

R-01-31

Projekt JADE

Jämförande kostnadsanalys mellan olika deponeringsmetoder

Lars Ageskog
SWECO VBB VIAK 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

Jämförande kostnadsanalys mellan olika deponeringsmetoder

Lars Ageskog
SWECO VBB VIAK AB

Augusti 2001

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 SKBs Projekt Djupförvar har en studie genomförts med syftet att systematiskt utvärdera olika deponeringsmetoder. Projektet benämns *Jämförelse av deponeringsmetoder (JADE)*. Utvärderingen har omfattat jämförelser avseende teknik, säkerhet och kostnader för alternativa lösningar inom det så kallade KBS-3-konceptet. Föreliggande rapport beskriver utfallet av jämförelsen avseende kostnader.

Tre alternativ har studerats och jämförts: 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.

Kostnadsberäkningarna har utförts enligt metodiken i ”successiv kalkylering” vilket är samma metod som numera används vid de kostnadsberäkningar som SKB årligen inlämnar till myndigheten (PLAN-arbetet). Beräkningsmetoden väger in osäkerheter av olika slag och ger ett statistiskt underlag för att kunna redovisa resultatet i sannolikhets-termer.

Förutom metodiken har även teknik och kostnader till stor del hämtats från PLAN-arbetet och då i första hand ifrån PLAN 97 /3/, dvs den rapport som inlämnades i juni 1997. Därav följer att alla kostnader angivna i föreliggande studie avser prisnivå januari 1997.

Resultatet av beräkningarna framgår av tabellen nedan där kostnaden för KBS-3 H och MLH ställs i relation till referensmetoden KBS-3 V. (Rapporten redovisar även kostnadsjämförelser för olika alternativ inom de tre huvudmetoderna.) Betydelsen av konfidensgraden i tabellen, t ex 50%, är att kostnadsminskningen bedöms med en sannolikhet av 50% bli minst det angivna beloppet. Tabellen upptar värden för tre konfidensgrader: 50%, 70% och 90%.

Differenskostnader relativt KBS-3 V (kSEK per kapsel)

	KBS-3 H ¹⁾	MLH ¹⁾
Konfidensgrad 50%	-145 (19%, 3,9%, 2,4%)	-340 (45%, 9,1%, 5,7%)
Konfidensgrad 70%	-100 (13%, 2,7%, 1,7%)	-250 (33%, 6,7%, 4,2%)
Konfidensgrad 90%	-50 (6,7%, 1,3%, 0,8%)	-150 (20%, 4,0%, 2,5%)

1) Procenttalen inom parentes hänför sig till redovisad differenskostnad relativt följande tre belopp:

- kostnad för de anläggningsdelar som inkluderats i denna studie
- kostnad för djupförvaret i sin helhet
- kostnad totalt för inkapsling och deponering av bränslet

Abstract

Within the SKB Project: *Projekt Djupförvar*, (Deep Repository Project), a study called *Jämförelse av deponeringsmetoder, JADE (Comparison of Deposition Methods)* has been performed with the purpose of systematically evaluating different deposition methods. The study has encompassed the areas of technology, long term performance and safety, and costs. The alternative methods studied are all within the frame of the so-called KBS-3 concept. The present report deals with the comparison regarding costs.

The following deposition methods have been studied and compared: deposition in vertical holes (KBS-3 V), single canister deposition in horizontal holes (KBS-3 H) and serial canister deposition in medium long holes (MLH). KBS-3 V constitutes the reference concept for current development and planning activities within SKB.

The cost calculations have been performed according to a method called “the Successive Principle”. The same method is currently used by SKB in the cost analyses reported to the authorities on a yearly basis (the so-called PLAN analyses). The method covers uncertainties of various kinds and presents data in a statistical manner, providing means for a result interpretation in terms of probabilities.

Beside the methodology, also technical and cost data have been derived from the PLAN works, mostly from the report PLAN 97 /3/, which was forwarded to the authorities in June 1997. Hence, all cost data in the present study refer to price level January 1997.

The findings of the present study are given in the table below where the costs of KBS-3 H and MLH, respectively, are compared with the reference method KBS 3 V. (The report also includes comparisons between alternatives within each one of the three principal methods.) The confidence level, given in the table, should be understood as follows: The confidence level, say 50%, indicates that the cost reduction, with the probability of 50% is estimated to be equal or higher than the amount given in the table. The table includes costs referring to three confidence levels: 50%, 70% and 90%.

Cost differences relative the cost of KBS-3 V (kSEK per canister)

	KBS-3 H ¹⁾	MLH ¹⁾
Confidence level 50%	-145 (19%, 3,9%, 2,4%)	-340 (45%, 9,1%, 5,7%)
Confidence level 70%	-100 (13%, 2,7%, 1,7%)	-250 (33%, 6,7%, 4,2%)
Confidence level 90%	-50 (6,7%, 1,3%, 0,8%)	-150 (20%, 4,0%, 2,5%)

1) Percentages given within brackets refer to the cost in relation to the following sums:

- the overall cost for facilities included in the present study
- the overall cost for the deep repository as a whole
- the overall cost for encapsulation and deposition of the spent fuel

Innehållsförteckning

Förord	3
Sammanfattning	5
Abstract	6
1 Bakgrund	11
2 Studerade alternativ	13
2.1 Alternativa deponeringsmetoder	13
2.2 Underlag för kalkylerna	13
2.3 Kostnadsberäknade alternativ	15
3 Förutsättningar	17
3.1 Allmänt	17
3.2 Fasta förutsättningar	17
3.3 Antal kapslar och resteffekter	18
3.4 Termiska parametrar	18
3.5 Övriga tekniska förutsättningar	19
3.5.1 Lokalisering	19
3.5.2 Layout	20
3.5.3 Återfyllnadsmaterial	20
3.6 Kostnadsdata allmänt	20
4 Kapselavstånd i djupförvaret	21
4.1 Allmänt	21
4.2 Temperaturberäkningar	21
4.3 Valda kapselavstånd	22
5 Kostnadsberäkningar	23
5.1 Kalkylmetod	23
5.2 Uppdelning i kalkylobjekt	24
5.3 Variationer	24
5.4 Kostnadsjämförelse relativt alternativ V2	25
6 Diskussion och slutsatser	27
6.1 Jämförelse mellan de tre huvudmetoderna	27
6.2 Jämförelse mellan alternativen inom KBS-3 V	28
6.3 Jämförelse mellan alternativen inom KBS-3 H	29
6.4 Jämförelse mellan alternativen inom MLH	29
Referenser	31
Bilaga 1 Tekniska data gällande för referensfallen	
Bilaga 2 Enhetspriser	
Bilaga 3 Specifikation av variationer	

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/.

Föreliggande rapport beskriver utfallet av jämförelsen avseende kostnader.

2 Studerade alternativ

2.1 Alternativa deponeringsmetoder

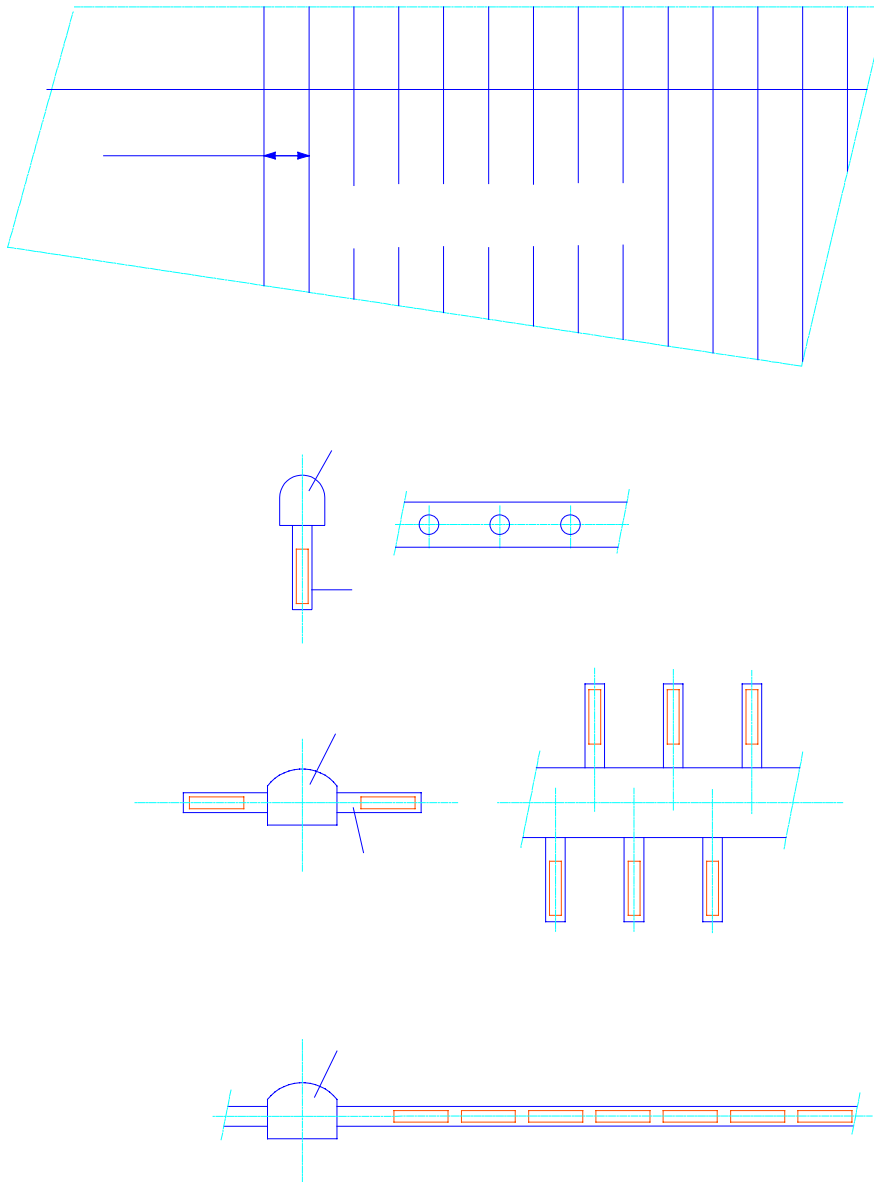
Ingenjörsmässigt bygger KBS-3-metoden på principen av en inneslutning av det använda bränslet i kopparkapslar som placeras djupt ner i berggrunden och där omges av en buffert av bentonit. Utifrån tunnlar på förvarsnivån borrar hål i vilka kapsel och bentonitbuffert placeras. Olika metoder för hur detta arrangeras är tänkbara. Till exempel kan hålen borrar vertikalt från tunnelgolvet eller horisontellt in i tunnelväggen. Likaså kan antalet kapslar i ett hål variera från en enstaka kapsel till ett stort antal. I det senare fallet får hålet ett motsvarande större djup.

Som beskrivits i inledningen har tre varianter av KBS-3-metoden studerats: KBS-3 V, KBS-3 H och MLH. De tre principerna åskådliggörs i figur 2-1 nedan.

Alla tre metoderna bygger på att deponeringsområdet genomkorsas av ett antal transporttunnlar och att man utifrån dessa, i princip vinkelrätt mot huvudriktningen, driver de deponeringstunnlar eller, i fallet MLH, de långa deponeringshål som behövs. I praktiken kommer transporttunnlarna och de förvarsareor som kommer att användas för deponering att vara anpassade till de sammanhängande bergplintar som står till förfogande. I föreliggande kostnadsberäkningar har dock tillämpats en schematisk layout med en standardiserad längd av deponeringstunnlar respektive medellånga hål av ca 250 m dvs samma princip som i PLAN 97 /3/ som hänvisas till nedan.

2.2 Underlag för kalkylerna

Kostnadsberäkningar av djupförvaret liksom avfallshanteringssystemet i övrigt sker regelmässigt inom SKB för den redovisning som ska inlämnas årligen till myndigheterna (det s k PLAN-arbetet). Det tekniska underlaget, metodiken för kostnadsberäkningarna samt priser har i föreliggande studie i stor utsträckning hämtats från underlaget till PLAN 97 /3/, den rapport som inlämnades i juni 1997. Den tekniska utformningen har även hämtats från olika delrapporter ingående i projektet JADE. De senare avser i första hand studier av den maskinella utrustningen och de krav som därvid ställts på tunnelareor etc.



Figur 2-1 Principskiss över de tre studerade deponeringsmetoderna

Avståndet mellan kapslarna i djupförvaret bestäms bland annat av temperaturvillkor och analyseras normalt genom FEM-modellering. Där så varit tillämpligt har i föreliggande studie beräkningar utförda för SKBs räkning i andra sammanhang utnyttjats.

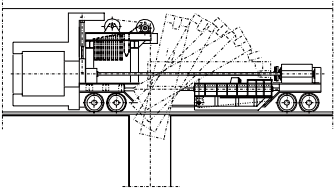
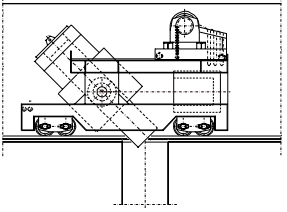
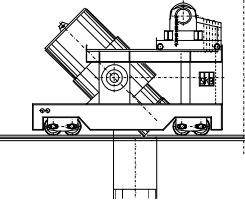
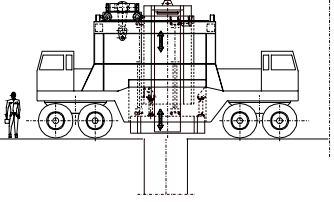
Kompletterande beräkningar har dock gjorts inom projektets ram för de fall som tidigare inte analyserats. Det senare gäller grundkonfigurationerna (avstånd mellan deponeringstunnlar och deponeringshål) för KBS-3 H och MLH.

Enhetspriser har i huvudsak hämtats från underlaget till PLAN 97 /3/. Inom projektet har dock en särskild studie gjorts avseende kostnader för borrhning av de långa deponeringshål som ingår i MLH-metoden.

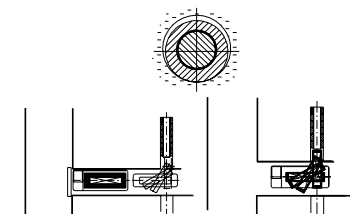
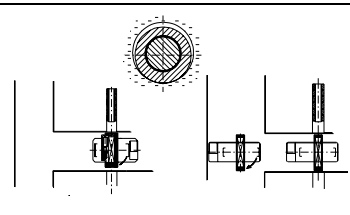
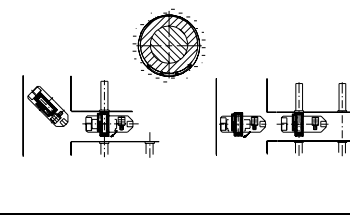
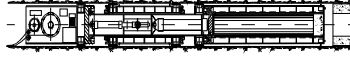
2.3 Kostnadsberäknade alternativ

För var och en av de tre huvudmetoderna har två eller flera alternativ kostnadsberäknats. Alternativen avser val av deponeringsutrustning eller andra principiella skillnader som påverkar kostnadsbilden, främst tunnelvolymen. Totalt har tio alternativ kostnadsberäknats, sammanställda i tabell 2-1 nedan. Där åtskillnad behöver göras mellan de tio alternativen används fortsättningsvis i rapporten de beteckningar som framgår av kolumn två i tabellen (V1, V2, etc).

Tabell 2-1 Kostnadsberäknade deponeringsalternativ

Metod	Alt.	Beskrivning	Tunneldimension, referensfallet ¹⁾ b × h (m) Över: dep.tunnel Under: transp.t	Principskiss
KBS-3 V	V1	Spårgående deponeringsmaskin. Nedsänkning av kapsel utan kapselnära strålskärning.	4,0 × 4,5 7,0 × 6,3	
	V2	Spårgående deponeringsmaskin. Kapselnära strålskärning där strålskärningen är delbar.	4,2 × 5,0 7,0 × 6,8	
	V3	Deponering av paket med kapsel och bentonit. Spårgående deponeringsmaskin. Kapselnära strålskärning där strålskärningen är delbar.	4,7 × 6,2 7,0 × 8,0	
	V4	Deponeringstruck med stående strålskärmad kapsel.	4,5 × 6,1 7,0 × 7,9	

Tabell 2-1 forts.

Metod	Alt.	Beskrivning	Tunneldimension, referensfallet ¹⁾ b × h (m) Över: dep.tunnel Under: transp.t	Principskiss
KBS-3 H	H1	Spårgående deponeringsmaskin. Inskjutning av kapsel utan kapselnära strålskärning.	4,0 × 4,5 7,0 × 6,3	
	H2	Spårgående deponeringsmaskin. Inskjutning av kapsel med kapselnära strålskärning.	6,2 × 5,0 7,0 × 6,8	
	H3	Deponeringstruck. Inskjutning av kapsel med kapselnära strålskärning.	6,5 × 5,0 7,0 × 6,8	D:o
	H4	Deponering av paket med kapsel och bentonit. Spårgående deponeringsmaskin. Inskjutning av kapsel med kapselnära strålskärning.	6,6 × 5,5 7,0 × 7,3	
MLH	M1	Deponering av kapsel och bentonit i paket. Normalt tillägg för outnyttjade hålpartier.	---- 8,0 × 6,0	
	M2	D:o högt tillägg för outnyttjade hålpartier.	---- 8,0 × 6,0	D:o

- 1) Kostnadsberäkningarna baseras på att parametrarna utgörs av stokastiska variabler med valda sannolikhetsfördelningar. Referensfallet avser de värden som anses ha den största sannolikheten för inträffande (det troliga värdet).

3 Förutsättningar

3.1 Allmänt

Kostnadsberäkningarna har baserats på ett valt scenario avseende avfallsmängder och resteffekter, tidsplan, lokalisering samt teknisk utformning inklusive kapseltyp. Vissa av dessa förutsättningar hanteras i beräkningarna som stokastiska variabler dvs varje variabel definieras utifrån ett referensfall (troligt värde) med en vald sannolikhetsfördelning avseende spridningen kring detta referensvärdet. Som framgår av metodbeskrivningen längre fram i rapporten är utfallet hos flertalet av variablerna kopplade mellan de olika deponeringsalternativen innebärande att exempelvis en positiv utveckling av en kostnadsfaktor slår igenom samtidigt för alla de alternativ där en koppling föreligger.

Vissa förutsättningar varierar inte. Dessa benämns fasta förutsättningar. Fördelningen mellan fasta respektive variabla förutsättningar har baserats på givna projektförutsättningar och på en bedömning av vad som kan vara relevant i den meningen att de ger signifikanta bidrag till kostnadsjämförelsen.

Tekniska data för referensfallet för respektive alternativ är sammanställt i bilaga 1. De variabla förutsättningarna med fördelningsfunktioner definierade som trepunktskattningar är sammanställda i bilaga 3. Det ska särskilt framhållas att de max- och minvärden som man använder sig av i den successiva kalkylen ska ha mycket låg sannolikhet för inträffande. Värdena Låg och Hög såsom de redovisas i bilaga 3 utgör inte de mest extrema värdena utan enbart två av de tre punkter som krävs för att definiera en sannolikhetsfördelning.

3.2 Fasta förutsättningar

I PLAN 97 /3/ föreligger ett stort antal fasta förutsättningar av såväl teknisk som ekonomisk/socialpolitisk natur. Med hänsyn till att vi i denna studie har begränsat omfattningen till de delar som är relevanta för jämförelse av deponeringsmetoden, dvs till aktiviteter som tilldrar sig på djupförvarsnivån, kommer endast ett fåtal av dessa fasta förutsättningar att vara av intresse. Dessa är följande:

- Avfallshanteringssystemet baseras på KBS-3 metoden. Hit räknas även horisontell placering av kapslarna i långa hål då principer och huvudmått avseende håldiameter, buffert etc är desamma som för enstaka kapslar per hål.
- Kapseltyp och kapseldimensioner enligt referensfallet i PLAN 97 /3/.
- Kostnader för tunneldrivning beräknas efter metoden borrhning/sprängning. Gäller även deponeringstunnlar.
- Layoutmässigt antas av byggtekniska och andra skäl det minsta avståndet mellan två närliggande kapslar vara 6,0 m (centrumavstånd) mätt utefter tunnelgolvet (KBS-3 V) eller utefter en och samma tunnelvägg (KBS-3 H).

3.3 Antal kapslar och resteffekter

I PLAN 97 /3/ är kapselantalet beräknat för två alternativ rörande drifttiden för reaktorerna: 25 år respektive 40 år. För denna studie har som referensfall valts en drifttid som ungefär ger bränslemängder motsvarande medelvärdet av alternativen i PLAN 97 /3/. Antalet kapslar har därvid satts till 3 800 st. Kapselantalet har dock i beräkningarna utgjort en variabel i enlighet med bilaga 3, Variation 1.

Inkapslings- och deponeringstakten har förutsatts vara i stort densamma som i PLAN 97 /3/ dvs 200 kapslar per år i snitt. Detta ger ungefär en kapseffekt vid deponeringstillfället av 100 W per m² kapselyta (1770 W totalt per kapsel). Kapseffekten varierar dock enligt bilaga 3, Variation 2.

3.4 Termiska parametrar

Relevanta termiska parametrar utgörs av temperaturer, värmeledningstal och specifikt värme för de olika ingående materialen: kapsel, bentonit, berg samt återfyllnadsmaterial i tunnlar. Variationsanalyser av dessa parametrar har utförts i olika sammanhang inom ramen för SKBs utvecklingsarbete och en relativt god uppfattning av betydelsen av dessa föreligger. I denna studie har det därför ansetts acceptabelt att sammanlagra verkan av olika variationer av de termiska parametrarna. Den totala verkan får för enkelhetens skull representeras av varierande gränstemperatur på kapselytan enligt bilaga 3, Variation 5.

Inkluderat i denna sammanlagring av olika termiska parametrar ryms även den initiala bergtemperaturen. Detta dock under förutsättning av en given geografisk plats för djupförvaret. Vid variation av lokalisering kommer även den initiala bergtemperaturen att påverkas. Denna påverkan behandlas dock explicit enligt bilaga 3, Variation 3.

Tabell 3-1 nedan ger en sammanställning av de termiska parametrar som ingår i referensfallet.

Tabell 3-1 Sammanställning av parametrar av betydelse för temperaturberäkningarna

	Referens	Konfidensgrad 95% ¹⁾
Kapsel		
längd, mm	4 830	Varieras ej
diameter, mm	1 050	Varieras ej
effekt, W	100 W/m ²	109,5 W/m ² ²⁾
effektavklingning	enl. SKB TR 91-61	Varieras ej
densitet, kg/m ³	7 200	Varieras ej
värmeledningstal, W/m,K	390	Varieras ej
värmekapacitivet, MJ/m ³ ,K	2,40	Varieras ej
Komp bentonit, höggradigt vattenmättad		
densitet, kg/m ³	2 000	Varieras ej
värmeledningstal år 1, W/m,K	1,05	0,95
värmeledningstal år 15, W/m,K	1,15	1,05
värmekapacitivet, MJ/m ³ ,K	2,20	Varieras ej
Berg		
deponeringsdjup, m	500	Se lokalisering nedan
initialtemperatur, °C	10	12,5
temperaturgradient, °C/km	13	Varieras ej
densitet, kg/m ³	2 700	Varieras ej
värmeledningstal, W/m,K	3,20	2,54
värmekapacitivet, MJ/m ³ ,K	2,10	Varieras ej
Återfyllning		
densitet, kg/m ³	1 700	Varieras ej
värmeledningstal, W/m,K	1,00	Varieras ej
värmekapacitivet, MJ/m ³ ,K	1,75	Varieras ej

1) Med konfidensgraden 95% menas att 95% av utfallet i enlighet med vald fördelningsfunktion faller under eller över det i tabellen angivna värdet (beroende på vad som ger det förmånligaste utfallet). Just konfidensgraden 95% är gränsen för variationer som beaktas (vägs in) i den marginal till kapselytans gränstemperatur som alltid innehålls och ingår således i referensfallet. Variationer utöver detta värde liksom andra typer av variationer beaktas i den successiva kalkylen, se bilaga 3.

2) Effektvariationer avser enstaka kapslar och hänger samman med svårigheten att exakt sätta samman bränsleelementen i kapseln så att riktvärdet för kapsleffekten uppnås.

3.5 Övriga tekniska förutsättningar

3.5.1 Lokalisering

Lokaliseringens betydelse för kostnadsjämförelsen är relaterad till den initiala bergtemperatur som föreligger på platsen. Detta innebär att till lokaliseringen kan i princip även räknas förvarsdjupet då temperaturen ökar med ökande djup. I referensfallet har antagits en lokalisering med en initial bergtemperatur av 10°C på förvarsnivån. Variationerna avser lokaliseringar med såväl betydligt lägre som högre initiala bergtemperaturer, se bilaga 3, Variation 3.

3.5.2 Layout

Tillämpade förutsättningar avseende layouten framgår av bilaga 1, tekniska data för referensfallet, samt bilaga 3, variationer.

Kostnadsberäkningarna har syftat till att ge enbart differenskostnader mellan olika alternativ varför de delar av djupförvaret som kan anses lika för samtliga alternativ ej har beaktats. Dit hör centrala transporttunnlar inklusive eventuell ramp, samtliga schakt samt centralområdets allmänna delar. I den mån en speciell hanteringslinje för ”paketering” av kapsel/bentonit krävs har enbart denna tillkommande utbyggnad av centralområdet inkluderats.

Transporttunnlar inom deponeringsområdet har beaktats eftersom längden av dessa beror på avståndet mellan deponeringstunnlarna, eller i fallet MLH, de långa deponeringshålen. Dessutom har schablonmässigt inkluderats övriga transporttunnlar till en längd av 2 km vilket avses täcka transportavståndet från centralområdet till deponeringsområdet. Dessa tunnlar har tagits med då det har ansetts troligt att tunneltvärsnittet även i tunnlar utanför det egentliga deponeringsområdet påverkas av deponeringsfordonens utrymmeskrav i transportläge. Tunnelsektionerna framgår av bilaga 1.

3.5.3 Återfyllnadsmaterial

Typ av återfyllnadsmaterial i tunnlar samt variationen av detta är samma som i PLAN 97 /3/ och framgår av bilaga 3, Variation 9. I referensalternativet utgörs återfyllnadsmaterialet av en blandning av bergkross och bentonit i viktproportionen 85/15. Variationer inkluderar bland annat dels bentonitfritt återfyllnadsmaterial, dels att bergkrossen ersätts av kvartssand. Även bentonithalten varierar.

3.6 Kostnadsdata allmänt

Kostnadsdata dvs enhetspriser och marginalkostnader har i huvudsak hämtats från underlaget till PLAN 97 /3/. Detta innebär att prisnivå januari 1997 har tillämpats. Använda enhetspriser framgår av bilaga 2.

Kostnadsanalysen har utförts för odiskonterade värden (kalkylränta 0%). Med hänsyn till att den helt dominerande andelen av de kostnader som ingår i jämförelsen infaller efter hand som deponeringen framskrider kan nuvärdesberäkningar för olika kalkylräntor göras schablonmässigt med tillräckligt hög noggrannhet. Detta har utförts för 2,5% respektive 4,0% och redovisas som skaleffekter med utfallet i PLAN 97 /3/ som underlag för faktoriseringen.

De stora inledande investeringarna i djupförvaret liksom den avslutande avvecklingen har, som nämnts ovan, ej inkluderats i jämförelsen då dessa kostnader inte är signifikant metodskiljande. I detta sammanhang bör framhållas att kostnaderna i denna rapport för hantering av berg- och återfyllnadsmassor inkluderar transport och omhändertagande även på marknivån. Likaså innefattar kostnaden för kompakterad bentonit även den rörliga kostnadsandelen av tillverkningen vilken sker ovan mark.

4 Kapselavstånd i djupförvaret

4.1 Allmänt

Avståndet mellan kapslarna i djupförvaret styrs av temperaturutvecklingen kring kapseln efter deponering och den maximala temperatur som kan tillåtas i buffert eller på kapselytan. Hur detta förhållande påverkar bland annat kapselstorlek och förvarslayout studeras kontinuerligt inom SKB allteftersom systemutvecklingen framskrider. Denna studie baseras på den kapselstorlek och förvarslayout som tillämpats för PLAN 97 /3/.

I föreliggande studie har den ovan nämnda analysen kompletterats med motsvarande beräkningar för metoderna KBS-3 H och MLH.

4.2 Temperaturberäkningar

Värmeutbredningen i djupförvaret och den maximala temperaturen på kapselytan för givna geometrier och materialegenskaper har beräknats med det generella finita-element-programmet ANSYS, version 5.3.

En tredimensionell modell av djupförvaret har beräknats i FEM-analysen. Härvid har möjligheterna att definiera symmetriplan utnyttjats så att endast en ¼-dels kapsel har behövts modelleras. Symmetriantagandena har bedömts vara konservativa på grund av att alla kapslar därmed ges samma ålder samt att värmetransporten axiellt deponeringstunneln försummas. Beräkningarna har avsett det minsta tillåtna kapselavståndet. I praktiken kan kapselavståndet på vissa ställen bli större vid passage av tunnelpartier med ogynnsam sprickfördelning eller vattenföring (i kostnadsberäkningarna görs tillägg för detta, se bilaga 1). Detta utnyttjas dock inte i SKBs kostnadsberäkningar vare sig för att öka effekten hos enstaka kapslar eller höja medelvärdet räknat över samtliga kapslar. Anledningen är att temperaturmaximum bestäms av interferensen mellan närliggande kapslar där inverkan av kapselfördelningen i stort över förvaret saknar betydelse.

Modellen begränsas uppåt av markytan 500 meter ovanför deponeringstunnelns botten. Där har marktemperaturen fixerats till ett värde som bestäms av initialvärdena på bergtemperaturen vid förvarets nivå och den vertikala temperaturgradienten. Nedåt sträcker sig modellen 1 500 meter under marknivån, vilket är tillräckligt djupt för att randvillkoret där ska sakna betydelse för utfallet av beräkningarna. På denna rand har temperaturen fixerats på samma sätt som vid markytan.

Modellen har gjorts relativt detaljerad nära kapseln där också elementtätheten är hög. Urtaget för lyftdon på kapselns lock är modellerat liksom de tunna spalter som kan uppträda mellan kapsel och bentonit samt mellan bentonit och berg. Dessa utrymmen kan i senare studier sättas med ett annat material, till exempel luft eller vatten, men har i denna utredning konsekvent antagits homogent fyllda med bentonit.

Bentoniten har delats in i tre koncentriska volymer. Detta har gjorts som en förberedelse för framtida studier, där bentonitens egenskaper kan differentieras beroende på till

exempel olika grader av vattenmättnad. I den aktuella studien har dock all bentonit tilldelats samma, men tidsberoende, fysikaliska egenskaper.

Resteffekten har ansatts som en jämnt utbredd tidsberoende effekt per volymenhet i kapseln, varefter kapselns uppvärmning har beräknats i en transient analys som avbrutits när maximal temperatur uppnåtts på kapselytan.

4.3 Valda kapselavstånd

Avståndet mellan kapslarna definieras av kapselavståndet i deponeringstunneln (deponeringshålet för MLH) och avståndet mellan deponeringstunnlarna (deponeringshålen i MLH). Dessa två parametrar kan för en given temperaturstegring väljas så att ett kostnadsminimum uppkommer. I denna studie har en sådan optimering gjorts, dock med vissa begränsningar. Dels har kapselavståndet 6,0 m i deponeringstunnlarna (c/c mätt från kapslarnas centrumlinjer) som nämnts ovan ansetts vara en lägre gräns av utbyggnads- och hanteringsskäl. Dels har tunnelavståndet getts en övre gräns med hänsyn till att konsekvenserna på förvarets utbredning inte ska bli orimliga eftersom tillgängliga deponeringsareor begränsas av villkoret 100 m respektavstånd till avskärande större sprickzoner. Maximalt tunnelavstånd har därför satts till 40 m för KBS-3 V och 60 m för KBS-3 H. Maximalt avstånd mellan deponeringshålen i MLH har satts till 60 m.

Valda kapsel- och tunnelavstånd för referensfallet framgår nedan och av bilaga 1. Vid variationer som påverkar temperaturförloppet kommer även kapselavstånden att ändras, se bilaga 3, Variationer 1, 2, 3, 5 och 6.

KBS-3 V	kapselavstånd c/c 6,3 m	tunnelavstånd c/c 40 m
KBS-3 H	kapselavstånd c/c 7,1 m	tunnelavstånd c/c 60 m
MLH	kapselmellanrum 1,2 m	avstånd mellan deponeringshål c/c 40 m

5 Kostnadsberäkningar

5.1 Kalkylmetod

Nedan sammanfattas den av SKB tillämpade beräkningsmetodiken enligt principen för ”successiv kalkylering”. En detaljerad beskrivning ges i PLAN 97 /3/.

Benämningen "successiv kalkylering" hänför sig till att beräkningen ger som resultat relativa värden på ingående osäkerheter. De större osäkerheterna kan urskiljas och studeras närmare varefter processen upprepas. Successivt kommer därvid kalkylen att konvergera mot ett resultat med allt lägre grad av osäkerhet. Metoden är framtagen som ett verktyg vid kalkyler i tidiga skeden av projekt där fortfarande väsentliga osäkerheter råder angående projektets innehåll och omgivningsfaktorer.

Den successiva principen, så som SKB tillämpar den för avfallshanteringssystemet i sin helhet, bygger på en systematisk uppdelning av projektet i lämpliga poster åtföljt av en värdering av osäkerheter för varje enskild post. Posterna kan härvid bestå av anläggningsdelar eller vara händelser som påverkar kostnaderna i väsentlig grad. Vid värderingen åsätts respektive kostnadspost tre belopp, min-trolig-max. Centralt i metoden är att denna sk trepunktskattning görs i en arbetsgrupp där den subjektiva uppfattningen om vad som ska anses som extrema värden får råda (baserat på deltagarnas egna erfarenheter och referensramar). Utifrån dessa värden kan frekvensfunktioner väljas och ställas upp vilka beskriver sannolikheten för olika kostnadsutfall. De variabler som sålunda erhålls (stokastiska variabler) aktiveras därefter i en sk montecarlo-simulering. Simuleringen innebär att kostnadsberäkningen genomförs ett stort antal gånger (i vårt fall 2 000 gånger) och utfallen, som delvis styrs av en slumpgenerator, summeras och bearbetas enligt vedertagna statistiska regler.

I föreliggande studie är endast differenskostnader mellan olika alternativ intressanta. Dessa kostnader är generellt små relativt den totala kalkylen och för att inte noggrannheten ska äventyras genom blandning av stora och små tal tas differenskostnaden ut vid varje cykel (av 2 000) i montecarlo-simuleringen. Dvs den statistiska bearbetningen sker på differenskostnadsnivå, inte på totalkostnadsnivå. Metoden förutsätter dock att ett av alternativen får utgöra referens dvs ges kostnaden noll.

En total bild av kostnadsdifferenser (där ett valfritt alternativ kan ställas mot övriga) kan erhållas genom att bearbeta resultatet 10 gånger där referensen skiftas mellan alternativen. I föreliggande studie har dock det fullständiga resultatet endast redovisats med alternativ V2 som referens.

Till skillnad från beräkningarna i PLAN-arbetet som sker utifrån ett basscenario dvs en enda kalkyl, har i denna studie i princip tio kalkyler genomförts och resultatet jämförts. För att få en korrekt jämförelsekostnad vid ett sådant förfarande måste slumpalen som används i montecarlo-simuleringen kopplas mellan de tio kalkylerna i de fall där variationerna är gemensamma. Ett exempel på en sådan kopplad variation kan vara kostnaden för återfyllnad. Om denna genom utfallet av slumpalet (observera ett fall av 2 000) styrs mot en högre kostnad genom dyrare material etc så måste detta inträffa samtidigt för alla tio alternativen. En sådan koppling av slumpalen mellan alternativen

har i beräkningarna varit det normala fallet. Endast ett undantag finns, Variation 7, där kopplingen sker inom respektive metod enbart (V, H, MLH).

5.2 Uppdelning i kalkylobjekt

I enlighet med principen för ”successiv kalkylering” har anläggningen delats upp i ett antal sk kalkylobjekt. Uppdelningen har gjorts bland annat med syftet att särskilja delar som kan förutses ha olika kostnadsprofiler och som i stort är oberoende av varandra. Numreringen nedan ansluter till bilaga 3 där objekten listats med en mer utförlig beskrivning.

Följande kalkylobjekt har valts:

- 1) Deponeringshål, borrning (även medellånga hål)
- 2) Deponeringshål, kompletterande arbeten
- 3) Deponeringstunnlar, tunneldrivning
- 4) Deponeringstunnlar, återfyllning
- 5) Deponeringstunnlar, byggnadsarbeten
- 6) Transporttunnlar, allt arbete
- 7) Omlastningsstation, allt arbete
- 8) Maskinutrustning, utveckling
- 9) Maskinutrustning, investering och underhåll
- 10) Drift (personal och förbrukningsmaterial exkl bentonit)
- 11) Kompakterad bentonit (exklusive placering i hål som ingår i 10. Drift)

Den ”objektspecifika” kostnaden för varje objekt, dvs kostnaden utan inverkan av explicit uttryckta variationer (enligt nästa avsnitt), har även den uttryckts som en stokastisk variabel där frekvensfunktionen definierats genom en trepunktskattning. Kostnadsutfallet för ett objekt varierar således med varje cykel i montecarlo-simuleringen. Trepunktskattningen redovisas i bilaga 3.

5.3 Variationer

De generella variationerna är sådana som påverkar flera objekt. De kan vara konsekvenser av yttre händelser (miljö, politik, finansiering etc) eller projektinterna (teknisk utformning, tidsplan, projektledning etc). Följande variationer har beaktats:

Variation 1 Antal kapslar och deponeringstakt

Variation 2 Kapseleffekt som en följd av förändrad tidsplan

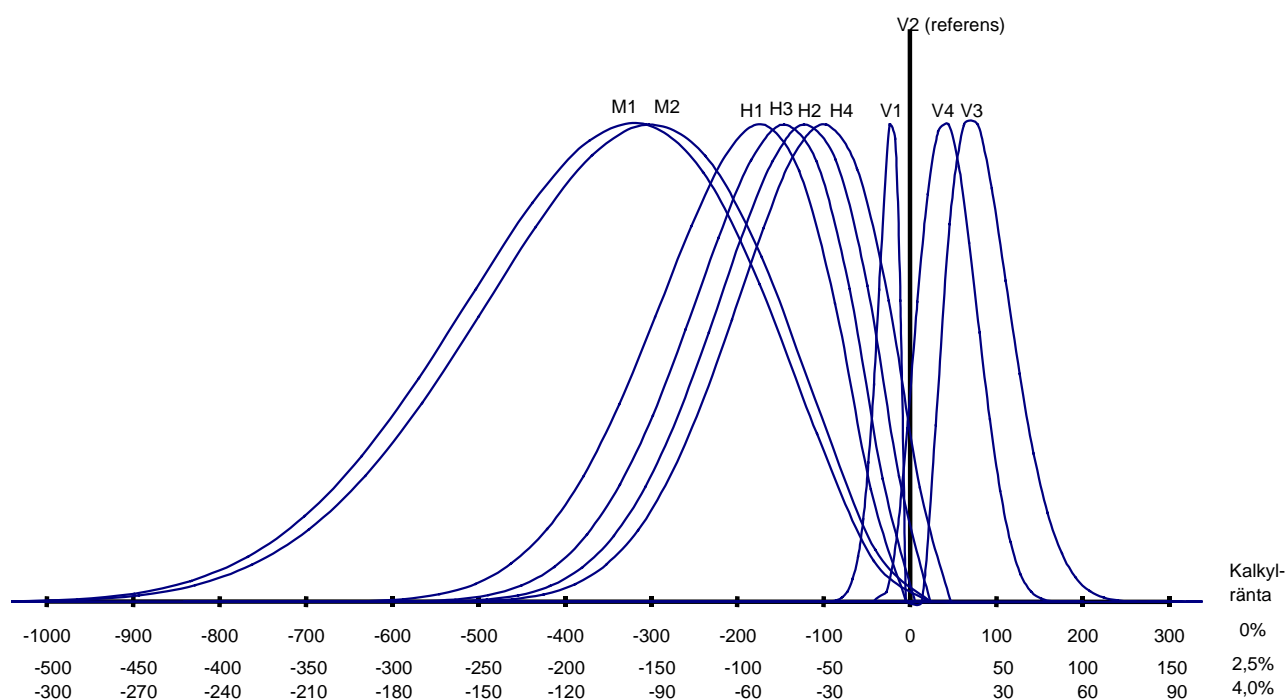
- Variation 3 Lokalisering av djupförvaret
- Variation 4 Positionering av kapslarna med hänsyn till outnyttjad bergvolym
- Variation 5 Termiska parametrar för bentonit och berg
- Variation 6 Tillåten temperatur på kapselytan
- Variation 7 Tunneltvärsnitt för deponeringstunnlar
- Variation 8 Överlängd för deponeringstunnlar och medellånga hål
- Variation 9 Typ av återfyllnadsmaterial
- Variation 10 Pris på bentonit
- Variation 11 Kalkylosäkerhet allmänt (realism i kalkylen, myndighetspåverkan, sabotage, konjunktur etc)

En detaljerad beskrivning av respektive variation framgår av bilaga 3.

5.4 Kostnadsjämförelse relativt alternativ V2

Resultatet av analysen framgår av diagrammet i figur 5-1 nedan. Diagrammet visar för varje annat alternativ kostnadsdifferensen till alternativ V2 uttryckt som en frekvensfunktion. Kostnaden är angiven som differenskostnad per kapsel. Då V2 (alternativet med helt omgivande strålskydd även i deponeringstunneln) utgör referens så är följaktligen kostnaden för V2 redovisad som konstant och lika med noll ($x=0$ i diagrammet).

Det ska framhållas att diagrammet inte i första hand är avsett att ge exakta kostnadsdata utan mera att visualisera tendens och storleksordning och på så sätt ge ett kvalitativt snarare än kvantitativt underlag för värdering av kostnadsdelen i den totala jämförelsen mellan alternativen.



Figur 5-1 Frekvenskurvor för kostnadsutfallet, kSEK per kapsel, för olika deponeringsalternativ relativt alternativ V2 (kostnad V2=0)
(Frekvenskurvorna har varierande höjdskala för att ge ökad läsbarhet åt diagrammet)

Diagrammet uppvisar tre olika skalor för x-axeln vilka representerar olika värden på kalkylräntan vid diskontering. Värdena för 2,5% och 4,0% är avrundade för att öka läsbarheten i diagrammet. Följande två exempel visar hur ovanstående diagram ska utläsas.

Ex. 1 Frekvenskurvan för M1 ligger i stort till sin helhet till vänster om referensvärdet för V2 (0 på x-axeln). Således har den genomförda analysen med valda variationer visat att kostnaden för M1 blir lägre än för V2 med konfidensgraden i det närmaste 100%. Det troliga värdet, dvs det värde som har störst sannolikhet att inträffa om projektet skulle genomföras en enstaka gång, är ca kSEK -320 per kapsel vid kalkylräntan 0% (troliga värdet utfaller vid kurvans maxpunkt). Med konfidensgraden 70% torde differenskostnaden bli ca kSEK -250.

Kostnadsdifferensen går asymptotiskt mot ett värde av kSEK -1 000 per kapsel, dock med en allt lägre grad av sannolikhet. Ett sådant fall inträffar när alternativ V2 i en simuleringscykel når ett extremt högkostnadsvärde samtidigt som alternativ M1 når motsatsen dvs ett extremt lågkostnadsvärde.

Ex. 2. Alternativ H4 kan under vissa omständigheter bli dyrare än V2. Konfidensgraden för att så inte blir fallet är ca 90% dvs med 90% sannolikhet blir alternativ H4 billigare än alternativ V2.

6 Diskussion och slutsatser

6.1 Jämförelse mellan de tre huvudmetoderna

Generellt får det anses vanskligt att göra förutsägelser om kostnadsskillnader mellan tekniskt avancerade lösningar i ett så tidigt utvecklingskede som det här är fråga om. Speciellt gäller detta när skillnaderna bedöms vara av en storleksordning som ligger i paritet med effekterna av inte helt osannolika felbedömningar av enskilda tekniska detaljer eller av driftförhållanden. Den studie som har gjorts här har dock innefattat en metodik som i viss utsträckning tagit hänsyn till dessa osäkerheter och som har gett ett resultat som uttrycker de sökta differenserna i sannolikhetstermer. Härvid erhålls ett kostnadsunderlag som återspeglar den potential som kan finnas i en lösning, relativt en annan, kopplat till en viss sannolikhet för utfall. Detta ger i princip underlag för ett investeringsbeslut baserat på ett relativt normalt affärsmässigt risktagande. (Den tekniska och framförallt den säkerhetsmässiga jämförelsen ger annan typ av värderingsgrund).

Det är viktigt att påpeka att en av grundförutsättningarna för kostnadsjämförelsen har varit att de analyserade deponeringsmetoderna samtliga är genomförbara och då i princip enligt de lösningarna som skisserats i projektet. Det faktum att de befinner sig i olika utvecklingskedan kan härvidlag medföra särskilda osäkerheter. Exempelvis kan en av metoderna vissa sig ogenomförbar. Den kostnadsmissiga risk som ligger i detta har inte inkluderats bland de osäkerheter som ingått i analysen. En sådan bedömning förutsätts ske i den tekniska eller säkerhetsmässiga jämförelsen.

Skillnaden i utvecklingsnivå för de olika alternativen återspeglas i viss mån i de intervall som valts för olika variationer. Sålunda finns en mer uttalad risk för fördyringar i t ex MLH jämfört med KBS-3 V. Skillnader i utvecklingskostnader har med undantag för maskinutrustningen inte tagits med explicit i jämförelsen utan värderas i den slutliga, sammanfattande jämförelsen av metoderna /2/, tillsammans med andra kostnadseffekter förknippade med ett eventuellt skifte av SKBs referenskoncept (programarbete, myndighetskontakter, information etc).

Det primära syftet med studien har varit att ta fram kostnadsdifferenser för KBS-3 H och MLH relativt KBS-3 V. Alternativen V2, H2 och M1 väljs härvid som bas för jämförelsen eftersom de kan anses representera de i dagsläget mest sannolika teknikerna inom respektive metod. I nedanstående tabell ges för alternativen H2 och M1 utfallet med värden som med 50%, 70% respektive 90% konfidensgrad ger kostnadsdifferensen till V2. Betydelsen av konfidensgraden i tabellen, exempelvis 50%, är att kostnadsminskningen bedöms med en sannolikhet av 50% bli minst det angivna beloppet. I tabellen anges även som information den andel som differenskostnaden utgör av följande tre totalbelopp för anläggningar eller kombinationer av anläggningar:

- de anläggningsdelar som ingår i beräkningarna i denna studie
- samtliga anläggningar för djupförvaret (exklusive väg, järnväg och hamn)
- samtliga system för inkapsling och djupförvaring

Beloppen är angivna för kalkylränta 0%. Vid positivt värde på kalkylräntan blir differenserna mindre (jämför figur 5-1). Den procentuella jämförelsen påverkas dock i princip ej av varierande kalkylränta.

**Tabell 6-1 Differenskostnader relativt KBS-3 V (V2)
(kSEK per kapsel)**

	KBS-3 H (H2) ¹⁾	MLH (M1) ¹⁾
Konfidensgrad 50%	-145 (19%, 3,9%, 2,4%)	-340 (45%, 9,1%, 5,7%)
Konfidensgrad 70%	-100 (13%, 2,7%, 1,7%)	-250 (33%, 6,7%, 4,2%)
Konfidensgrad 90%	-50 (6,7%, 1,3%, 0,8%)	-150 (20%, 4,0%, 2,5%)

- 1) Procenttalen inom parentes hänför sig till redovisad differenskostnad relativt följande tre belopp:
- kostnad för de anläggningsdelar som inkluderats i denna studie (kSEK 750 per kapsel)
 - kostnad för djupförvaret i sin helhet (kSEK 3 750 per kapsel)
 - kostnad totalt för inkapsling och deponering av bränslet (kSEK 5 950 per kapsel)

Den kostnadsskillnad som framgår av tabellen kan inte entydigt delas upp och hänföras till olika delar av systemet eftersom den dels är resultatet av såväl minskningar som ökningarna vid jämförelsen av de olika ingående objekten, dels resultatet av en mängd variationer som överlagrats objektkostnaderna. Klart är dock att den helt dominerande faktorn för KBS-3 H är deponeringstunnlarnas totala längd och inredning. För MLH är det naturligtvis frånvaron av deponeringstunnlar, själva syftet med metoden, som har störst betydelse för kostnadsskillnaden.

Sekundärt har syftet med studien även varit att göra kostnadsjämförelser inom var och en av de tre metoderna, dvs KBS-3 V fyra alternativ (V1-V4), KBS-3 H också fyra alternativ (H1-H4) samt MLH två alternativ (M1, M2). I följande avsnitt redovisas resultatet av dessa jämförelser.

6.2 Jämförelse mellan alternativen inom KBS-3 V

På motsvarande sätt som för huvudmetoderna ovan har en jämförelse av de fyra alternativen inom metod KBS-3 V gjorts. Kostnadsjämförelsen har gjorts med alternativ V2 som referens. I tabell 6-2 anges approximativa värden vilka i princip även återspeglas av diagrammet i figur 5-1. Värdena i tabellen är avrundade till jämna 5 000 kronor per kapsel.

Betydelsen av konfidensgraden (50%, 70% respektive 90%) är för det fall att beloppet är negativt (kostnadsminskning) att kostnadsminskningen blir med en sannolikhet lika den angivna konfidensgraden minst det i tabellen redovisade beloppet. I det fall att beloppet är positivt (kostnadsökning) är betydelsen att kostnadsökningen blir med en sannolikhet lika den angivna konfidensgraden högst det redovisade beloppet.

Se avsnitt 2.3 för en närmare beskrivning av alternativen.

**Tabell 6-2 Differenskostnader relativt alternativ V2
(kSEK per kapsel)**

	V1	V3	V4
Konfidensgrad 50%	-25	85	45
Konfidensgrad 70%	-20	105	65
Konfidensgrad 90%	-15	140	90

6.3 Jämförelse mellan alternativen inom KBS-3 H

Kostnadsjämförelsen inom metoden KBS-3 H görs med alternativ H2 som referens.

Förklaring till tabellen ges ovan för tabell 6-2.

**Tabell 6-3 Differenskostnader relativt alternativ H2
(kSEK per kapsel)**

	H1	H3	H4
Konfidensgrad 50%	-45	-20	25
Konfidensgrad 70%	-35	-15	30
Konfidensgrad 90%	-20	-10	40

6.4 Jämförelse mellan alternativen inom MLH

Kostnadsjämförelsen inom metoden MLH görs med alternativ M1 som referens.

Förklaring till tabellen ges ovan för tabell 6-2.

**Tabell 6-4 Differenskostnader relativt alternativ M1
(kSEK per kapsel)**

	M2
Konfidensgrad 50%	15
Konfidensgrad 70%	20
Konfidensgrad 90%	30

Referenser

- 1) Project on alternative system study (PASS). Final report SKB TR 93-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 2) Project JADE. Comparison of Repository Systems. Summary of results. SKB TR-01-17, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- 3) PLAN 97, SKB juni 1997, samt därtill hörande underlagsmaterial

Dessutom har nedanstående material utgjort underlag för föreliggande studie. Beträffande allmänt referensmaterial för projektet hänvisas till projektets slutrapport.

Metod- och maskinbeskrivning av utrustning för deponering av kapsel i vertikalt deponeringshål, SKB R-01-35, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sammanställning av horisontella metoder för singeldeponering, SKB R-01-33, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sammanställning av horisontella metoder för seriell (MLH) deponering, SKB R-01-34, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Beskrivning av MLH metoden, SKB R-01-29, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Tekniska data gällande för referensfallen (exklusive variationer)

		V1	V2	V3	V4	H1	H2	H3	H4	M1	M2
Kapsel											
antal		3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800
diameter	m	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
längd	m	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83	4,83
effekt	W/m ²	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
deponeringskapacitet	kap/år	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
antal aktiva år	år	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0
Hål											
överlängd per hål	m	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0		
djup (längd)	m	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83	7,83		
buffertjocklek	m	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
diameter	m	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
avstånd mellan kapslar	m									1,20	1,20
längd per kapsel	m	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,03	6,03
påläggsfaktor för dåligt berg		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,12	1,12
verklig längd per kapsel	m	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,83	6,75	7,24
överlängd bentonit	m	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0	15,0	15,0
överlängd kross	m	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
antal kapslar/hål medelvärde		1	1	1	1	1	1	1	1	34,8	32,5
antal hål		3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	3 800	109	117
total hållängd	m	29 754	29 754	29 754	29 754	29 754	29 754	29 754	29 754	27 302	29 252
total bentonitlängd	m	25 954	25 954	25 954	25 954	29 754	29 754	29 754	29 754	27 302	29 252
Deponeringstunnel											
längd	m	250	250	250	250	250	250	250	250		
teoretisk bredd	m	4,0	4,2	4,7	4,5	4,0	6,2	6,5	6,6		
teoretisk höjd	m	4,5	5,0	6,2	6,1	4,5	5,0	5,0	5,5		
teoretisk area	m ²	16,3	19,1	26,8	25,3	16,3	28,4	29,7	33,4		
längd per kapsel	m	6,3	6,3	6,3	6,3	3,6	3,5	3,5	3,5		
pålägg för dåligt berg		1,10	1,10	1,10	1,10	1,12	1,12	1,12	1,12		
verklig längd per kapsel	m	6,93	6,93	6,93	6,93	3,98	3,92	3,92	3,92		
överlängd per tunnel	m	15	15	15	15	15	15	15	15		
antal kapslar/tunnel medelvärde		33,9	33,9	33,9	33,9	59,1	59,9	59,9	59,9		
antal tunnlar		112	112	112	112	64	63	63	63		
total tunnllängd	m	28 015	28 015	28 015	28 015	16 073	15 847	15 847	15 847		
botten för spårdrift	(logisk)	1	1	1	0	1	1	0	1		
botten för hjulfordon	(logisk)	0	0	0	1	0	0	1	0		
Transporttunnel inom deponeringsområde											
avstånd mellan dep.	m	40	40	40	40	60	60	60	60	40	40
teoretisk bredd	m	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0	8,0
teoretisk höjd	m	6,3	6,8	8,0	7,9	6,3	6,8	6,8	7,3	6,0	6,0
teoretisk area	m ²	40	43	52	51	40	43	43	47	43	43
längd per kapsel	m	0,59	0,59	0,59	0,59	0,51	0,50	0,50	0,50	0,57	0,62
Transporttunnlar övrigt											
teoretisk bredd	m	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
teoretisk höjd	m	6,00	6,00	7,00	8,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
teoretisk area	m ²	38	38	45	52	38	38	38	38	38	38
längd	m	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000	2 000
Omlastningsstation											
teoretisk volym	m ³	10 000	10 000	15 000	10 000	10 000	10 000	10 000	15 000	10 000	10 000
Utrusning per skift											
fordon CO-DT	antal	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1
fordon DT	antal	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
bentonitustrusning	antal	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
Drift (deponering)											
antal skift		2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
antal man per skift		6	6	5	5	6	6	5	4	6	6
bentonit per kapsel	m ³	12,2	12,2	12,2	12,2	14,7	14,7	14,7	14,7	13,1	14,3

Enhetspriser, kSEK prisnivå 1997 (huvudsakligen ur PLAN 97)

	V1	V2	V3	V4	H1	H2	H3	H4	M1	M2
Deponeringshål, borrhning										
hållborrning, ställkostnad per hål	10	10	10	10	10	10	10	10	227	227
hållborrning, rörlig per m	10	10	10	10	10	10	10	10	12	12
hållborrning, fast per år	2 100	2 100	2 100	2 100	2 100	2 100	2 100	2 100	8 200	8 200
Deponeringshål, kompletterande arbeten										
komplettering, fast per hål	10	10	10	10	20	20	20	20	100	100
komplettering, rörlig per m	2,0	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0
Deponeringstunnel, drivning										
rörlig kostnad per m tunnel = a*Area+b										
a:	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327	0,327		
b:	10	10	10	10	10	10	10	10		
tunnel drivning, fast per år	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500	4 500		
Deponeringstunnel, återfyllning										
rörlig kostnad per m tunnel = c*Area+d										
återfyllning kross/bentonit	c:	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	0,584	
	d:	12	12	12	12	12	12	12	12	
återfyllning kross	c:	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	
	d:	6	6	6	6	6	6	6	6	
återfyllning sand/bentonit	c:	0,916	0,916	0,916	0,916	0,916	0,916	0,916	0,916	
	d:	19	19	19	19	19	19	19	19	
återfyllning i hål med kross/bentonit, per m3		1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
återfyllning i hål med kross, per m3		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
återfyllning i hål med sand/bentonit, per m3		1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	
återfyllning kross/bentonit, fast per år		4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	
återfyllning kross, fast per år		2 300	2 300	2 300	2 300	2 300	2 300	2 300	2 300	
återfyllning sand/bentonit, fast per år		4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	4 400	
Deponeringstunnel										
tunnelbotten, spår per m	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0		
tunnelbotten, köryta per m ²	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6		
övriga arbeten per m	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0		
Transporttunnel										
Räknas enligt deponeringstunnel dock med en reduceringsfaktor f(trp):	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
tunnel drivning	a:	0,262	0,262	0,262	0,262	0,262	0,262	0,262	0,262	0,262
	b:	8	8	8	8	8	8	8	8	8
tunnel drivning fast		3 600	3 600	3 600	3 600	3 600	3 600	3 600	3 600	0
återfyllning kross/bentonit	c:	0,468	0,468	0,468	0,468	0,468	0,468	0,468	0,468	0,468
	d:	9	9	9	9	9	9	9	9	9
återfyllning kross	c:	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240	0,240
	d:	5	5	5	5	5	5	5	5	5
återfyllning sand/bentonit	c:	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733	0,733
	d:	15	15	15	15	15	15	15	15	15
återfyllning kross/bentonit, fast		3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
återfyllning kross, fast		1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800	1 800
återfyllning sand/bentonit, fast		3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500	3 500
tunnelbotten, köryta per m ²		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
övriga arbeten per m tunnel		3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Omlastning										
tunnel drivning och bygg per m ³	5,0	5,0	7,0	5,0	5,0	5,0	5,0	7,0	5,0	5,0
återfyllning kross/bentonit per m ³	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
återfyllning kross per m ³	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
återfyllning sand/bentonit per m ³	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Utrustning										
maskin centralomr-dep.tunnel, utveckling	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000	20 000
maskin centralomr-dep.tunnel, investering	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000
maskin i deponeringstunnel, utveckling	70 000	70 000	70 000	60 000	70 000	70 000	70 000	70 000	100 000	100 000
maskin i deponeringstunnel, investering	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000	30 000
maskin bentonit, utveckling	2 000	2 000	1 000	2 000	2 000	2 000	2 000	1 000	10 000	10 000
maskin bentonit, investering	2 000	2 000	1 000	2 000	2 000	2 000	2 000	1 000	5 000	5 000
Drift										
Underhåll maskiner, per år av investering	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
mankostnad per år (inkl visst förbrukningsmaterial)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
kompakterad bentonit per m ³	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Specifikation av variationer

Variationerna sorteras under två huvudrubriker:

- Generella variationer (anges med Variation nr), sidor 2-12
- Objektspecifika variationer (anges med Objekt nr), sidor 13-15

Inom varje variation ges en underindelning för varje deponeringsalternativ (10 st).

KBS-3 V: V1, V2, V3, V4

KBS-3 H: H1, H2, H3, H4

MLH: M1, M2

Variationerna beskrivs för de två alternativen Låg/Hög samt med angivande av referensvärden/-förutsättningar:

- referensvärde
- variation Låg
- variation Hög

I sammanställningen är variationer märkta med "T" om tidsplanepåverkan uppstår vilket påverkar kostnadsbilden vid diskontering. I sammanställningen anges även den antagna sannolikheten för att den händelse ska inträffa som alternativ Låg respektive Hög relaterar till (t ex 1:10).

Vid simuleringen styrs utfallet av slumpetal. I vissa fall är slumpetalen oberoende för de tio deponeringsalternativen, i andra fall är de kopplade på något sätt. Kopplingen innebär att de kopplade posterna samtidigt följer den kostnadsutveckling som slumpetalet ger upphov till. De objektspecifika variationerna är alltid kopplade. För de generella variationerna anges det aktuella förhållandet i respektive tabellhuvud.

Variation 1(T)		Kapseltyp, antal kapslar samt deponeringstakt (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	<p>Kapseltypen utgörs av referenskapseln för Plan 97, dvs en kapsel rymmande 12 BWR-element. Huvudmått är längd 4 830 mm, diameter 1 050 mm. Kapseltypen utgör en fast förutsättning och varierar således ej. Antalet kapslar (vid 100% fyllning) bestäms av bränslemängden, dvs i princip av den totala drifttiden för kraftverken.</p> <p>Antal kapslar 3 800 (motsvarar ungefär 33 års drift för samtliga reaktorer).</p> <p>Starttidpunkten är samma som gäller som referens i Plan 97, dvs start 2012 resp 2024 (inledande drift om 400 kapslar samt reguljär drift. Kapaciteten 200 kapslar per år ger då kapseffekten ca 100 W/m² kapselyta.</p> <p>Referenstemperaturen på kapselytan inriktas mot 80°C. Med en initial bergtemperatur av 10°C ger detta en temperaturstegring av 70°C.</p>
Låg 1:10	Samtliga	Lågalternativet utgörs av 3 000 kapslar (ungefär 25 års drift) med kapaciteten 200 kapslar/år (antagen maximal kapacitet). Detta ger effekten 90 W/ m ² kapselyta.
Hög 1:10	Samtliga	Högalternativet utgörs av 4 500 kapslar (ungefär 40 års drift) med kapaciteten 105 kapslar/år (stys av erforderlig tid för mellanlagring i CLAB). Detta ger oförändrad effekt 100 W/ m ² kapselyta.

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrhål	√	√
2. kompl hål	√	√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn		
8. utv. maskiner		
9. invest maskin	√	√
10. personal	√	√
11. bentonit	√	√

Kapselpositionering (c/c kapslar x c/c tunnlar)

Alt.	Låg	Ref	Hög
V1	6x32	6,3x40	6,3x40
V2	- " -	- " -	- " -
V3	- " -	- " -	- " -
V4	- " -	- " -	- " -
H1	6,9x50	7,1x60	7,1x60
H2	6,8x50	7,0x60	7,0x60
H3	- " -	- " -	- " -
H4	- " -	- " -	- " -
M1	1,2x30	1,2x40	1,2x40
M2	- " -	- " -	- " -

Variation 2(T)		Effekt (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Inkapslings- och deponeringstakt ger kapseffekten 100 W/m ² kapselyta.
Låg 1:10	Samtliga	För lågalternativet förutsätts en senareläggning av tidsplanen så att effekten sjunker till 90 W/m ² kapselyta. (Härvid kan givetvis andra delar av systemet öka i kostnad, delar som ej är relevanta för jämförelsekalkylen.)
Hög 1:10	Samtliga	För högalternativet förutsätts en tidigareläggning av tidsplanen så att effekten stiger till 110 W/m ² kapselyta. (Härvid kan givetvis andra delar av systemet öka i kostnad, delar som ej är relevanta för jämförelsekalkylen.)

Berör objekt ¹⁾

Objekt	V+H	M
1. borrhål	T	√
2. kompl hål	T	√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn	T	T
8. utv. maskiner	T	T
9. invest maskin	√	√
10. personal	√	√
11. bentonit	T	√

1) "T" berör endast tidsplan

Kapselpositionering (c/c kapslar x c/c tunnlar)

Alt.	Låg	Ref	Hög
V1	6,0x32		7,4x40
V2	- " -		- " -
V3	- " -		- " -
V4	- " -		- " -
H1	6,9x50		8,3x60
H2	6,8x50		8,2x60
H3	- " -		- " -
H4	- " -		- " -
M1	1,2x30		1,4x60
M2	- " -		- " -

Variation 3		Lokalisering av djupförvar vilket påverkar bergtemperatur (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Lokalisering som ger initial bergtemperatur 10°C.
Låg 1:10	Samtliga	Lokalisering som ger initial bergtemperatur 5°C.
Hög 1:5	Samtliga	Lokalisering som ger initial bergtemperatur 15°C.

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrhål		√
2. kompl hål		√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn		
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit		√

Kapselpositionering (c/c kapslar x c/c tunnlar)

Alt.	Låg	Ref	Hög
V1	6,0x35		7,3x40
V2	- " -		- " -
V3	- " -		- " -
V4	- " -		- " -
H1	6,2x60		8,2x60
H2	6,1x60		8,1x60
H3	- " -		- " -
H4	- " -		- " -
M1	1,2x35		1,2x60
M2	- " -		- " -

Variation 4		Positionering av kapslar med hänsyn till outnyttjad bergvolym (Utfall kopplat mellan samtliga) Jämför även Variation 8.
Ref	V1-4	Teoretisk tunnellängd +10%
	H1-4, M1	Teoretisk tunnellängd (hållängd) +12%
	M2	Teoretisk hållängd +20%
Låg 1:10	V1-4	Teoretisk tunnellängd +9%
	H1-4	Teoretisk tunnellängd +11%
	M1	Teoretisk tunnellängd +9%
	M2	Teoretisk tunnellängd +15%
Hög 1:10	V1-4	Teoretisk tunnellängd +11%
	H1-4	Teoretisk tunnellängd +14%
	M1	Teoretisk tunnellängd +15%
	M2	Teoretisk tunnellängd +25%

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrhål		√
2. kompl hål		√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn		
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit		√

Variation 5		Termiska parametrar (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Väsentliga termiska parametrar är den kompakterade bentonitens respektive bergets värmeledningstal. Referensfallet avser ett antagande med höggradigt vattenmättad bentonit samt med relativt högt värmeledningstal hos berget. Samtidigt begränsas den tillåtna temperaturen på kapselytan till ca 90°C uttryckt som att denna temperatur ska innehållas med 99% sannolikhet. I praktiken innebär detta att väntevärdet för temperaturen bör ligga vid ca 80°C för att inkludera osäkerheter i olika termiska parametrar. Försämringar liksom förbättringar är möjliga. Med en initial bergtemperatur av 10°C ger detta en inriktning mot temperaturstegringen 70°C på kapselytan. De termiska parametrarna behandlas i grupp och får för enkelhetens skull representeras av variationer i den tillåtna temperaturökningen på kapselns yta. I referensfallet är enligt ovan denna temperaturökning 70°C (avseende väntevärdet).
Låg	Samtliga	Temperaturökning på kapselytan 75°C. Sannolikheten varierar med hänsyn till möjligheterna att hålla vattenmättnad.
1:5	V1-4	
1:20	H1-4	
1:10	M1-2	
Hög 1:20	Samtliga	Temperaturökning på kapselytan 65°C.

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. bornn hål		√
2. kompl hål		√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn		
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit		√

Alt.	Låg	Ref	Hög
V1	6,0x35		7,3x40
V2	- " -		- " -
V3	- " -		- " -
V4	- " -		- " -
H1	6,2x60		8,2x60
H2	6,1x60		8,1x60
H3	- " -		- " -
H4	- " -		- " -
M1	1,2x35		1,2x60
M2	- " -		- " -

Variation 6		Tillåten temperatur på kapselytan (avseende väntevärdet) (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Tillåten temperatur 90°C vilket ger det beräkningsmässiga väntevärdet 80°C. Variationen skiljer sig från Variation 5 så tillvida att förändringar här är relaterade till kapselns funktion (kapselutveckling) och inte till termiska parametrar för berg m m.
Låg 1:10	Samtliga	Tillåten temperatur 100°C, väntevärde 90°C.
Hög 1:10	Samtliga	Tillåten temperatur 80°C, väntevärde 70°C..

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrn hål		√
2. kompl hål		√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn		
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit		√

Kapselpositionering (c/c kapslar x c/c tunnlar)

Alt.	Låg	Ref	Hög
V1	6,0x30		8,1x40
V2	- " -		- " -
V3	- " -		- " -
V4	- " -		- " -
H1	6,2x50		8,7x60
H2	6,0x50		8,3x60
H3	6,0x50		8,1x60
H4	- " -		- " -
M1	1,0x28		1,2x60
M2	- " -		- " -

Variation 7		Tunneltvärnsnitt för deponeringstunnlar (Utfall kopplat inom respektive metod)
Ref	Samtliga	Tunneltvärnsnitt såsom redovisade i de maskintekniska utredningarna. Med hänsyn till möjligheterna att ytterligare optimera tunneltvärnsnitten eller till risken att de är underskattade görs procetuella påslag på den teoretiska sektionensarean.
Låg 1:10	V/H1-4	Teoretisk area -20%.
	M1-2	Ej aktuellt
Hög 1:10	V/H1-4	Teoretisk area +20%.
	M1-2	Ej aktuellt

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrn hål		
2. kompl hål		
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	
7. omlastn.stn		
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit		

Variation 8		Överlängd för deponeringstunnlar och medellånga hål (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Längden på deponeringstunnlarna och på de medellånga hålen kan påverkas kraftigt vid långa passager över mindre lämpliga områden.
Låg 1:20	Samtliga	Referenslängden netto, dvs exklusive påslaget.
Hög 1:20	Samtliga	Referenslängden +20%

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. bornn hål		√
2. kompl hål		√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn		
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit		√

Variation 9		Typ av återfyllningsmaterial (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Återfyllningsmaterialet i samtliga tunnlar och bergrum utgörs av en blandning av bergkross från platsen och bentonit i volymsproportionen 85/15. Ett tillskott med 10% av bentonitvolymen görs för att täcka in behovet av pluggar och andra speciella tätningar.
Låg 1:10	Samtliga	Återfyllningsmaterialet utgörs av enbart bergkross. All bentonit utgår.
Hög 1:20	Samtliga	Återfyllningsmaterialet utgörs av kvartssand/bentonit i volymsproportionerna 70/30 i deponeringstunnlarna och 85/15 i övriga utrymmen. Även här görs ett tillskott på bentonitvolymen av 10%.

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrhål		
2. kompl hål		
3. berg dep.t		
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t		
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn	√	√
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit		

Variation 10		Pris på bentonit (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Enligt priser i Plan 97 Bentonitinhållet som andel av enhetspris är ca: Kompakterad bentonit80% Kross/bentonit60% Sand/bentonit30%
Låg 1:10	Samtliga	En minskning av referenskostnaden med 30%.
Hög 1:10	Samtliga	En ökning av referenskostnaderna med 50%.

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrhål		
2. kompl hål		
3. berg dep.t		
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t		
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn	√	√
8. utv. maskiner		
9. invest maskin		
10. personal		
11. bentonit	√	√

Variation 11		Kalkylosäkerhet allmänt (Utfall kopplat mellan samtliga)
Ref	Samtliga	Kalkylen innefattar inga allmänna påslag för osäkerheter. Dessa täcks istället av denna variation. Sådana osäkerheter kan vara realism i kalkylen (pessimism/optimism), myndighetspåverkan, sabotage och liknande händelser, konjunktur, etc. I dagsläget finns inte underlag för att behandla de alternativa metoderna olika utan samma procentuella förändring används.
Låg 1:10	Samtliga	En minskning av referenskostnaden med 20%.
Hög 1:10	Samtliga	En ökning av referenskostnaderna med 30%.

Berör objekt

Objekt	V+H	M
1. borrhål	√	√
2. kompl hål	√	√
3. berg dep.t	√	
4. återf. dep.t	√	
5. botten dep.t	√	
6. trpt.tunnel	√	√
7. omlastn.stn	√	√
8. utv. maskiner	√	√
9. invest maskin	√	√
10. personal	√	√
11. bentonit	√	√

Objekt 1		Deponeringshål, borrning
Ref	Samtliga	Samtliga arbeten som utförs av borrarlaget. Kostnaden omfattar en fast kostnad per hål (ställkostnad) samt en rörlig kostnad som medelvärde per meter hål. I ställkostnaden ingår även borrning av pilothål.
Låg 1:10	Samtliga	Metodförbättringar (teknisk utveckling) ger -20%.
Hög 1:10	Samtliga	Underskattning av svårigheterna med hänsyn till krav på hålets kavlité, verkliga tunneldjup m m, +30%

Objekt 2		Deponeringshål, kompletterande arbeten
Ref	Samtliga	Arbeten som utförs av andra än borrarlaget. Kostnaden omfattar kostnader för förarbeten såsom gjutning av betongkant och fundament samt efterarbeten t ex temporär täckning, injektering och förstärkning samt rivning av konstarbeten.
Låg 1:10	Samtliga	Minskat behov allmänt ger -30%.
Hög 1:10	Samtliga	Ökat behov allmänt, +30%

Objekt 3		Deponeringstunnlar, tunneldrivning
Ref	V och H	Metoden för brytning utgör i studien en fast förutsättning och är konventionell borrning och sprängning. Objektet innefattar även temporära installationer.
Låg 1:10	V och H	Möjlighet till snabbare framdrift, mindre krav på försiktig sprängning, förenklad samordning vid utlastning, -20%
Hög 1:10	V och H	Större krav på sprängningens genomförande och fördröjningar på grund av exempelvis ökad geologisk kartering och undersökningsborrning +30%.

Objekt 4		Deponeringstunnlar, återfyllning
Ref	V och H	Återfyllningen görs med bergkross med bentonitinblandning. I priset tas hänsyn till överberg, dvs bergutfall utöver den teoretiska arean. Arbetet inkluderar även iordningsställande av tunneln samt eventuella pluggar.
Låg 1:10	V och H	För närvarande stor osäkerhet avseende metoden. Antag en avsevärd teknikutveckling på området, -20% (en stor del av kostnaden avser materialet).
Hög 1:10	V och H	Svårigheterna underskattade samtidigt som återfyllnaden måste ske i princip efter varje kapselnedsättning, +30%

Objekt 5		Deponeringstunnlar, beredning av tunnelbotten
Ref	V och H	Beredning av tunnelbotten avser iordningsställande för spårdrift eller gummihjulsdrift. Vid spårdrift räknas kostnaden per meter tunnel, vid vägbana räknas kostnaden per m ² tunnelbotten. Kostnaden inkluderar även rivning.
Låg 1:10	V och H	Traditionellt arbete med relativt små osäkerheter som är att hänföra till dels ytbeläggning och bärighet (vägbana) dels toleranser. Antag att en lägre standard kan ge -30%.
Hög 1:10	V och H	En högre standard kan innebära +30%.

Objekt 6		Transporttunnlar, allt arbete
Ref	Samtliga	Transporttunnlarna är till sin omfattning definierade enligt layouten Plan 97 och omfattar sträckningen med början vid centralområdet. Stora variationer kan naturligtvis uppkomma. Rampen inräknas ej i denna studie då det som fast villkor förutsätts att en omlastning sker i centralområdet. Dvs transporter till centralområdet blir lika för alla alternativ.
Låg 1:10	Samtliga	Variationen avser såväl tunneldimension (area och längd) som utförande, installationer och beläggning. Antag -50%.
Hög 1:10	Samtliga	Dito utökning av omfattningen, +100%.

Objekt 7		Omlastningsstation
Ref	Samtliga	Omlastningsstationen utgörs av ett berggrum i anslutning till centralområdet där kapseln förflyttas från transportbehållaren till docknings- eller deponeringsfordonet. Kostnaden inkluderar alla arbeten inklusive betong och inredningsarbeten samt installationer och traverser. Området dimensioneras för uppställning av tre behållare totalt.
Låg 1:10	Samtliga	Minskat krav på utrymme, uppställning av enbart en behållare, enklare typ av utrustning då omlastning ej krävs utan enbart förberedelsearbeten på transportbehållaren. Antag -50%.
Hög 1:10	Samtliga	Kostnadsfördyring, större krav på cellhanteringen, omfattande redundant utrustning, Antag +50%.

Objekt 8		Maskinutrustning, utveckling
Ref	Samtliga	Utvecklingsarbetet förutsätts löpa fram till beställning av permanent utrustning vilket sker 2 år före deponering. Detta är en mycket osäker post, mer osäker ju mer oprövad tekniken kan anses vara. Endast schablonmässiga antaganden är möjliga.
Låg 1:10	V1-4	-50%
	H1-4	-30%
	M1-2	-20%
Hög 1:10	V1-4	+50%
	H1-4	+70%
	M1-2	+100%

Objekt 9		Maskinutrustning, investering & underhåll
Ref	Samtliga	Osäkerheten i investeringen torde inte skilja sig åt mellan alternativen då den mesta osäkerheten ligger i utvecklingsarbetet. Reinvestering (nyinförskaffande) ingår ej explicit utan antas ingå i underhållet (därav en hög årlig underhållskostnad). Osäkerheten ligger framförallt i bedömningen av hur många uppsättningar utrustning som krävs. Alltså kopplas denna variation till Objekt 10, drift (samma slumptal vid simuleringen).
Låg 1:10	Samtliga	-30%
Hög 1:10	Samtliga	+50% på enhetspriset samt dubbel maskinuppsättning dvs totalt +200%.

Objekt 10		Drift, personal
Ref	Samtliga	Personalen räknas som antal årsarbeten involverade i bentonitnedsättning samt deponering. Övriga resurser inräknas i respektive mängdkostnader. I referensalternativet antas arbetet utföras med tvåskift men med en uppsättning deponeringsutrustning.
Låg 1:10	Samtliga	Arbetet kan utföras som dagskift, dvs nästan halvering av personalkostnaden, -40%.
Hög 1.10	Samtliga	Arbetet måste utföras som treskift (vardagar) med dubbel maskinutrustning, +60% på personalkostnaden.

Objekt 11		Kompakterad bentonit
Ref	Samtliga	Variationerna avser tillverkning och hantering av bentonitblock, dock ej placering i hål. Prisvariationer hos bentonitmaterialet ingår ej då detta hanteras i en särskild variation.
Låg 1:10	Samtliga	-15% (siffran kan synas liten men begränsas av att materialkostnaden ej varieras här)
Hög 1:10	Samtliga	+15%