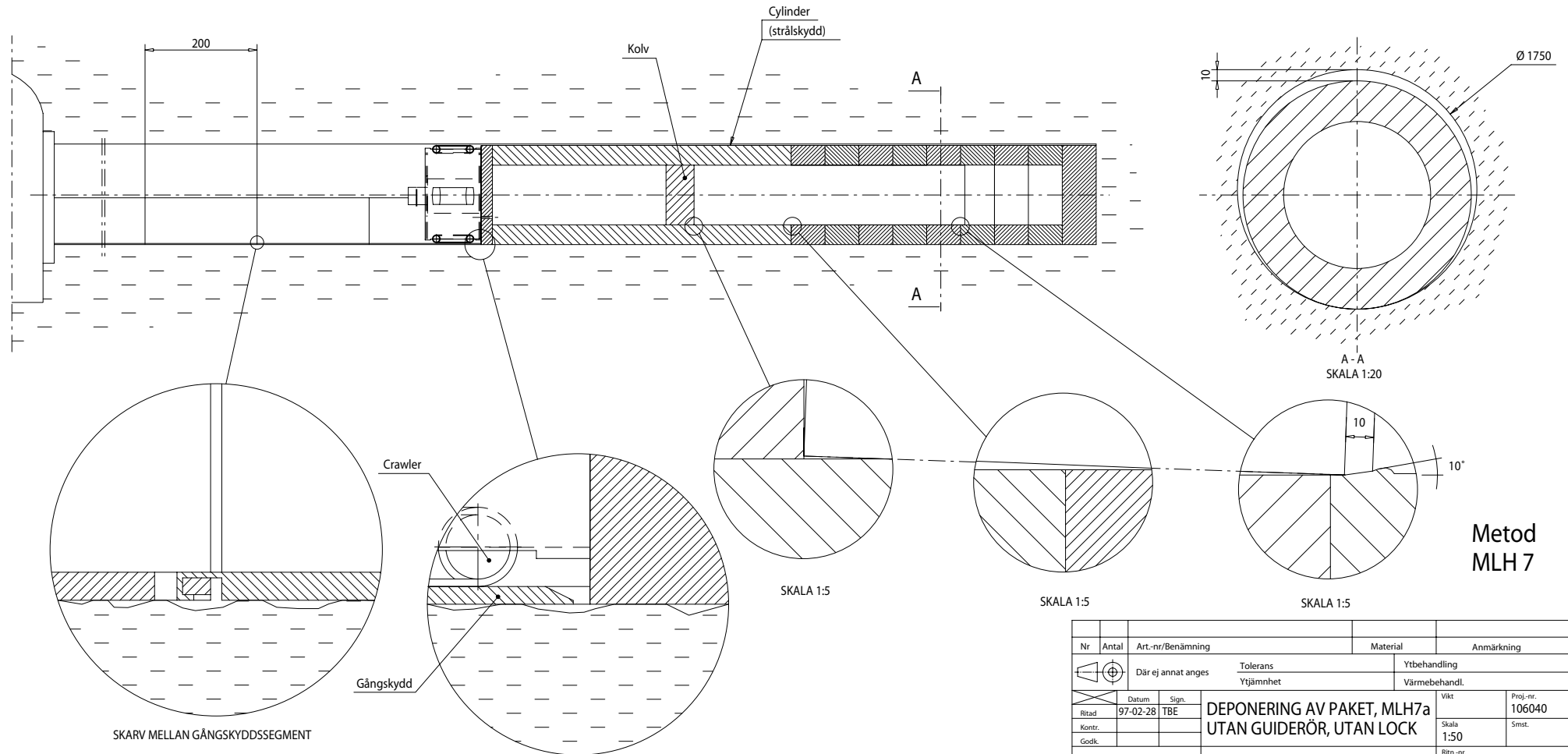
VBB VBBkonsult AB Unnegatan 2, Box 5038, 102 41 Stockholm, Sweden Phone: 08-7827000		SKB PASS Horizontal Deposition in 1,6m dia. Drifts Transportation and Docking Platform Elevation	
		DRAWN: HAJ DESIGNED: HAJ 1992-04-10	CHECKED: HAJ REG. NO.: S4687
1992-04-10		KOD TYP POS	DRAWING NO. Figure 4



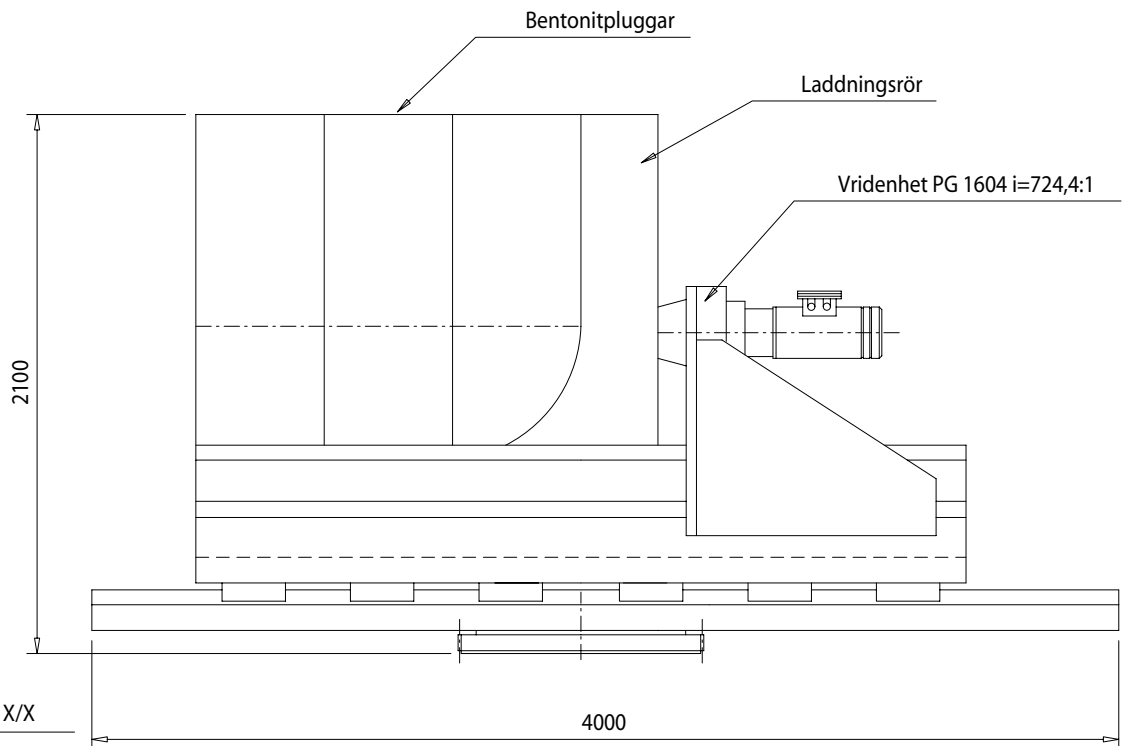
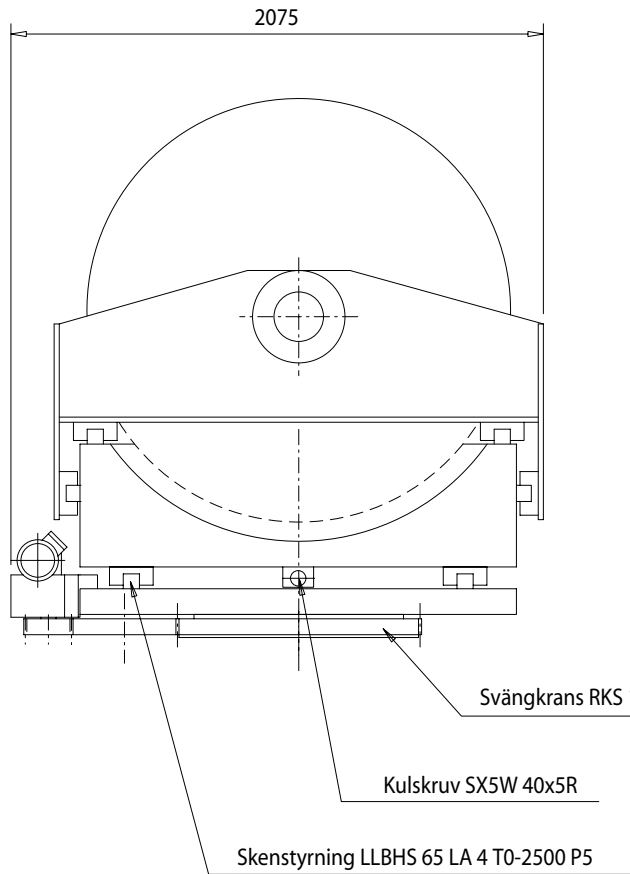
DEPONERING AV BOTTENPLUGG OCH GÅNGSKYDD

TRANSPORT AV KAPSELPAKET OCH CRAWLER

DEPONERING AV KAPSELPAKET



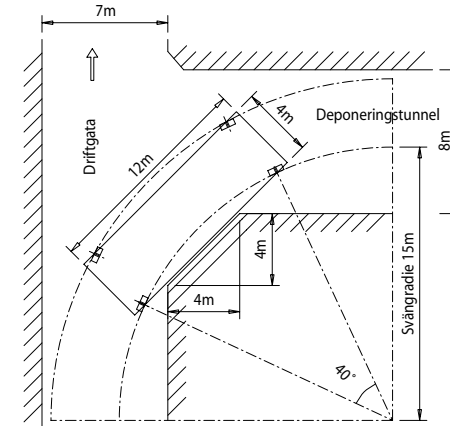
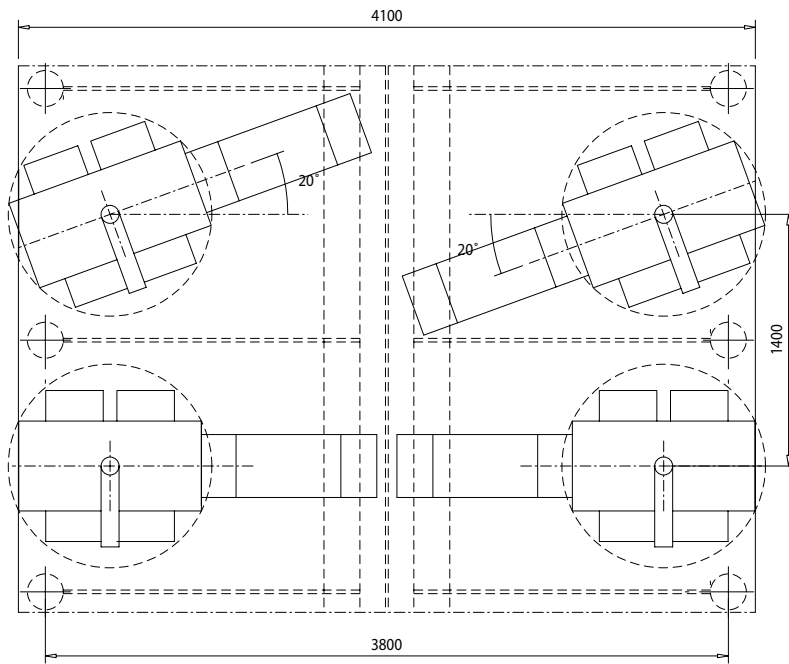
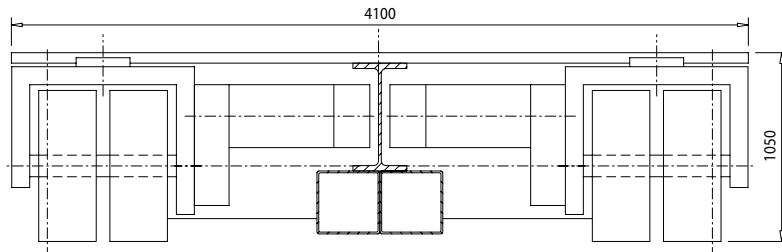
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"	SKB AB	JADE MLH 1001
Tolerans		Ytbehandling		
Där ej annat anges		Värmebehandl.		
Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH7a UTAN GUIDERÖR, UTAN LOCK	Vikt	Proj.-nr.
Ritad	TBE		Skala	106040
Kontr.			1:50	Smst.
Godk.			Ritn.-nr.	SADE 000 0120B
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK		SKB AB		



- Metod
- MLH _{ÅF-1} MLH 4
 - MLH 1 MLH 5
 - MLH 2a MLH 6
 - MLH 2b MLH 8
 - MLH 3 MLH 9

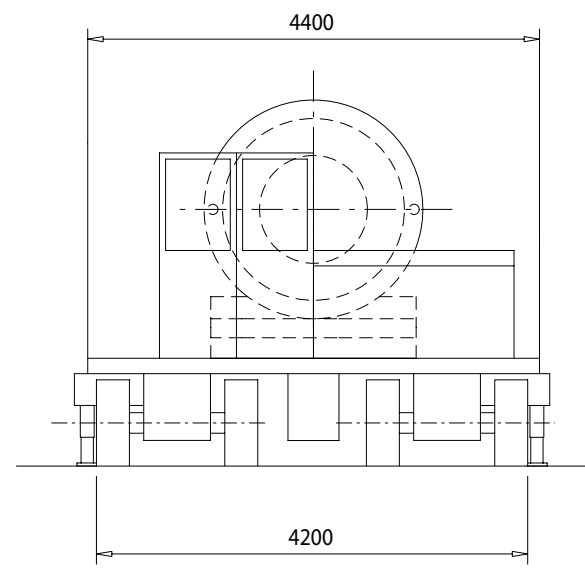
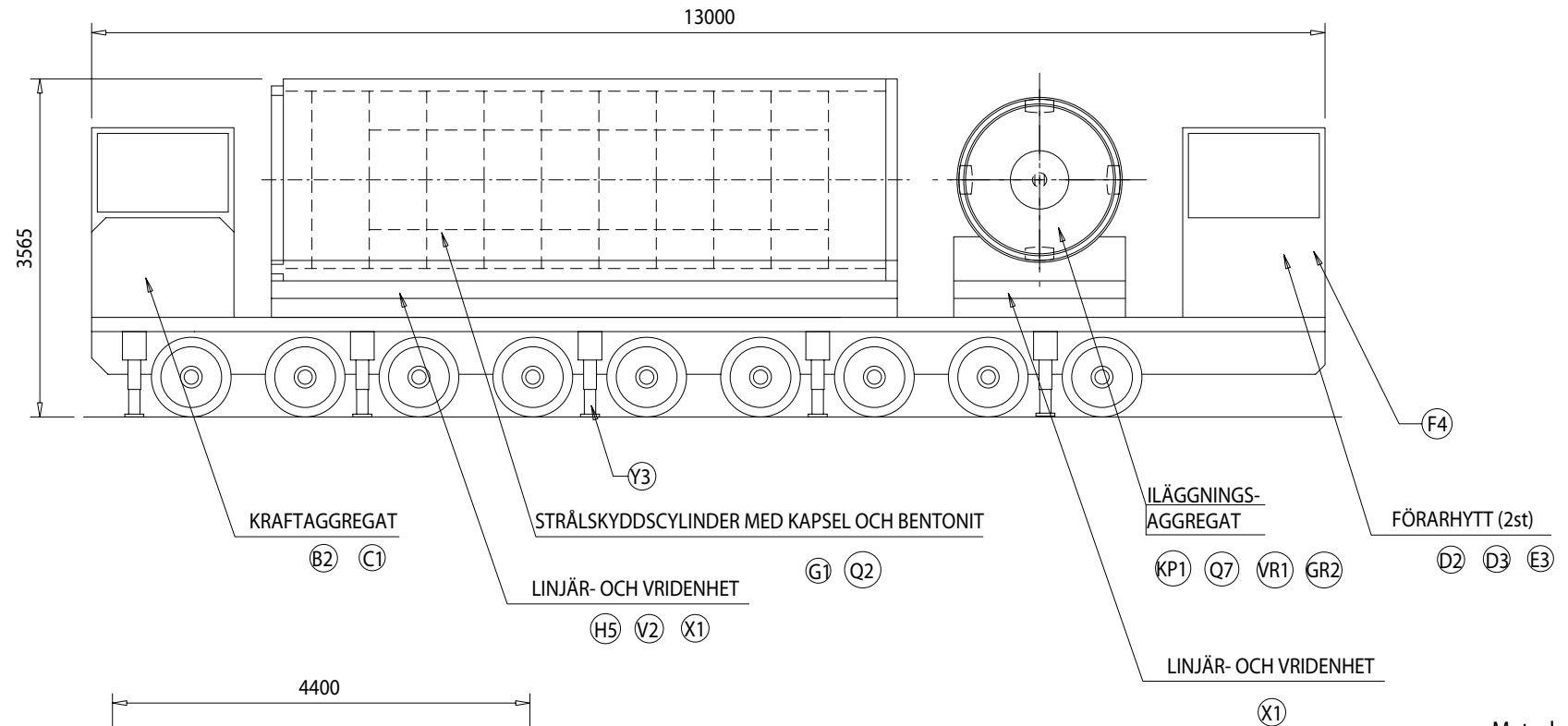
112

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning		
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel	Ytbehandling		
			Ytjämnhet	Värmebehandl.		
		Datum	Sign.	Vikt		
Ritad	96-09-12	unz	ILÄGGNINGSAGGREGAT FÖR BENTONITFÖRSLUTNING			
Kontr.					Skala 1:20	Proj.-nr.
Godk.					Smst.	
				Ritn.-nr. JADE 000 0423		



- Metod
- MLH \bar{A} F-1 MLH 4
 - MLH 1 MLH 5
 - MLH 2a MLH 6
 - MLH 2b MLH 8
 - MLH 3 MLH 9

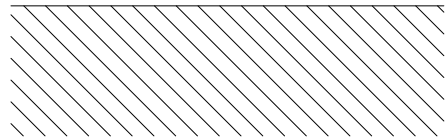
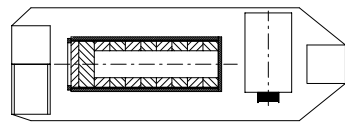
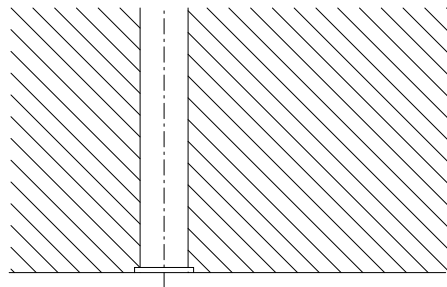
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandling.
		Datum 96-08-15	Sign. TBE	Vikt Proj.-nr.
		Ritad	CHASSI	Skala 1:20 Smst.
		Kontr.		
		Godk.		Ritn.-nr. JADE 000 424
			SKB AB	



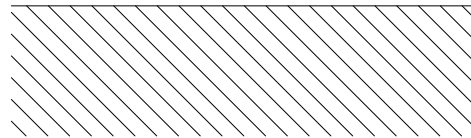
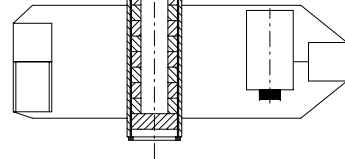
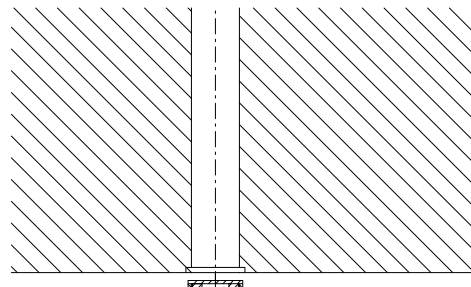
Metod:
 MLH_{AF-1} 4 MLH 4
 MLH 1 MLH 5
 MLH 2a MLH 6
 MLH 2b MLH 8
 MLH 3 MLH 9

Transportfordon med läggningssaggregat (A1) (A1)

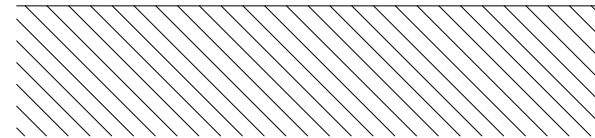
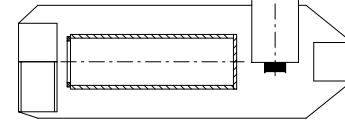
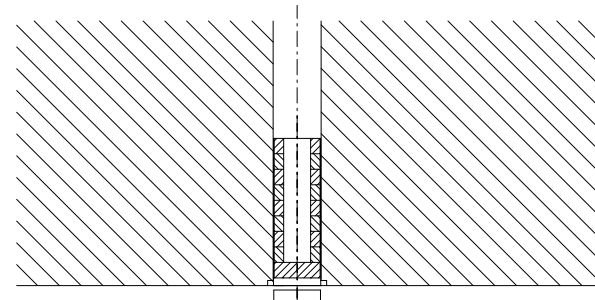
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
		Datum 960607 Ritad unz	DEPONERING AV "PAKET"	
		Godk.	Vikt	Proj.-nr. 106008-02
			Skala 1:50	Smst.
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB			Ritn.-nr. JADE MLH 1000	



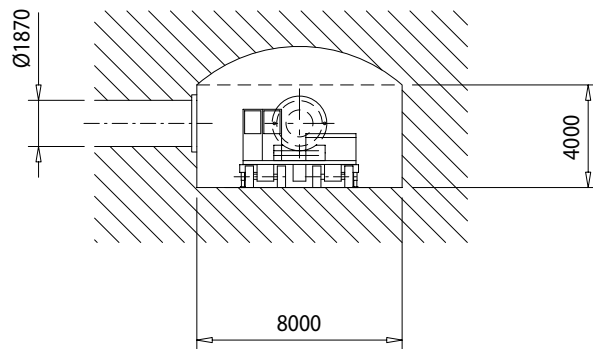
Transportläge



Införingsläge för "paket"
(Laddningsrör med kapsel och bentonit)



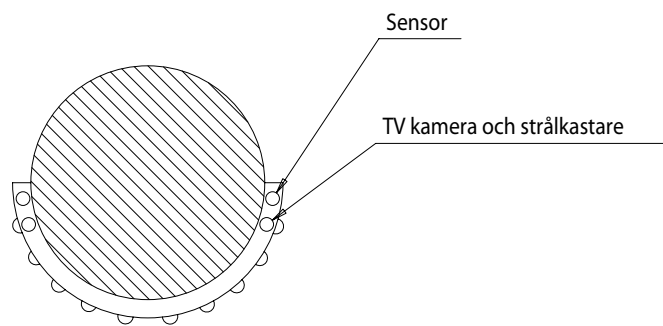
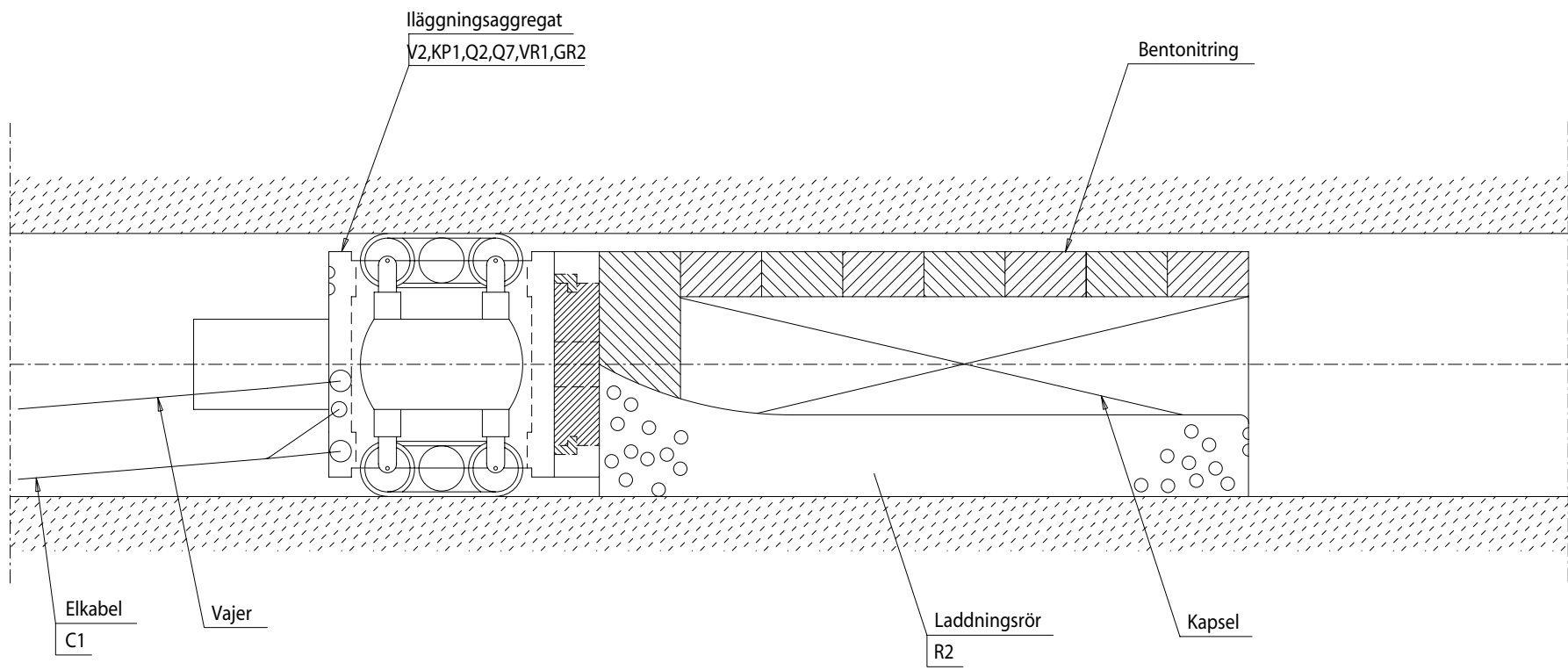
Dockning av Crawler



- Metod:
- | | |
|---------------------|-------|
| MLH _{AF-1} | MLH 4 |
| MLH 1 | MLH 5 |
| MLH 2a | MLH 6 |
| MLH 2b | MLH 8 |
| MLH 3 | MLH 9 |

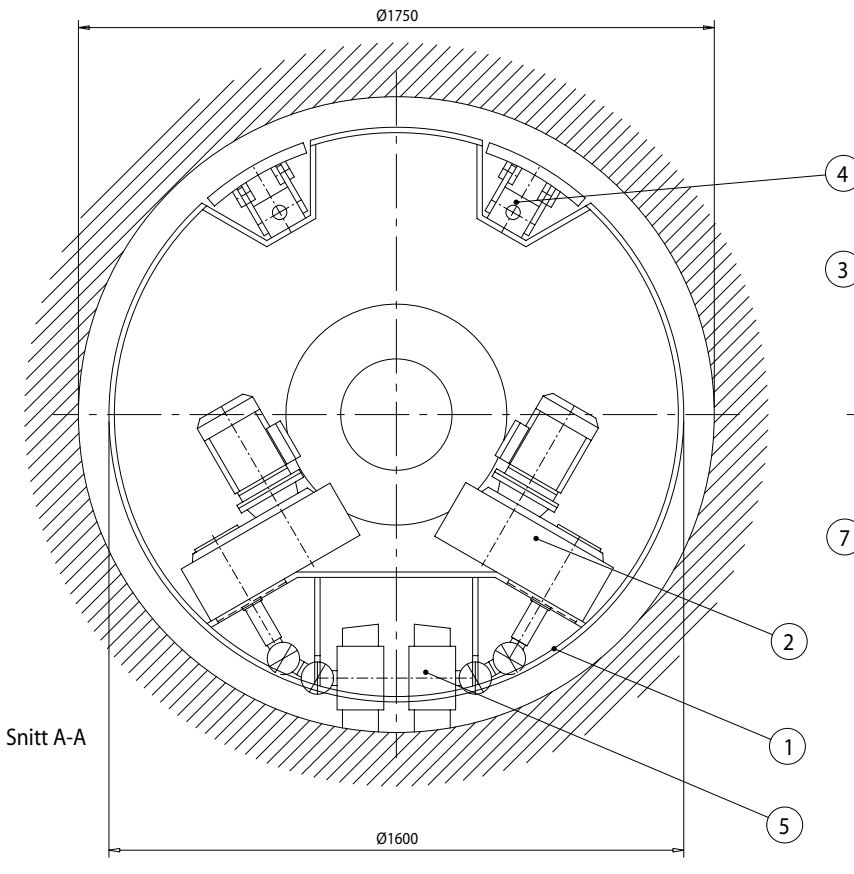
Transport av "Paket", dockning av strålskydd,
införing av "Paket" samt dockning av iläggingsaggregat

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning		
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.		
		Datum 96-06-11 Sign. UNZ	DEPONERING AV "PAKET"			
Ritad					Vikt	Proj.-nr. 106008-02
Kontr.					Skala 1:200	Smst.
Godk.				Ritn.-nr. JADE MLH 1001		
				SKB AB		

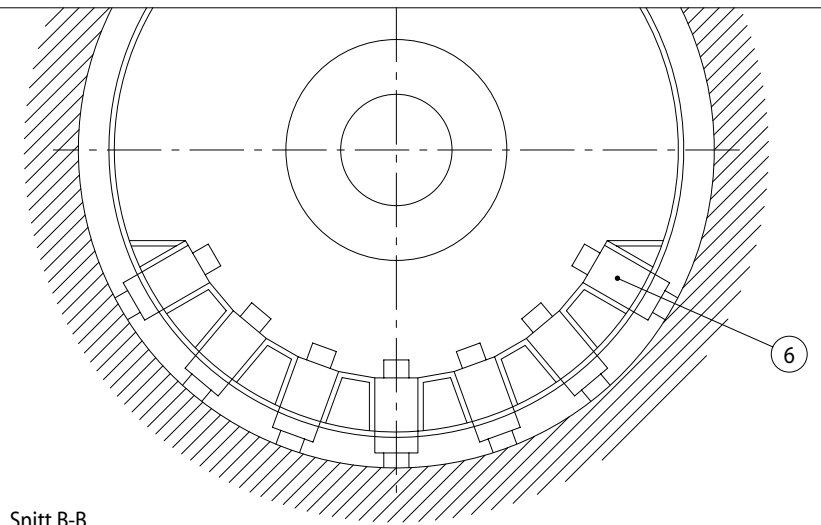
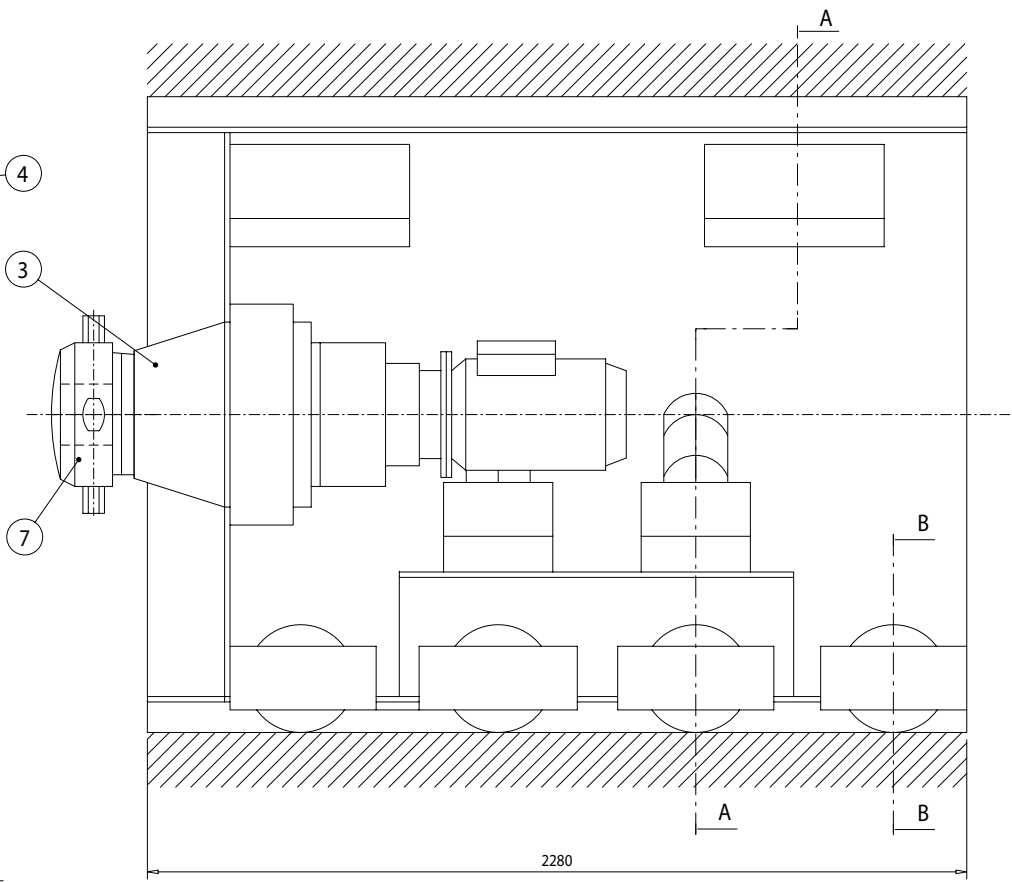


Metod:
MLH_{ÅF-I}

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning		
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.		
Ritad	Datum 960625	Sign. MW	DEPONERING I HORIZONTELLT HÅL			
Kontr.					Vikt	Proj.-nr. 106008-02
Godk.					Skala	Smst.
			SKB AB	Ritn.-nr. JADE MLH 1002		



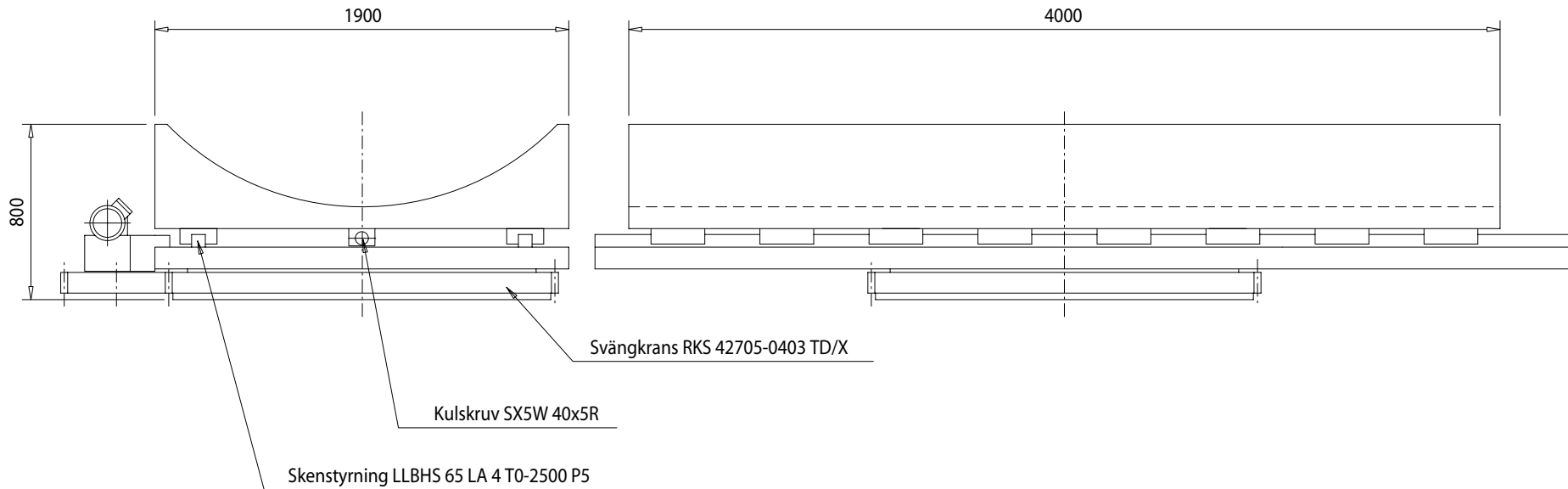
Snitt A-A



Snitt B-B

Metod:
MLH_{ÄF-1}
MLH 3
MLH 6

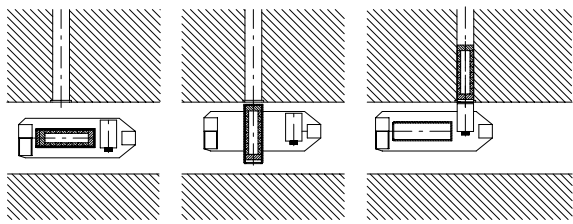
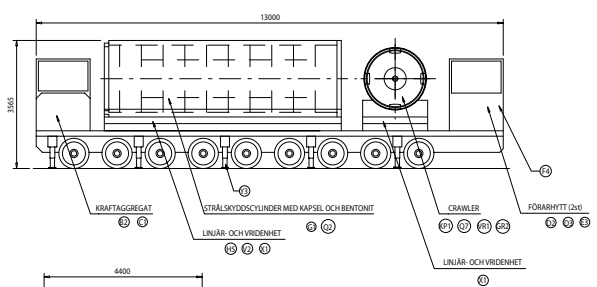
7	1	Koppling				
6	14	Hjul				
5	4	Drivhjul				
4	4	Domkrafter		Special		
3	1	Vridenhet Benzler AB		PG 8004, M2AA 160L-6		
2	4	Drivenhet Benzler AB		BTM32 W 112M-6		
1	1	Aggregat				
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning		
		Tolerans SMS 715 medel		Ytbehandling		
		Ytjämnhet		Värmebehandl.		
		Där ej annat anges				
	Datum	Sign.	llägningsaggregat		Vikt	
Ritad	96-08-21	unz			2,5 ton	
Kontr.					Skala	Proj.-nr.
Godk.					1:10	Smst.
			Ritn.-nr.			
ÄF-INDUSTRIOTEKNIK			SKB AB		JADE MLH 1004	



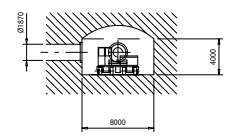
118

- Metod:
- | | |
|---------------------|-------|
| MLH _{AF-1} | MLH 4 |
| MLH 1 | MLH 5 |
| MLH 2a | MLH 6 |
| MLH 2b | MLH 8 |
| MLH 3 | MLH 9 |

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans SMS 715 medel Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
	Datum	Sign.	LAVETT FÖR "PAKET" I STRÅLSKYDD	Vikt
Ritad	96-09-06	unz		Proj.-nr.
Kontr.				Skala
Godk.				1:20
ÅF-INDUSTRI TEKNIK			SKB AB	Ritn.-nr. JADE MLH 1005



Transportläge
Införingsläge för "paket"
(Laddningsrör med kapsel och bentonit)
Dockning av Crawler



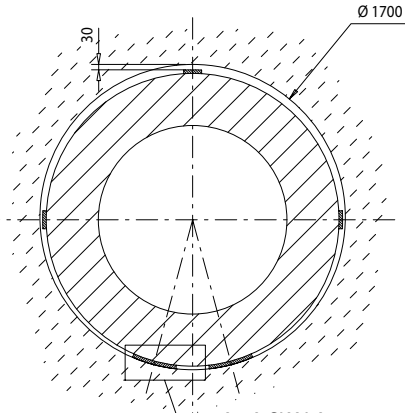
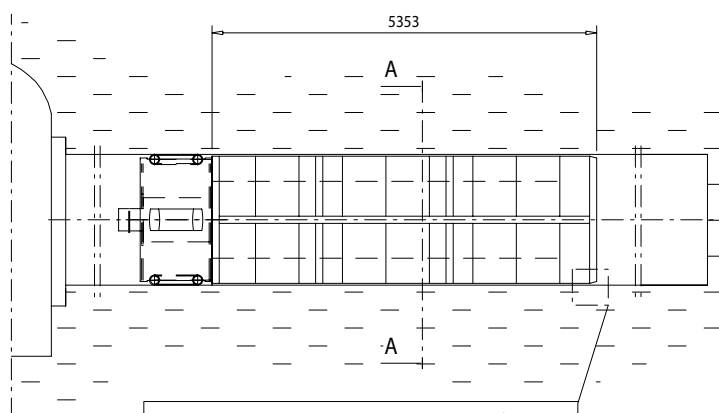
METOD 5
Transport av "Paket", dockning av stålbygd, införing av "Paket" samt dockning av Crawler

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"		
Tolerans SMS 715 medel Ytbehandling Värmebehandling Ytjämnhet Datum 96-06-07 1212 Rittad DEPONERING AV "PAKET" Kontr. 1:50 Godk. 106008-02 AF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB JADE MLH 1000				

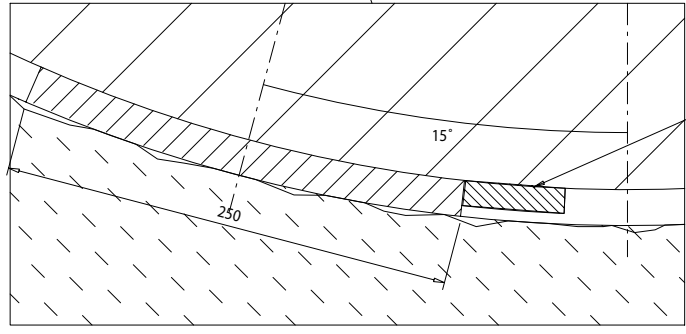
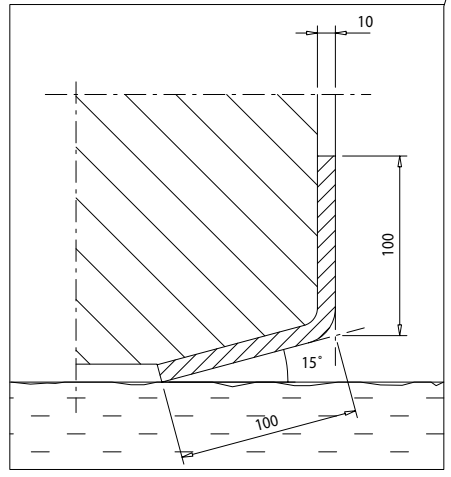
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"		
Tolerans SMS 715 medel Ytbehandling Värmebehandling Ytjämnhet Datum 96-06-11 1242 Rittad DEPONERING AV "PAKET" Kontr. 1:200 Godk. 106008-02 AF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB JADE MLH 1001				

TRANSPORT AV KAPSELPAKET
Se ritning JADE MLH 1000

TRANSPORT AV KAPSELPAKET
Se ritning JADE MLH 1001



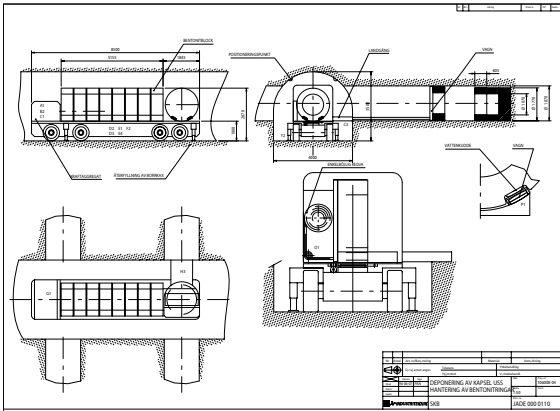
A - A SKALA 1:20



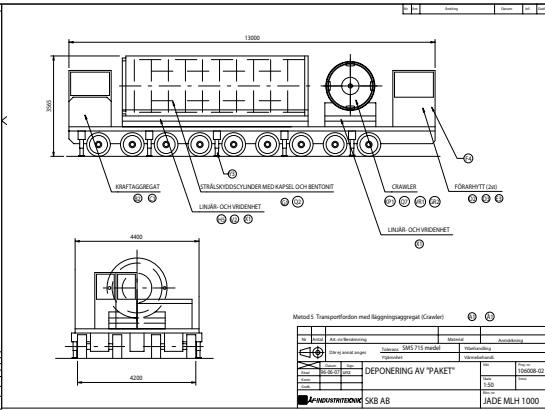
STYRSKENA
MOT VRIDNING

Metod
MLH 1

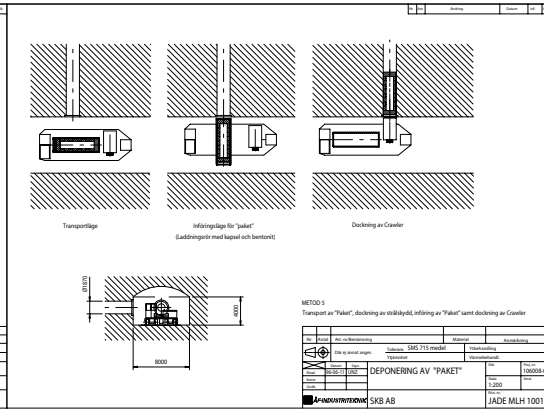
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV PAKET, MLH1 CU-NÅT/SKENA		
Tolerans SMS 715 medel Ytbehandling Värmebehandling Ytjämnhet Datum 97-02-19 Rittad DEPONERING AV PAKET, MLH1 Kontr. TBE Godk.			Vikt 106040 Skala 1:50 Rittn.-nr. SADE MLH 1006	Proj.-nr. 106040 Smst.
AF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB				SADE MLH 1006



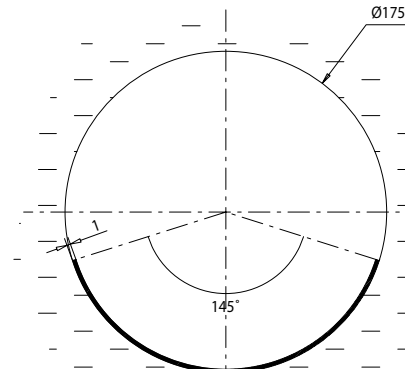
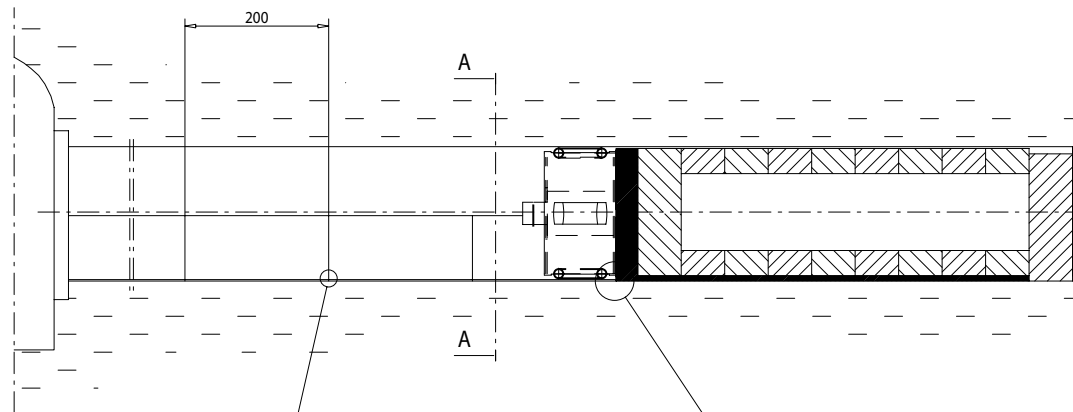
DEPONERING AV BOTTENPLUGG OCH GÅNGSKYDD



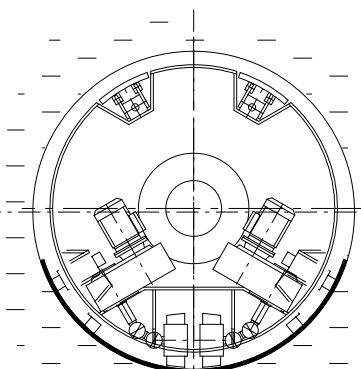
TRANSPORT AV KAPSELPÅKET OCH CRAWLER



DEPONERING AV KAPSELPÅKET



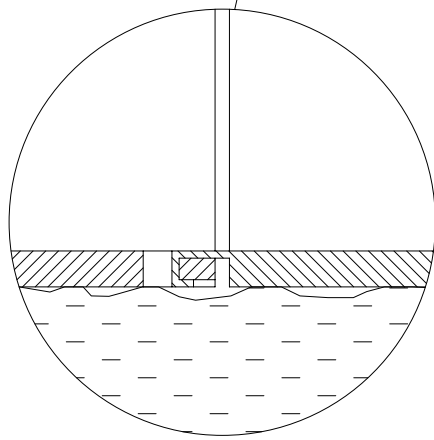
A - A
SKALA 1:20
GÅNGSKYDD



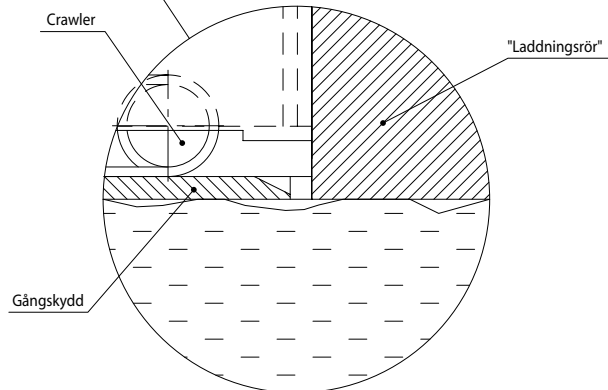
A - A
SKALA 1:20
CRAWLER

Metod
MLH 3

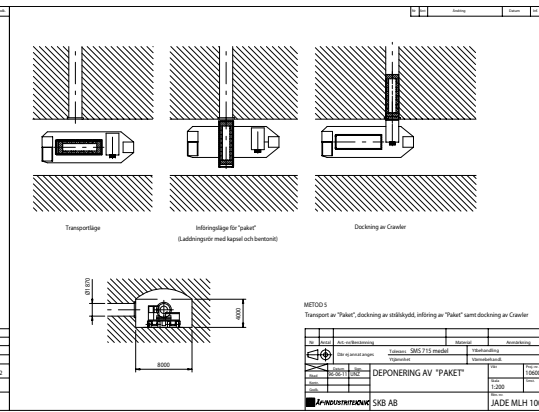
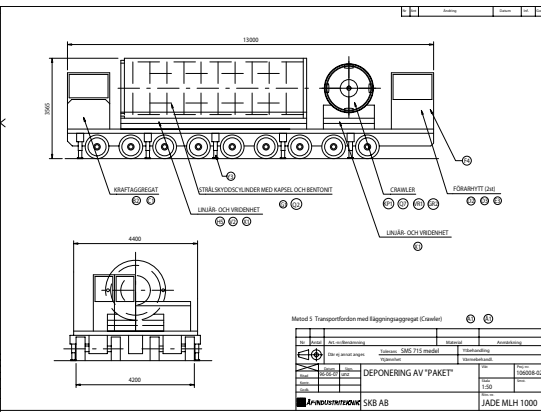
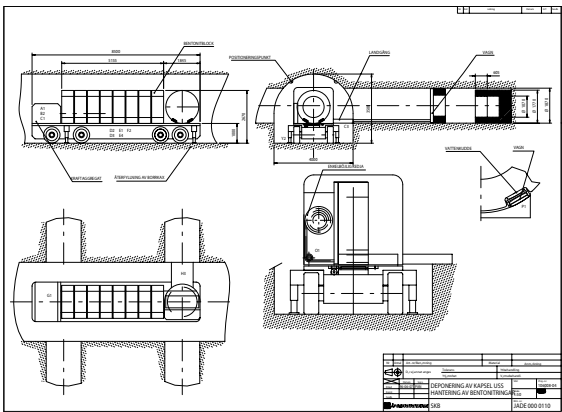
121



SKARV MELLAN GÅNGSKYDDSEGMENT



Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandling.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH3 MED VRIDN. OCH GÅNGSKYDD	Vikt 106040
Korr.	97-03-27	TBE	SKALA 1:50	Smst.
Godk.			SKB AB	Ritn.-nr. SADE MLH 1008

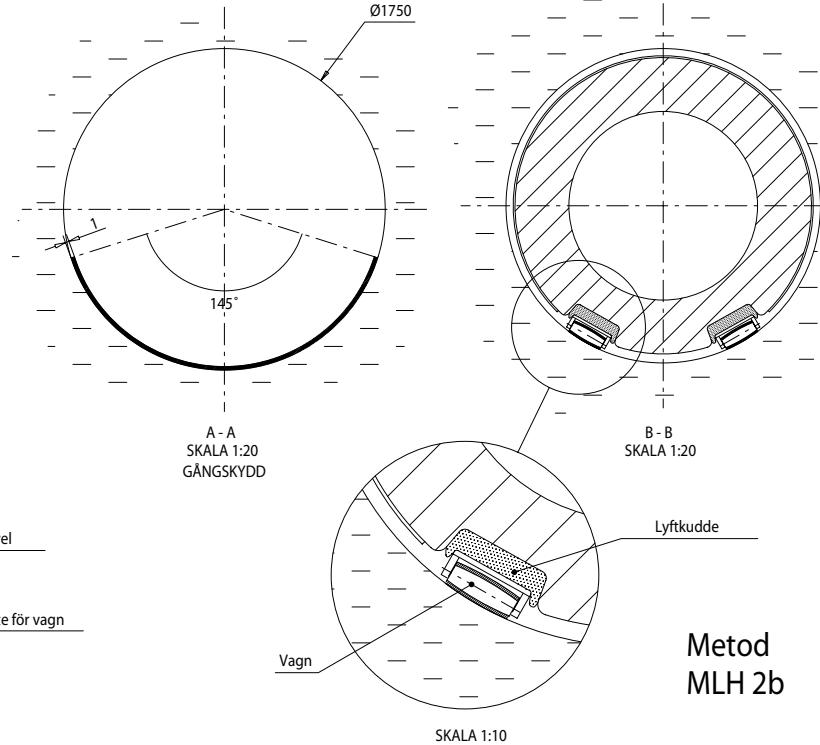
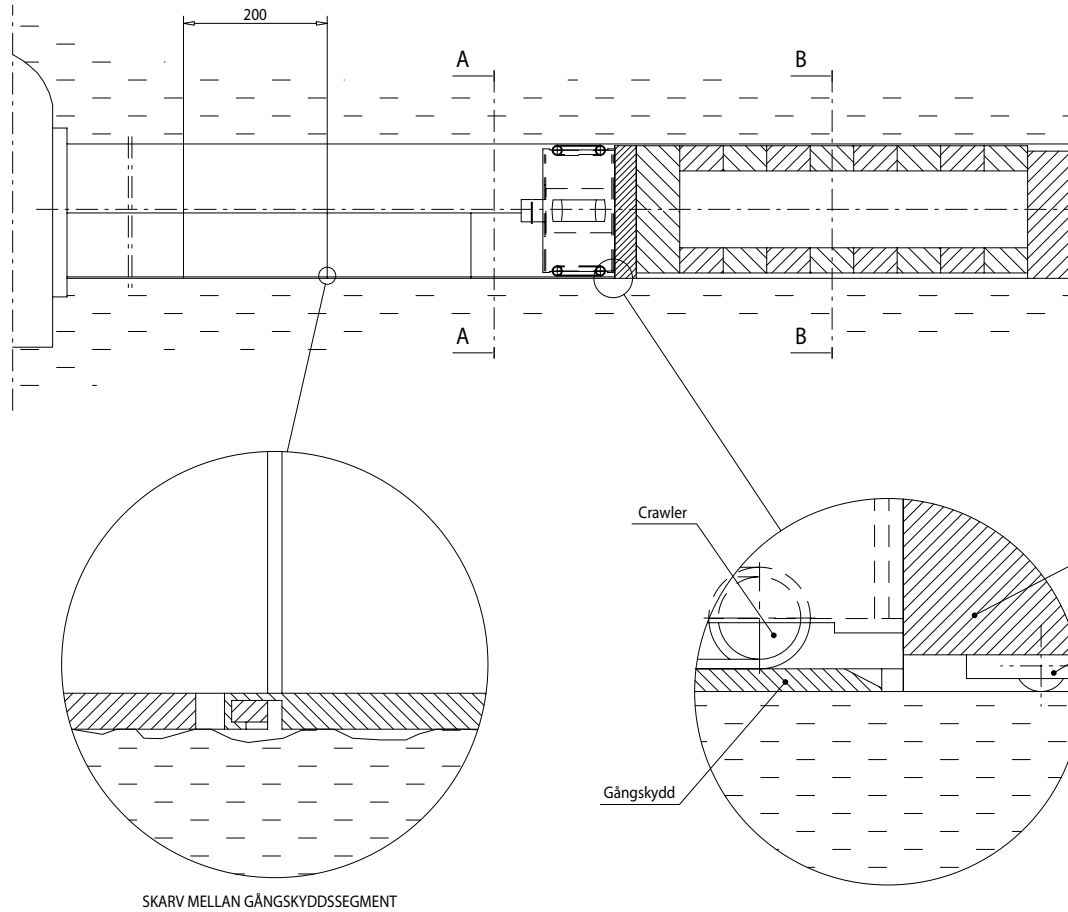


Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"		
2	1	DEPONERING AV "PAKET"		

DEPONERING AV BOTTENPLUGG OCH GÅNGSKYDD

TRANSPORT AV KAPSELPAKET OCH CRAWLER

DEPONERING AV KAPSELPAKET

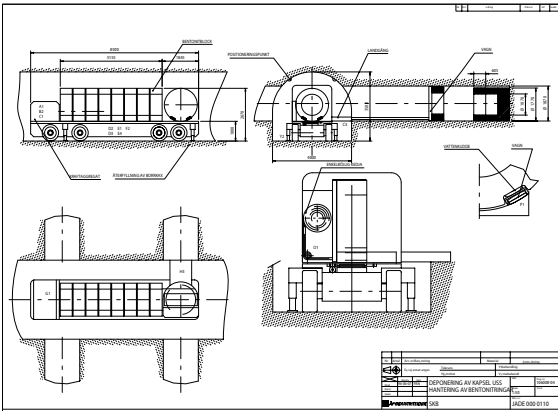


Metod MLH 2b

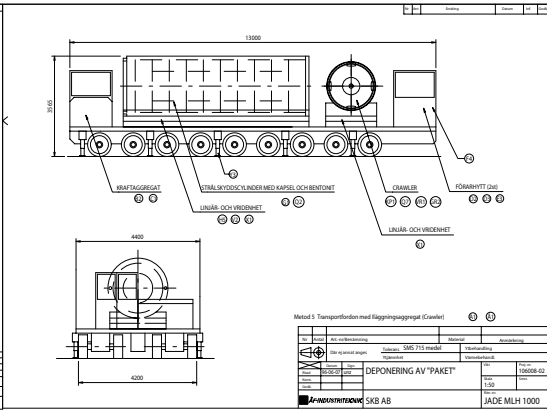
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"		
2	1	DEPONERING AV "PAKET"		

Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH2b "GAFFELTRUCK"	Vikt	Proj.-nr.
Kontr.		TBE		Skala	106040
Godk.				1:50	Smst.
				Ritn.-nr.	

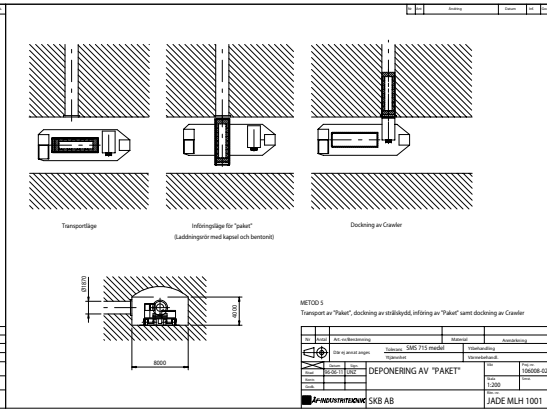
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK	SKB AB	SADE MLH 1009
--------------------	--------	---------------



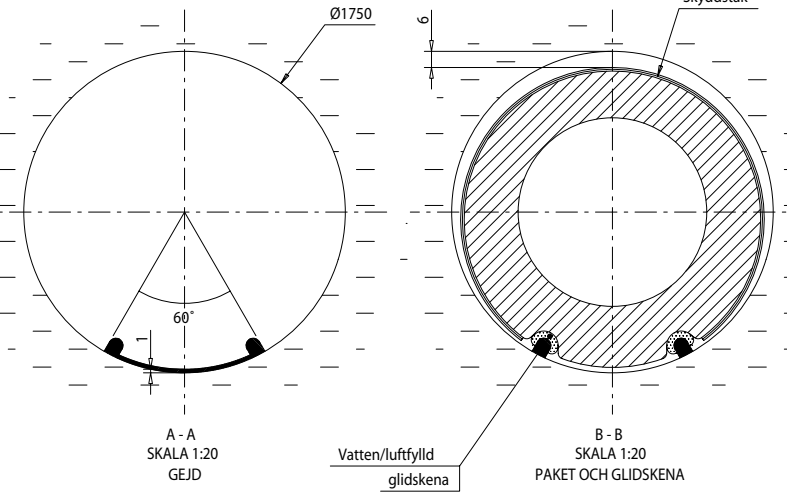
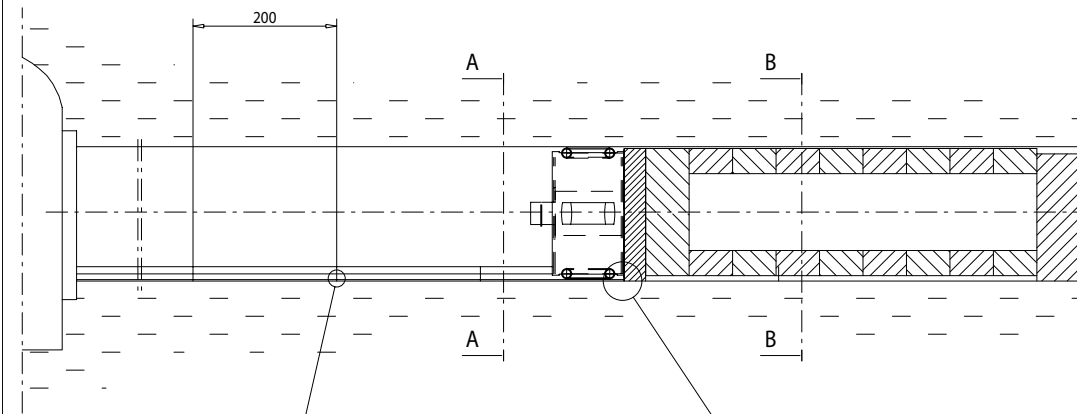
DEPONERING AV BOTTENPLUGG OCH GEJDSEKTIONER



TRANSPORT AV KAPSELPAKET OCH CRAWLER

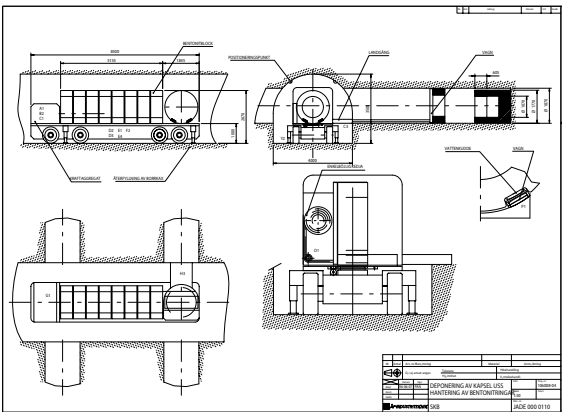


DEPONERING AV KAPSELPAKET

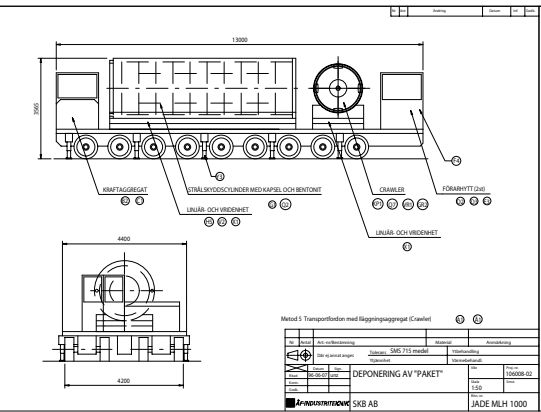


Metod
MLH 5

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH5 FASTA GEJDRAR	Vikt 106040
Kontr.	97-03-27	TBE		Skala 1:50
Godk.				Smst. 106040
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB			Ritm.-nr. SADE MLH 1010A	

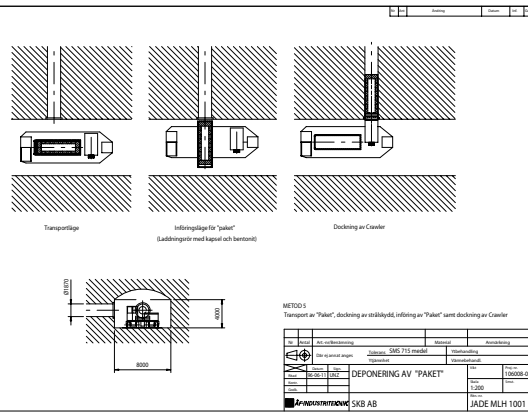


Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV KAPSEL LÖS HÅNTERING AV BENSTÖTNING		
2	1	JÄDE 000 0110		



Metod 5 Transportfordon med bäggaroggräp (Crawler)

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"		
2	1	JÄDE MLH 1000		



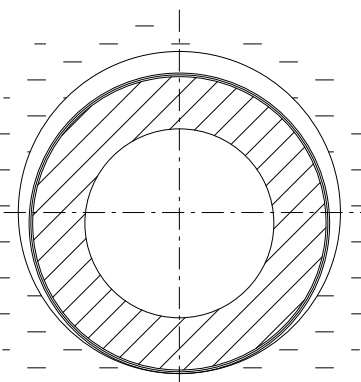
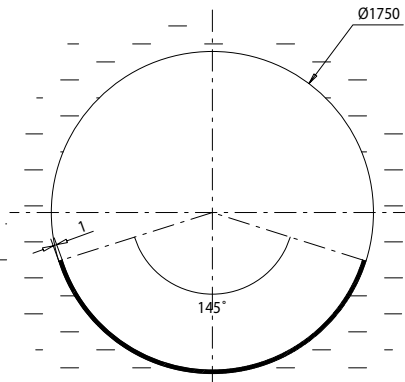
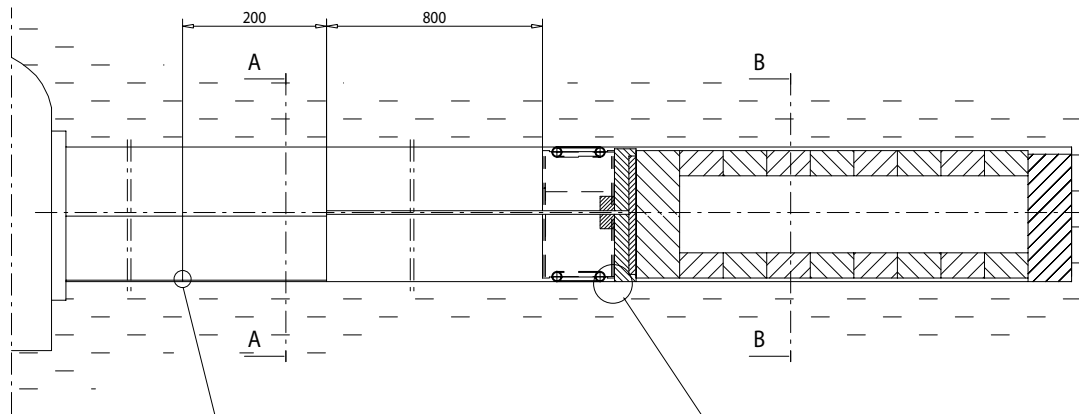
METOD 5 Transport av "paket", dockning av stålbjälke, införing av "paket" samt dockning av Crawler

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"		
2	1	JÄDE MLH 1001		

DEPONERING AV BOTTENPLUGG OCH GÅNGSKYDD

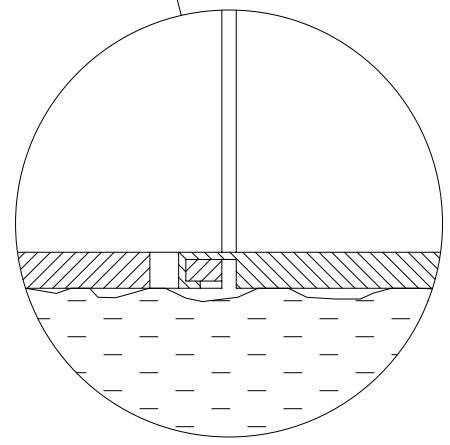
TRANSPORT AV KAPSELPAKET OCH CRAWLER

DEPONERING AV KAPSELPAKET

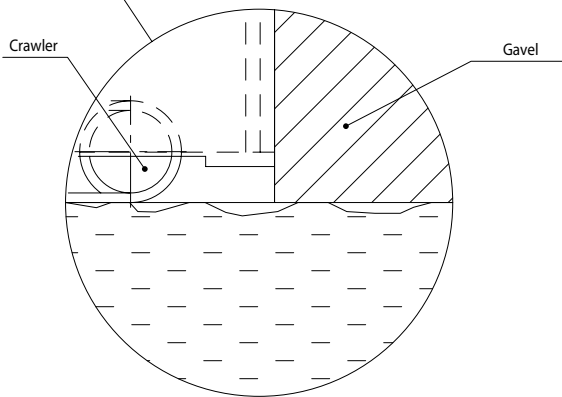


A - A
SKALA 1:20
GÅNGSKYDD

B - B
SKALA 1:20
DEPONERINGSLÄGE



SKARV MELLAN GÅNGSKYDDSEGMENT



Crawler

Gavel

Metod
MLH 4

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
1	1	DEPONERING AV "PAKET"		
2	1	JÄDE MLH 1001		

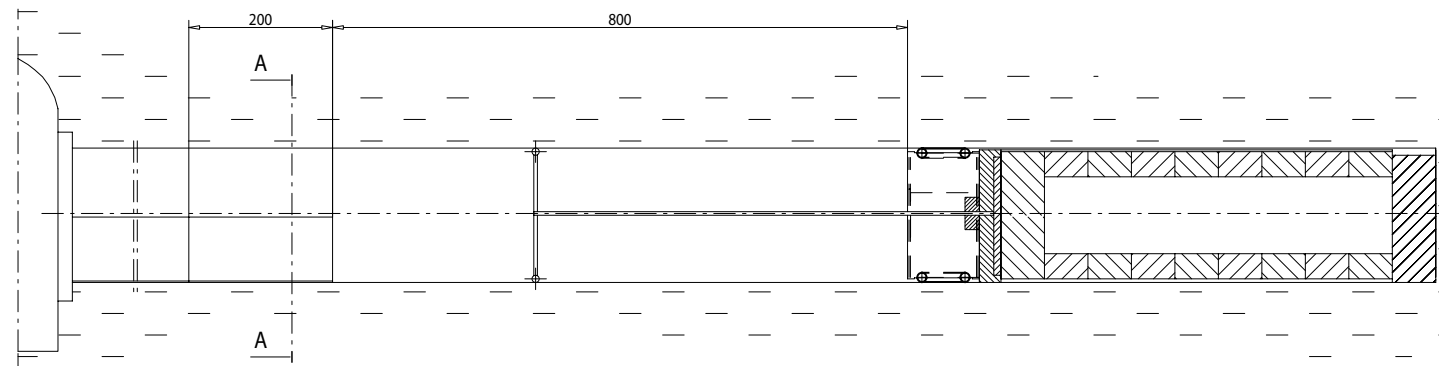
Datum	Sign.	Tolerans	Ytbehandling	Vikt	Proj.-nr.
97-03-27	TBE	Där ej annat anges	Ytjämnhet		106040
			Värmebehandl.		Smst.

DEPONERING AV PAKET, MLH4
UTAN VRIDN. MED GÅNGSKYDD

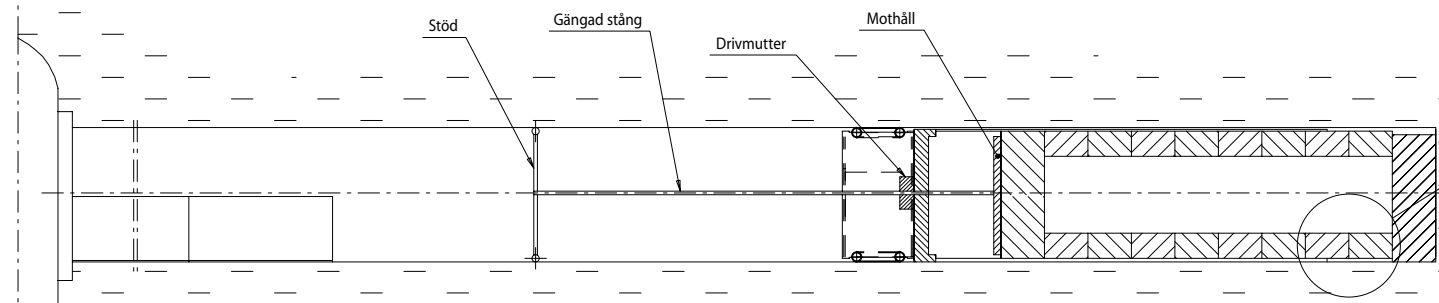
Skala 1:50

Ritn.-nr. SADE MLH 1011A

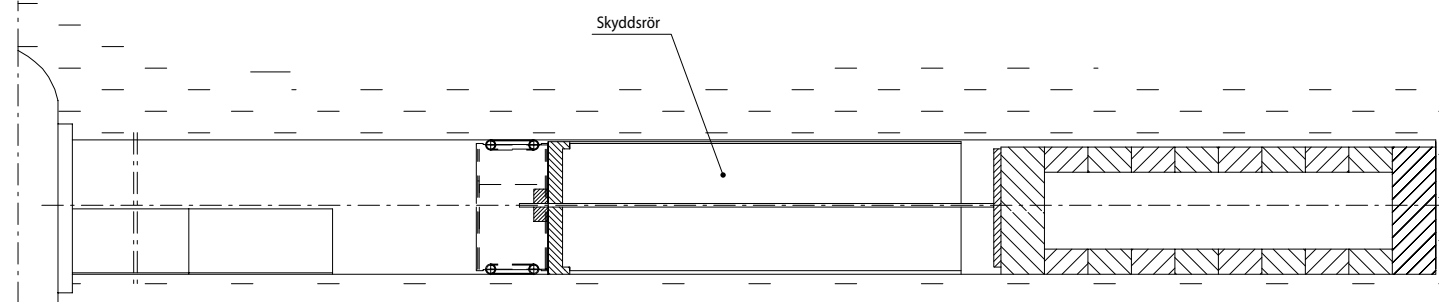
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB



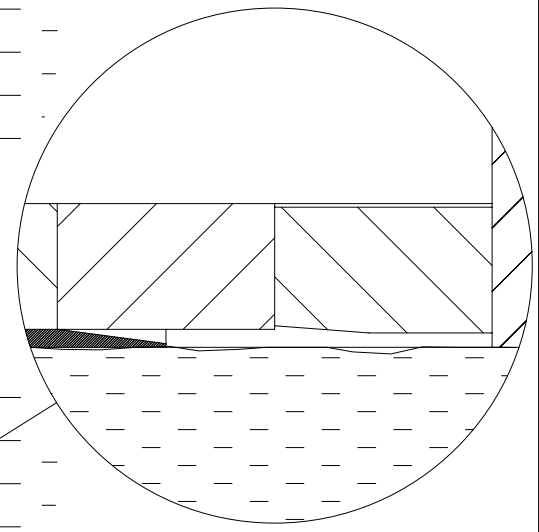
DEPONERING STARTAR, PAKETET PÅ PLATS



FÖRSTA BENTONITRINGEN OCH HALVA ANDRA RINGEN FRILAGD



DEPONERING SLUTFÖRD, HELA PAKETET FRILAGT

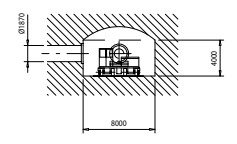
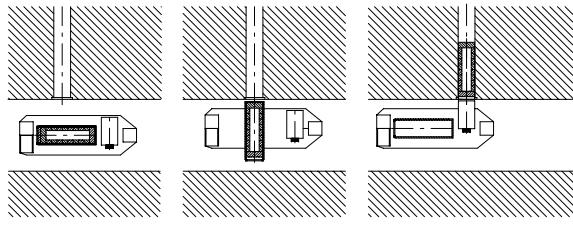
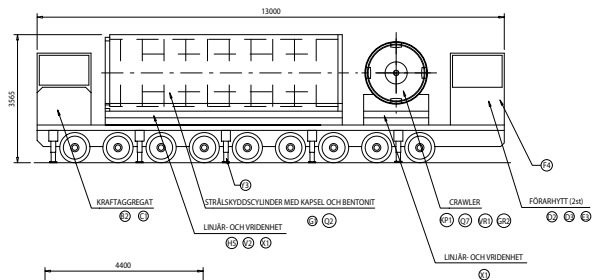


(1:10)

Metod
MLH 4

125

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandling.	
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH4 DEPONERINGSPROCESS	Vikt
Kontr.	97-03-27	TBE		106040
Godk.				Skala 1:50
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK			SKB AB	Ritm.-nr. SADE MLH 1011B



METOD 5
Transport av "Paket", dockning av strålskydd, införing av "Paket" samt dockning av Crawler

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Stålrenn SMS 715 medel	Widhanläggning
1		DEPONERING AV "PAKET"	Ytterhölje	Värmebehandling
			Stål	1160008-02
			Stål	1:50
			Stål	106009-02
			Stål	1:200
			Stål	106009-02
			Stål	1:50

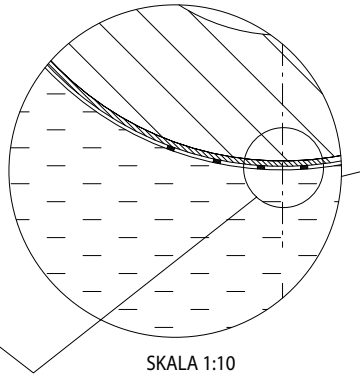
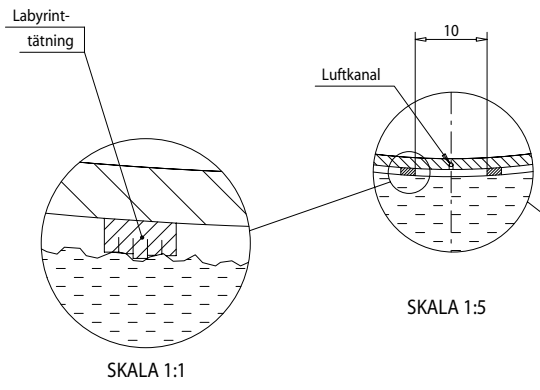
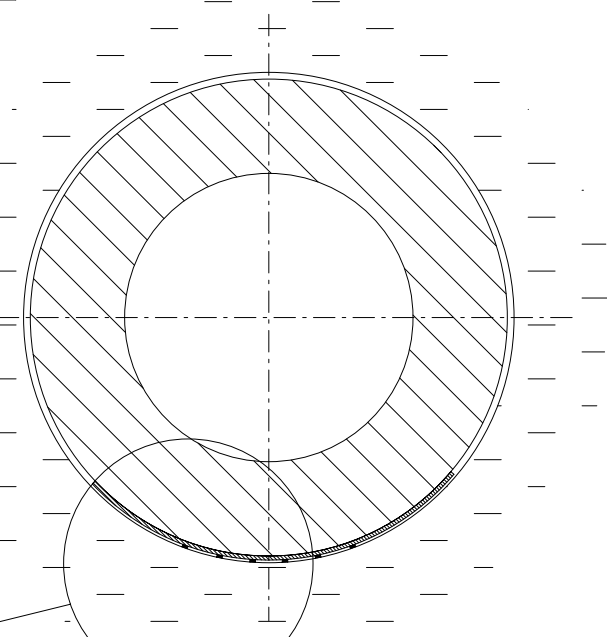
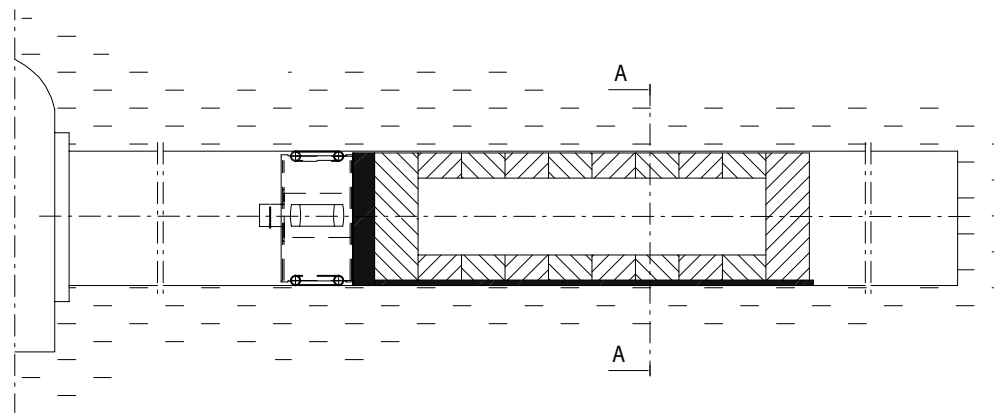
AF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB JADE MLH 1000

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Stålrenn SMS 715 medel	Widhanläggning
1		DEPONERING AV "PAKET"	Ytterhölje	Värmebehandling
			Stål	1160008-02
			Stål	1:50
			Stål	106009-02
			Stål	1:200
			Stål	106009-02
			Stål	1:50

AF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB JADE MLH 1001

TRANSPORT AV KAPSELPAKET OCH CRAWLER

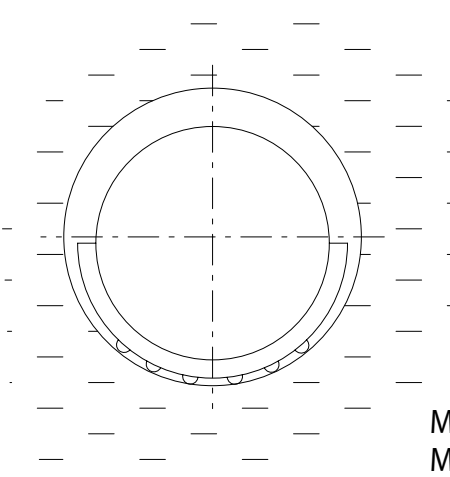
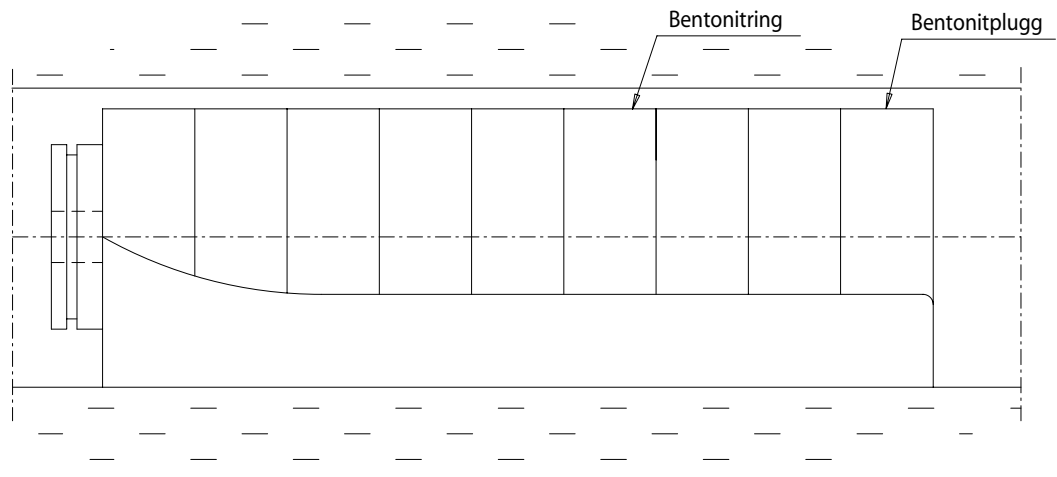
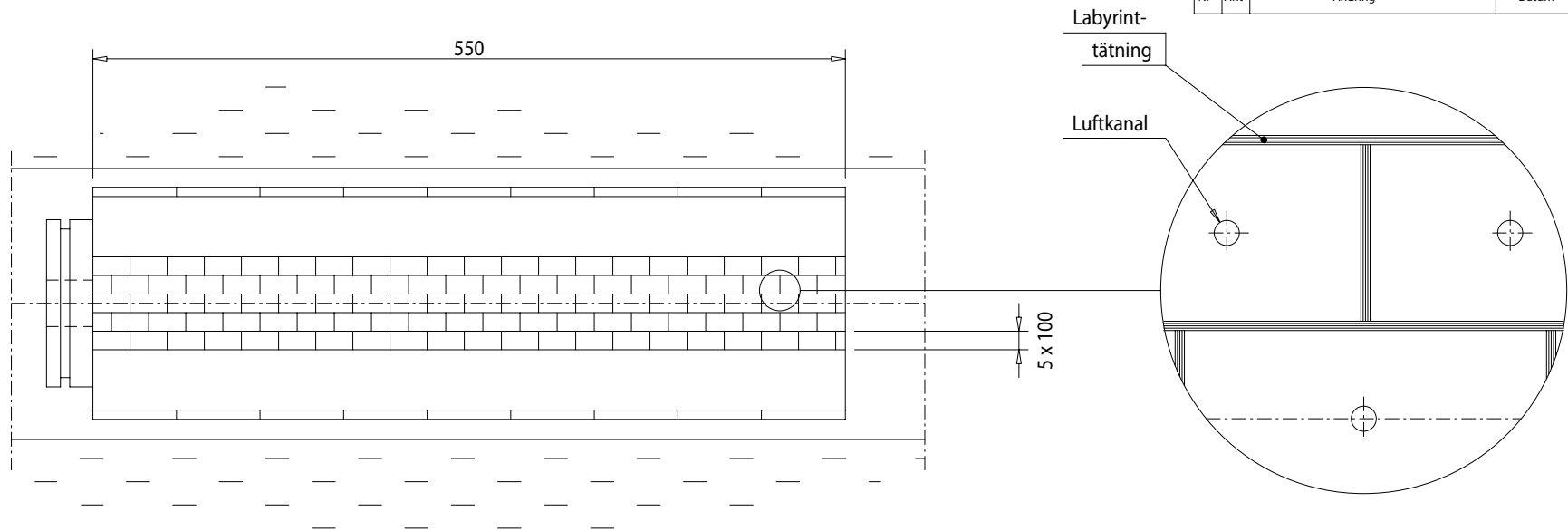
DEPONERING AV KAPSELPAKET



A - A, SKALA 1:30

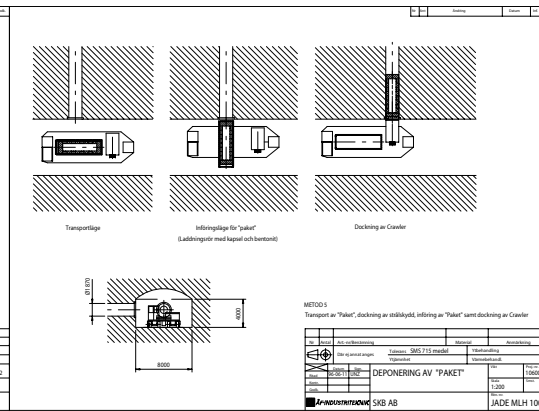
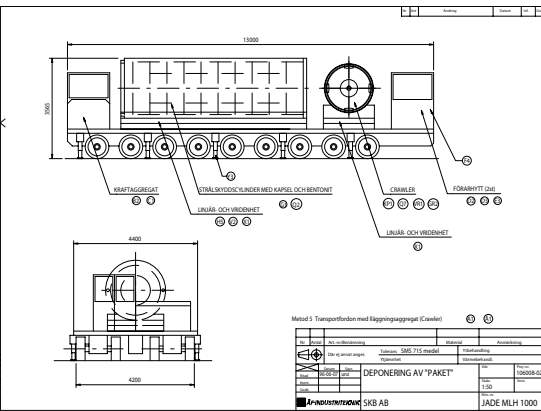
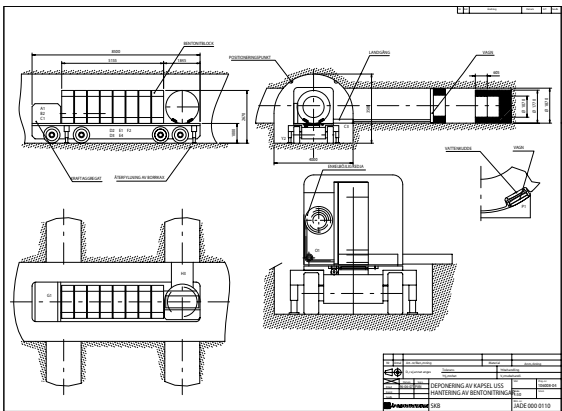
Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning	
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandling	
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH6 MED VRIDNING, "LUFTKUDDE"	Vikt	Proj.-nr.
Kontr.		TBE		Skala	106040
Godk.				1:50	Smst.
AF-INDUSTRIOTEKNIK		SKB AB	Ritn.-nr.	SADE MLH 1012A	

Nr	Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.
----	-----	---------	-------	------	-------



Metod
MLH 6

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH6 LADDNINGSRÖR	
Kontr.	97-03-27	TBE		
Godk.				
			SKB AB	Vikt Proj.-nr. 106040
				Skala Smst.
				Ritn.-nr. SADE MLH 1012B

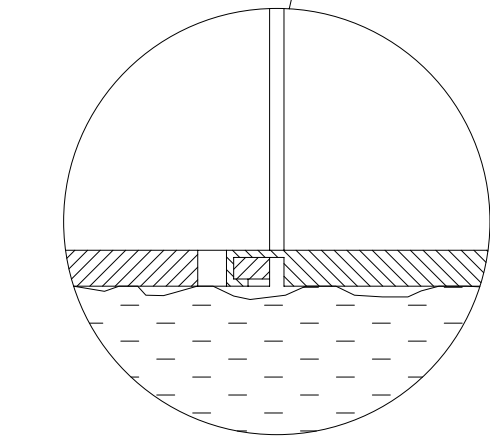
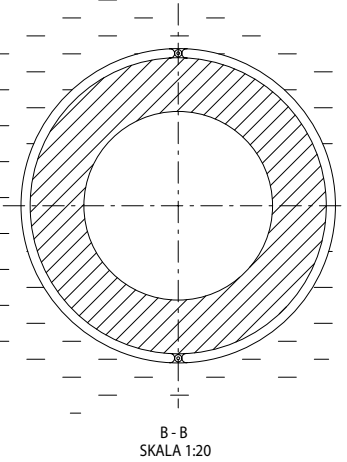
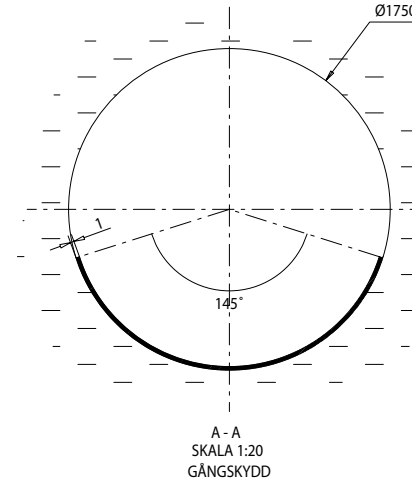
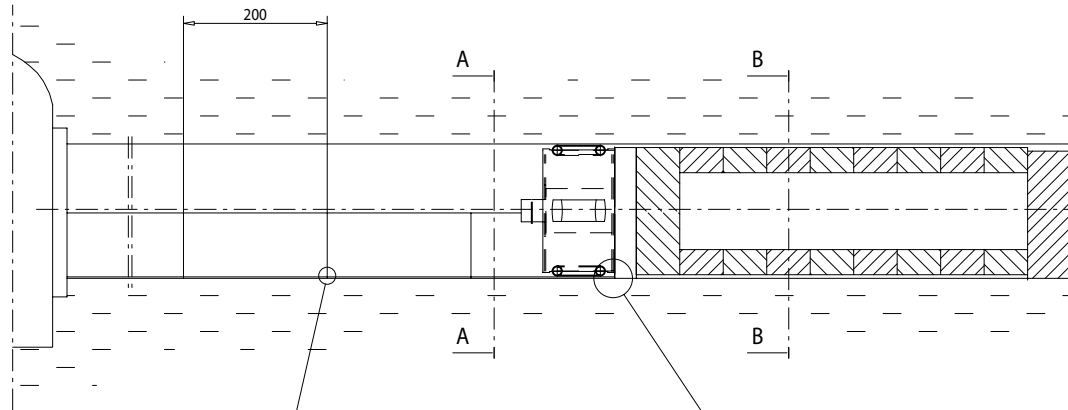


Ant	Ändring	Datum	Inf.	Godk.

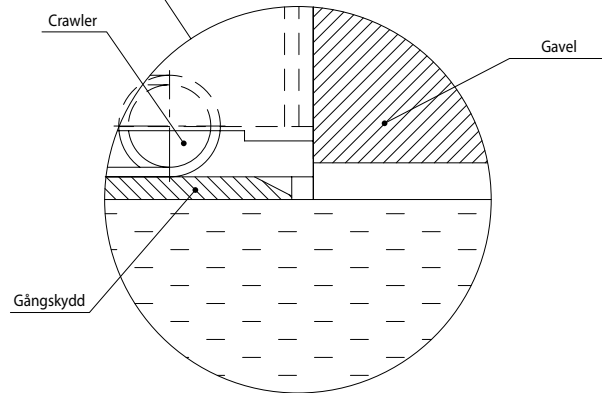
DEPONERING AV BOTTENPLUGG OCH GÅNGSKYDD

TRANSPORT AV KAPSELPAKET OCH CRAWLER

DEPONERING AV KAPSELPAKET



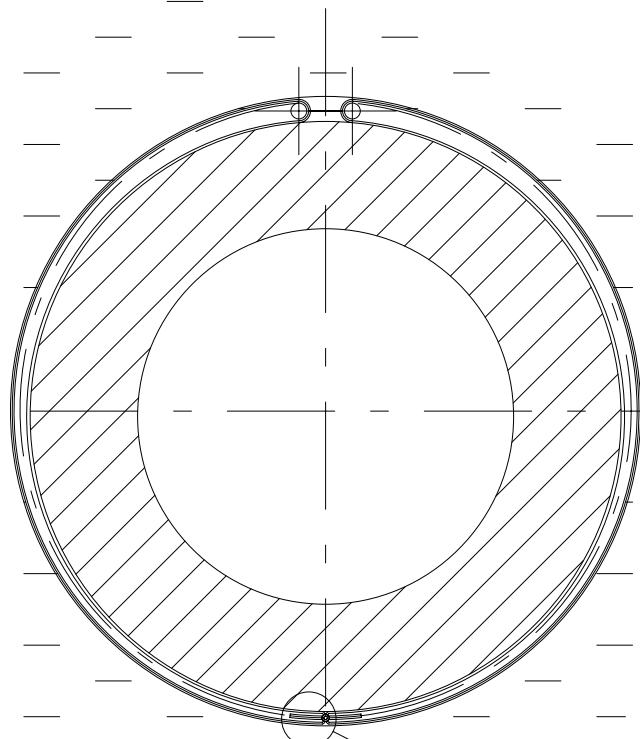
SKARV MELLAN GÅNGSKYDDSSSEGMENT



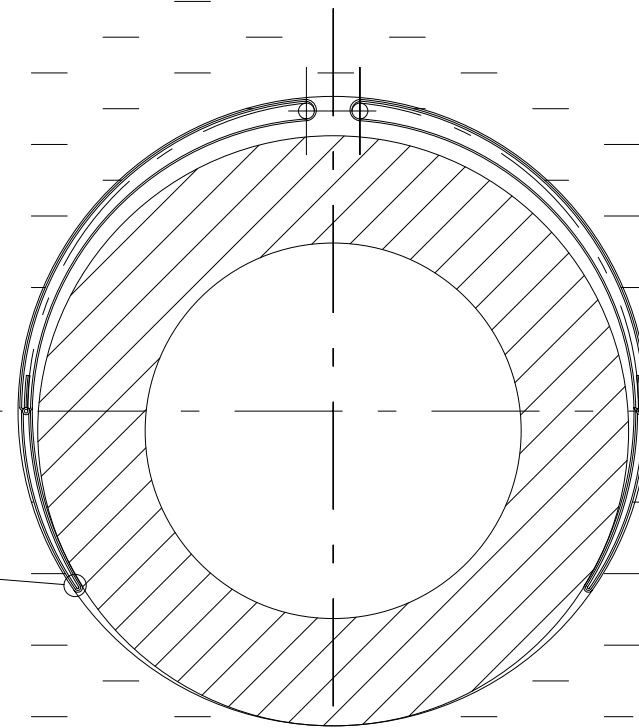
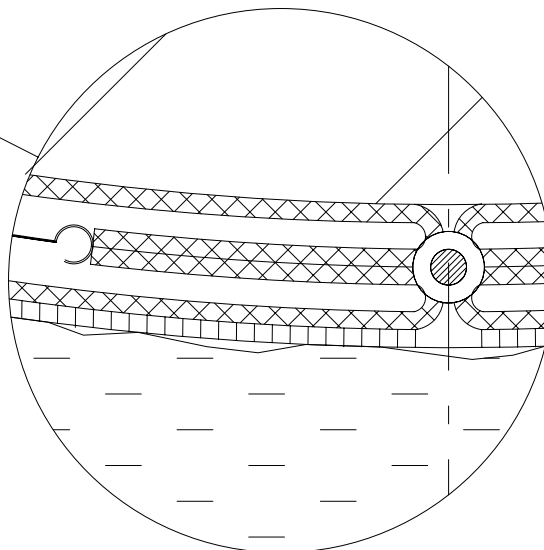
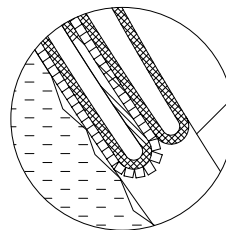
Metod
MLH 8

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH8	
Kontr.	97-03-27	TBE	"FLYGANDE MATTAN"	
Godk.			Vikt	Proj.-nr.
			1:50	106040
			Skala	Smst.
			1:50	
			Ritn.-nr.	
			SADE MLH 1013A	

ÅF-INDUSTRIOTEKNIK SKB AB



B - B
SKALA 1:10
KAPSELPAKETET I TRANSPORTLÄGE



B - B
SKALA 1:10
KAPSELPAKETET VILAR MOT UNDERLAGET

Metod
MLH 8

Nr	Antal	Art.-nr/Benämning	Material	Anmärkning
		Där ej annat anges	Tolerans Ytjämnhet	Ytbehandling Värmebehandl.
Ritad	Datum	Sign.	DEPONERING AV PAKET, MLH8	Vikt 106040
Kontr.	97-03-27	TBE	"MATTA"	Skala 1:10
Godk.				Smst.
ÅF-INDUSTRIOTEKNIK			SKB AB	Ritn.-nr. SADE MLH 1013B

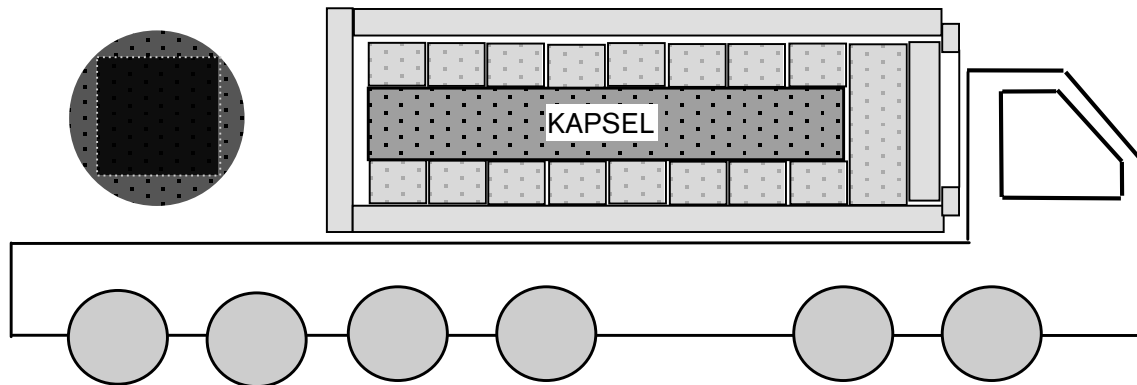
Beskrivning av deponeringsprocessen i "strålsteg"

I denna bilaga återges den kompletterande beskrivning av deponeringsprocessen MLH_{AF-1} som utfördes för ABB Atoms analys av strålskyddsfrågor inför feleffektanalysen. Beskrivningen har härletts ur processbeskrivningen i föreliggande rapports avsnitt 5.

Målsättningen för denna beskrivning var ett underlag för analys som identifierade de olika situationerna i den granskade deponeringsprocessen ur strålningens synpunkt. Elva steg eller situationer kunde särskiljas, se följande sidorna. För en processbeskrivning hänvisas till huvudrapportens avsnitt 5.1.

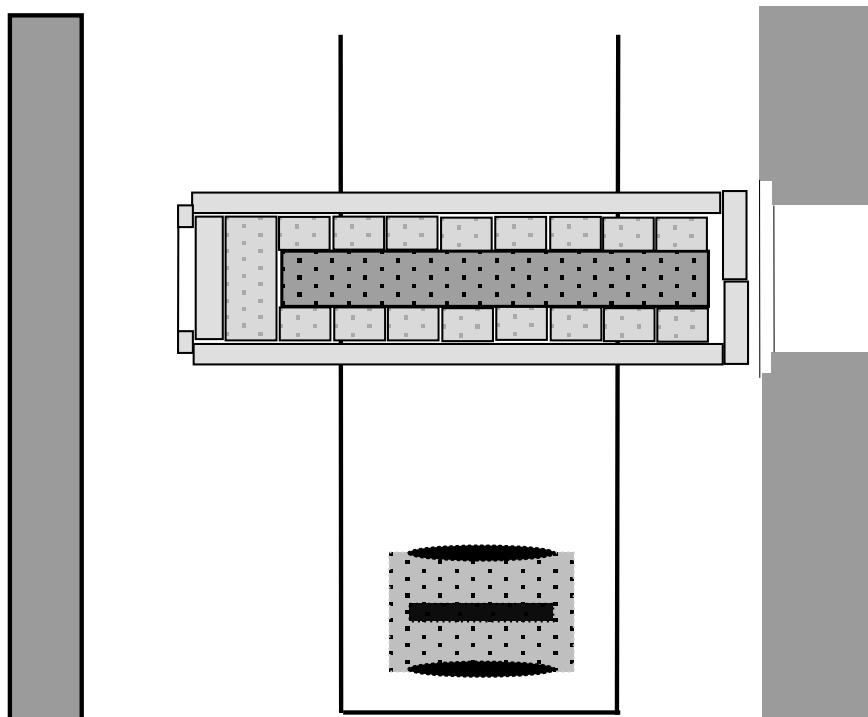
Steg 1

Transport från omlastningsplats till aktuellt deponeringshål. Kapseln har strålskydd.



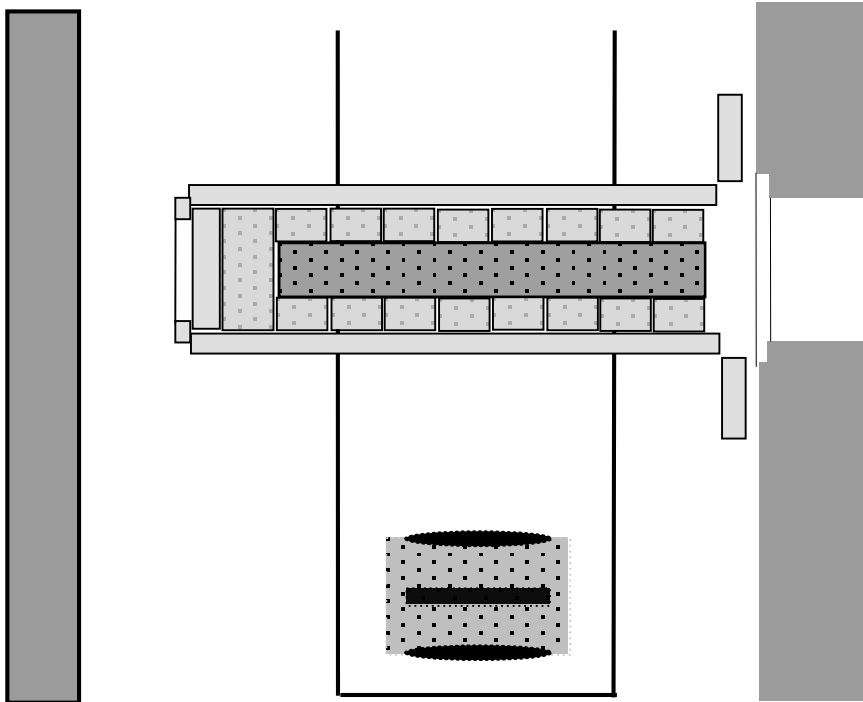
Steg 2

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



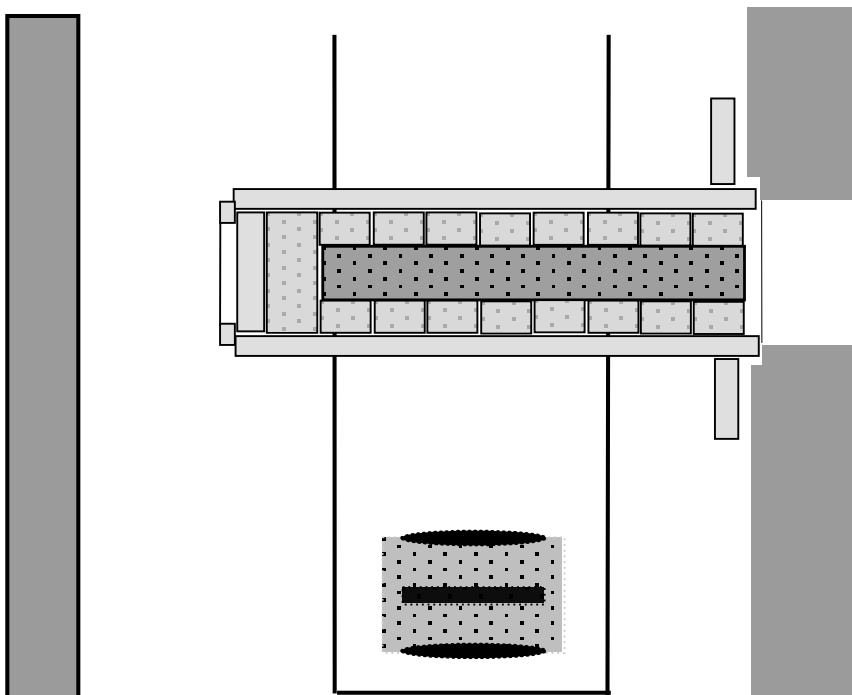
Steg 3

Främre strålskyddsgavel har öppnats.



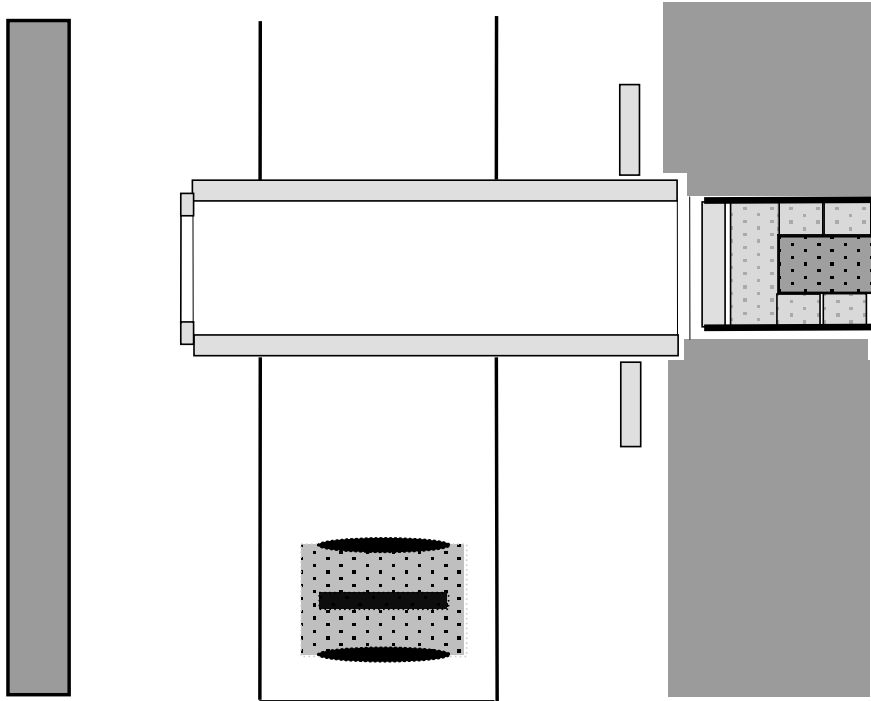
Steg 4

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



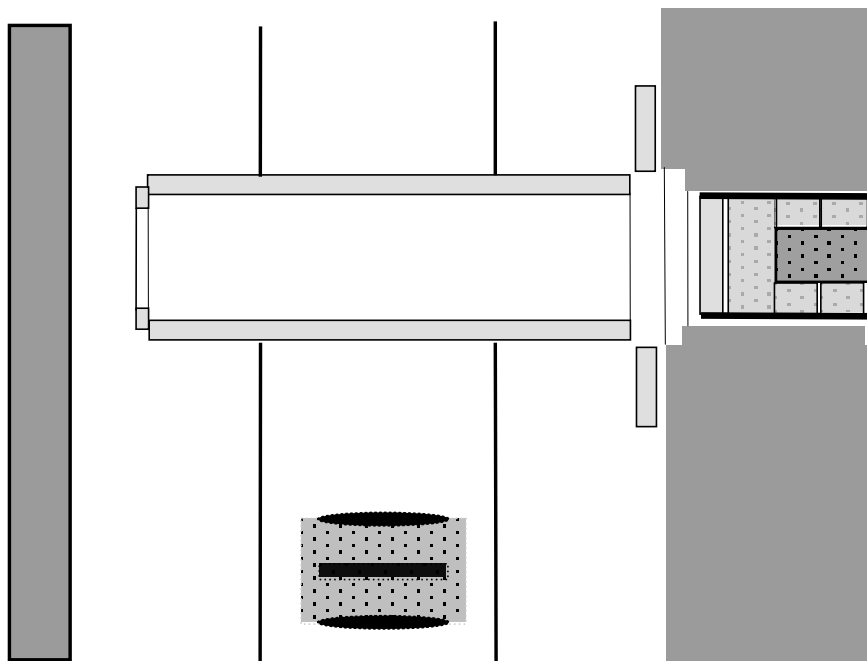
Steg 5

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.



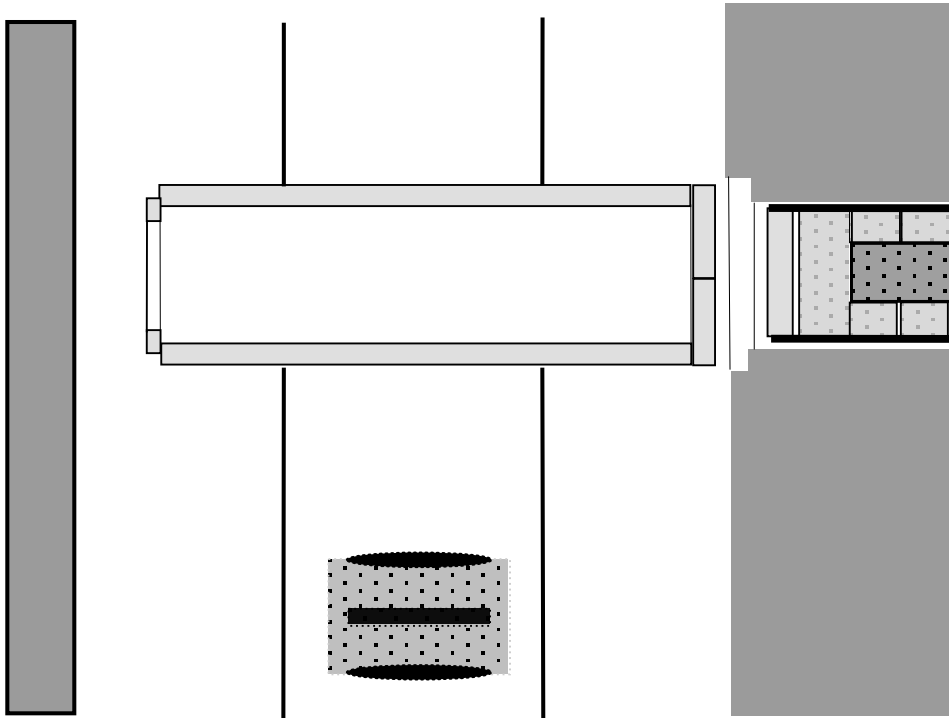
Steg 6

Kapsel, bentonit och laddningsrör är placerat i deponeringshålet. Strålskyddet har dragits ur bergförsänkningen. Den yttre bentonitpluggens tjocklek är cirka 0.6 m.



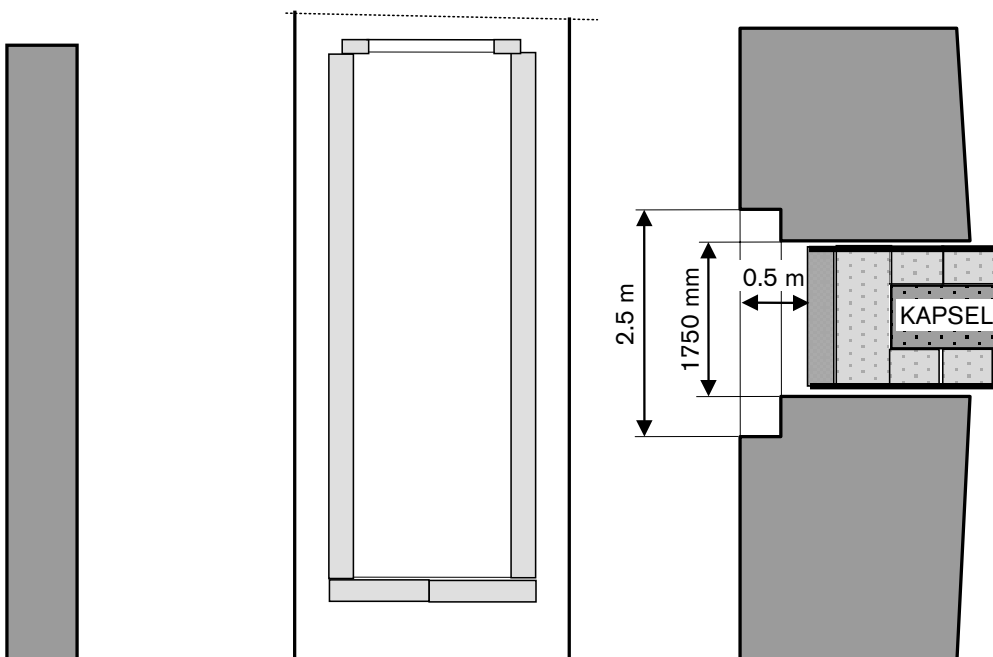
Steg 7

Främre strålskyddsgaveln har stängts.



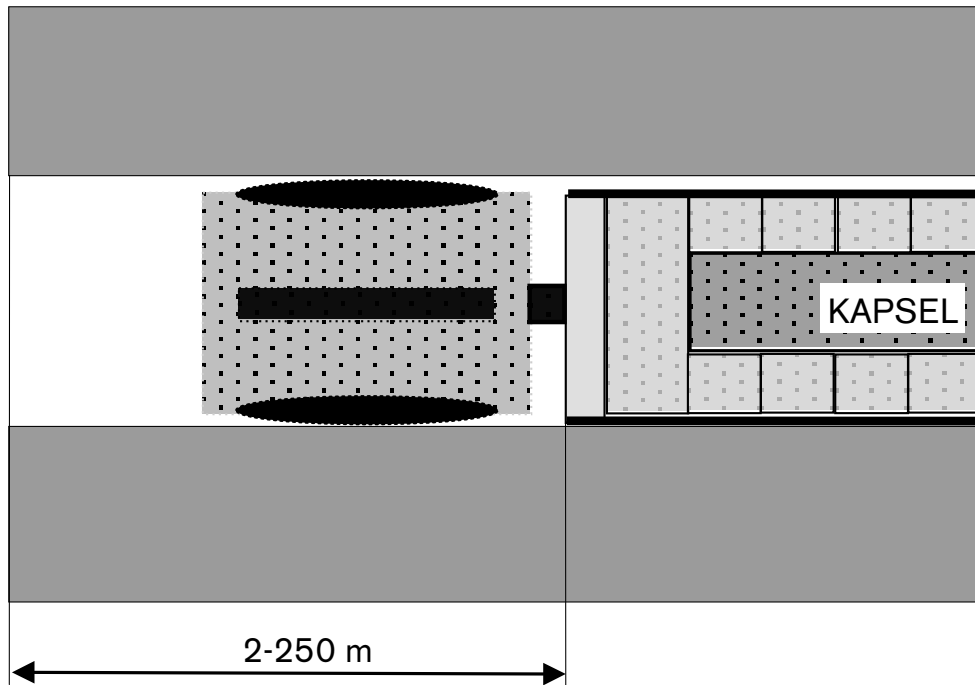
Steg 8

Strålskyddet har vridits tillbaka till transportläge. Fordonet förflyttar sig så att röret med iläggningsaggregatet kommer mitt för deponeringshålet och därefter dockas det med laddningsröret.



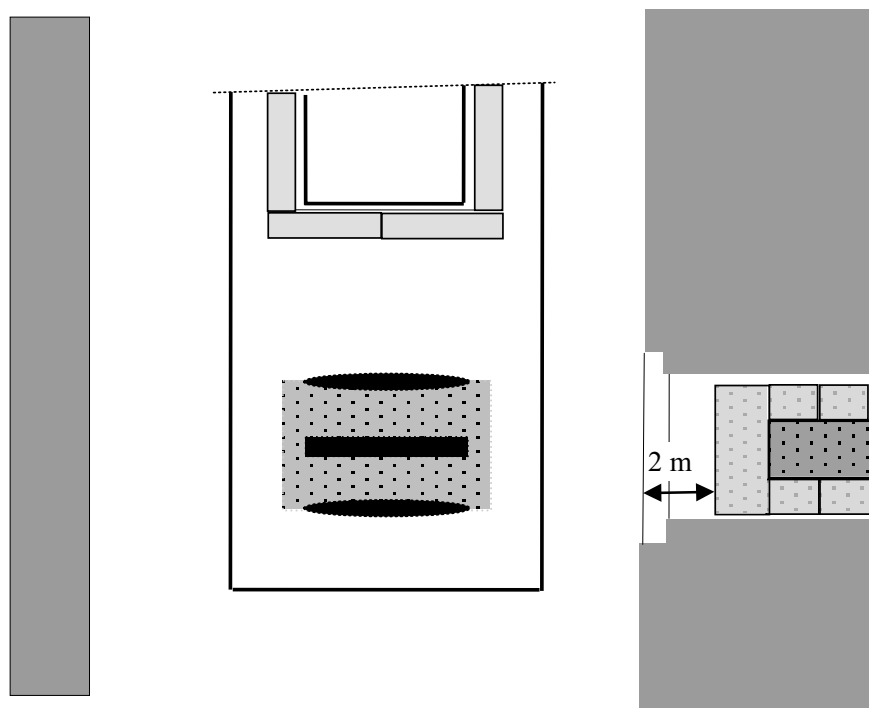
Steg 9

Kapsel, bentonitpaket och laddningsrör skjuts in i deponeringshålet av laddningsaggregatet. Avståndet från deponeringshålets mynning, till laddningsrör med "paketet", varierar från ett par meter när hålet är fullt till cirka 250 m.



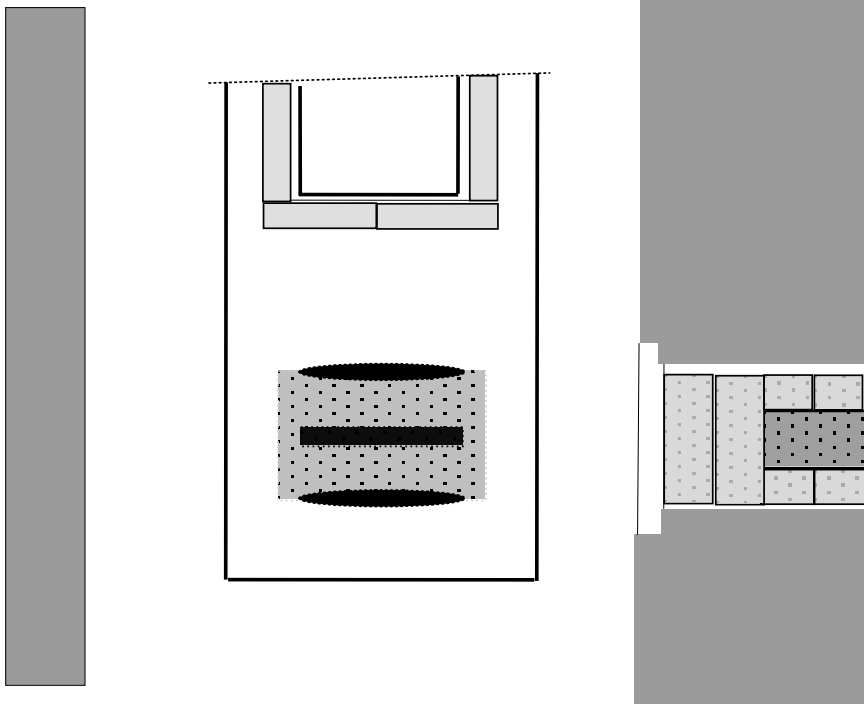
Steg 10

Iläggingsaggregatet och laddningsröret är åter placerade på deponeringsfordonet. En bentonitplugg, vars tjocklek är 0,5 m, täcker kapseln ut mot hålets mynning.



Steg 11

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



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 dosekvivalenter) 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 m 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 komponentytdosrater.

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 skärm materialet vid samma tjocklek skyddar effektivare åt sidan än vid gavlarna. Skillnaden syns i skärmningstabellen i avsnitt 4.

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	cirka 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? - $F=10^{25/14} \approx 61$

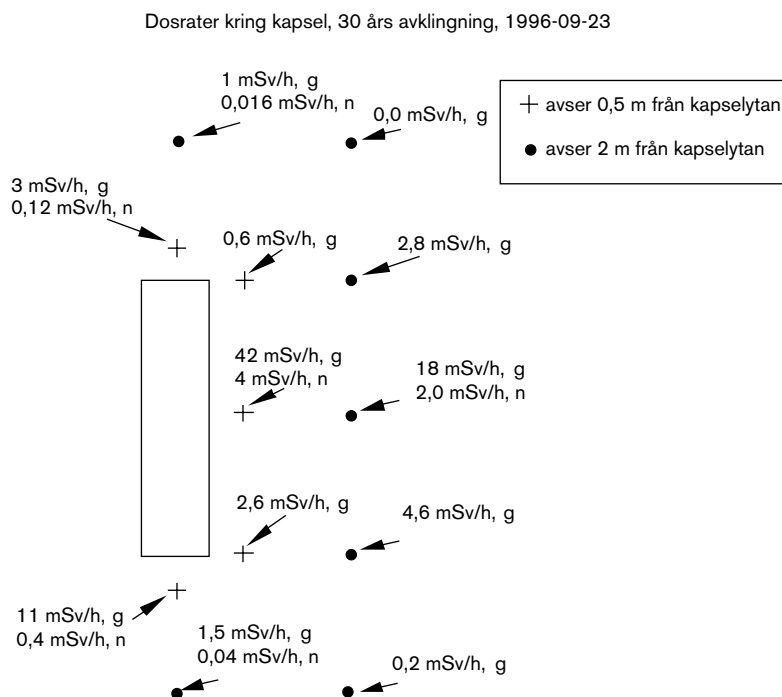
Bentonitens skärmning för neutroner, i tabellen markerad med (prel), har hämtats från en äldre beräkning för djupförvaret. Den bentonit som planeras idag kan ha en annan materialsammansättning, men för denna studie har ovanstående skärmningsvärde ansetts vara användbart. Det fel som kan uppstå beräknas 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-Industrieteknik. 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 H90

Dokument ÅF-I rapport M960090/1 och /2S

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

Strålningsaspekter vid hantering

Steg 1 och 2 Transport i transportgång och rotation

Kapseln är allsidigt skärmd av bentonit och stålcylander. Transportstrålskyddet ska skydda omgivningen så att nivån understiger 10 $\mu\text{Sv/h}$ på 2 m avstånd.

Bentoniten har en tjocklek på 29 cm. Strålskärmen görs lämpligen av 4 cm stål och 25 cm polyeten. 29 cm bentonit ger en reduktion på drygt 100 för γ -strålning och 10 för neutroner. Stål och polyeten reducerar dosraten till cirka 5 $\mu\text{Sv/h}$.

På kapselns främre ände sitter en bentonitplugg med 605 mm tjocklek, vilket ger ett fullt tillräckligt skydd även utan stålgavel. Vid bakänden behövs en strålskyddsgavel på 13 cm stål för att blå zon ska erhållas på 2 m avstånd.

Så länge kapseln ligger i strålskärmen med ovanstående mått är åtkomligheten god. Miljön 2 m från kapelytan motsvarar blå zon. Kontinuerligt arbete är möjligt.

Steg 3 Öppning av strålskyddsgavel

Stålcyldern öppnas mot deponeringshålet genom att gaveln förs undan. Det ger en svag strålning i riktning mot hålet. Transporttunneln får ingen direktstrålning och är helt beträddbar.

Steg 4 och 5 Dockning och inskjutning av kapselpaketet

Cylindern dockas mot försänkningen i deponeringshålet. Det blir ingen strålning i transporttunneln under hanteringen.

Steg 6-11

När kapseln kommit in i hålet och stålcyldern tagits bort finns bentonitpluggen kvar som tillräcklig skärm mot transporttunneln. Strålnippet ut mot transporttunneln motsvarar vit zon och detta blir beträddbart utan restriktioner. Detta skydd finns kvar i samtliga följande steg.

Strålningsaspekter vid fel och missöden

Steg 1 och 2 Transport i transportgång och rotation

Med kapseln skärmd 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 pga något missöde bedöms som obefintlig med normal omsorg vid konstruktion och tillverkning av strålskärm och vaggor.

Steg 3 Öppning av strålskyddsgavel

Vid åtgärder på strålskyddsgaveln ska direktstrålning undvikas.

Steg 4 och 5 Dockning och inskjutning av kapselpaketet

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 transporttunneln,
- 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 transporttunneln.** Alla fel som uppstår i transporttunneln 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 deponeringstunneln.
- 2.1 Fel på kapselpaketets drivmekanism avhjälpas i transporttunneln och utgör inget problem.
- 2.2 Fel position kan uppstå i fordonets läge och i höjdläget. Även en felaktig vinkel på deponeringshålet ska beaktas. Fordonsläget justeras fjärrstyrt, men manuell åtgärd är möjlig. Höjdlägesfel kan bero på fel i mekanismen för höjdläges justering eller i bristningar i materielen. Båda hör till fel i transporttunneln och 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 stålcyllindern. Det senare fallet måste lösas både med paketet delvis inne i deponeringstunneln 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. Eftersom paketet hela tiden kan antas ligga i laddningsröret bör skärmen vara intakt under arbetet.

Hinder under inskjutningen kan uppstå på grund av brottstycken av bentonit i hålet. Sådana kan t ex brytas loss från den främre pluggen vid inkörningen. Ett brottstycke kan låsa pluggen. Om pluggen fastnar kan resten av paketet dras tillbaka, men kapseln exponeras då mot omgivningen, vilket måste observeras då den kommer tillbaka till transporttunneln. En ny plugg eller annat tillfälligt strålskydd bör appliceras så att åtkomligheten förbättras. Efter rensning av hålet återupptas deponeringsproceduren.

Finns det en risk för att bentonitringar och pluggar delar sig på annat sätt under återtagningen? I så fall måste fortsatt arbete ske fjärrstyrt, åtminstone måste övergång till fjärrstyrning ske då risken för en sådan delning börjar skönjas. Hur får man ut kapseln om bentoniten börjar dela sig?

- 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, tillåter bentonitstrålskärmen manuella åtgärder i hålet.
- 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 borrning 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 för MLH_{AF-1}

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 MLH_{AF-1} . Deponering av strålskyddad kapsel ”i paket” liggande på kulburet, vridbart laddningsrör i 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 föreslagna åtgärder 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).
- Resursbehov för avhjälpandet (R).

Skalan är relativ: värderingen görs relativt andra deponeringstekniker 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 deponeringstekniker 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.

I denna bilaga redovisas feleffektmatrisen för MLH_{AF-I} .

Tabell 1. Feleffektmatrisen för teknik MLH_{AF-1}, Deponering av ej strålskyddad kapsel "i delar" med guiderör och tre olika fordon. Cardanorörelse vid deponeringshålet.

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
1	Deponeringsfordon Transport av kapsel, bentonitringar och bentonitblock.	Fel av sådan typ som hindrar transporten.	Nej	Normal fordonsteknisk åtgärd.	T=1 S=1 R=1
2	Deponeringsfordon 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	Deponeringsfordon Föra strålskyddet (innehållande kapsel samt bentonitringar och block) i linje med deponeringshålet med hjälp av lavetrörelse.	Rörelsehindrande fel. Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex elfel). Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter).	Nej	Personalen kan agera fritt mht strålning utan restriktioner.	T=1 S=1 R=1
4	Deponeringsfordon Inmatning av kapsel och bentonitringar/block i deponeringshålet m h a laddningsrör.	Rörelsehindrande fel. Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex elfel). Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter). Rörelsehindrade händelser i deponeringshålet. c) Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar, bitar av bentonit eller att det främre blocket faller och blockerar deponeringshålet.	Nej Ja	Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). Med laddningsröret medföljande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning framåt (kraftresurs), • gå i retur, avbryta operation, ta ut laddningsrör.	T=1 S=1 R=1
5	Deponeringsfordon Ompositionering. (För att få laddningsrör nr 2, innehållande mataraggregatet i linje med deponeringshålet.	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

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
6	Deponeringsutrustning Transport i deponeringshålet. Mataraggregat skjuter laddningsröret fram till aktuellt avlämningsställe.	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). Rörelsehindrade händelser i deponeringshålet: c) Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar, bitar av bentonit eller att det främre blocket faller och blockerar deponeringshålet.	Nej ↔ Ja ↔	Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering". Med laddningsröret medföljande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning framåt (kraftresurs) • gå i retur, avbryta operation, ta ut mataraggregat, överlämna deponeringshålet till särskild "uttagshantering".	T=2 S=1 R=3
7	Deponeringsutrustning Vridning av laddningsrör (180 grader) när rätt avlämningsställe har intagits.	Rörelsehindrande fel. Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex elfel). Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter). Rörelsehindrande händelse i deponeringshålet: c) Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar eller bitar av bentonit.	Nej ↔ Ja ↔	Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). Med laddningsröret medföljande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning framåt (kraftresurs) • gå i retur, avbryta operation, ta ut mataraggregat, överlämna deponeringshålet till särskild "uttagshantering".	T=2 S=2 R=3

Nr	Aktivitet	Feltyp	Strålning	Åtgärd	Konsekvens
8	Deponeringsutrustning Återtagning av laddningsrör.	Rörelsehindrande fel. Fel på drivningen, men det redundanta systemet är användbart (ex elfel). Fel på drivning. Det redundanta systemet hjälper ej. Rörelsen är låst (t ex obrukbara mekaniska komponenter). Rörelsehindrande händelse i deponeringshålet: Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar. Yttersta bentonitblock skadas alternativt faller när "skopan" dras ut.	Nej ↔ Ja ↔	Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). Med laddningsröret medföljande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning utåt (kraftresurs) • avbryta operation, ta utmataraggregat, överlämna deponeringshålet till särskild "uttagshantering". Laddningsröret utrustas med mothåll.	T=2 S=3 R=3
9	Bentonitfordon Hantering av de yttersta bentonitblocken (en gång/deponeringshål). Positionering.	Felaktig uppställning: a) Fel på navigeringssystemet, b) Fel på fordonets avkodare.	Nej	Dokumenterad dubbelkontroll av varje deponeringshåls identitet. Sluten styrning (reglering) med redundans för kontroll av de inställda positionsvärden.	T=1 S=2 R=1
10	Bentonitfordon Hantering av de yttersta bentonitblocken (en gång/deponeringshål). lläggning.	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). Rörelsehindrande händelse i deponeringshålet: c) Hinder i deponeringshålet av typ bergkilar, bitar av bentonit eller att det främre blocket faller och blockerar deponeringshålet.	Nej	Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av redundans för drivning antingen framåt eller i retur. Detekteringssystem som ger information till operatören om felets art. Användning av fjärrstyrd utrustning med lyft- och vinschmöjlighet (särskild "uttagshantering"). Med laddningsröret medföljande optiskt system ger visuell information för beslut om: • fortsättning framåt (kraftresurs), • gå i retur, avbryta operation, ta ut laddningsrör.	T=1 S=2 R=2

Sammanfattning för teknik MLH_{AF-1}

Summering av olika TSR-värdens möjliga kombinationer.

Kod	T	S	R	T	S	R	T	S	R	T	S	R	
	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	3
Antal	4			1			1			1			3

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	4	0	4	6	0	5	2	3

Nyckeltal $TSR_A = T3 + S3 + R3 = 3$
 $S = S2 + 2 \times S3 = 6$

Dessa resultat (summeringar och nyckeltal) är användbara vid jämförelsen av olika deponeringstekniker och i en begränsad mening vid jämförelsen av olika deponeringsvarianter inom KBS-3-metoden.