

Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden

Schakt eller ramp?

Göran Bäckblom, Conrox

Rolf Christiansson, Allan Hedin, Fredrik Norman
Svensk Kärnbränslehantering AB

Leif Lagerstedt, SwedPower AB

Maj 2003

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



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-03-11

Utredning rörande tillträdesvägar till djupförvarets deponeringsområden

Schakt eller ramp?

Göran Bäckblom, Conrox

Rolf Christiansson, Allan Hedin, Fredrik Norman
Svensk Kärnbränslehantering AB

Leif Lagerstedt, SwedPower AB

Maj 2003

Förord

Denna rapport redovisar resultat från SKB:s projekt *Tillträde till djupförvarets deponeringsområden* som jämför olika möjligheter och lämnar rekommendationer för principiella lösningar för tillträdet. Projektet är det första i en serie av planerade SKB-utredningar, som redovisar motiv för vald utformning av djupförvarsanläggningen.

Målen för detta projekt är bland annat att ta fram underlag för, och jämföra principiella lösningar för tillträde till djupförvaret som grund för den fortsatta platsspecifika utformningen på de tänkta förvarsplatserna. Ytterligare ett mål med studien är att närmare beskriva och exemplifiera systematik och metodik för optimering av utformningen av djupförvaret. SKB avser att använda studien som delunderlag i den fortsatta, platsspecifika projekteringen.

Göran Bäckblom (Conrox) har fungerat som projektledare och rapportredaktör och speciellt arbetat med internationella översikter, förutsättningar, arbetsolyckor och med optimering. Leif Lagerstedt har hanterat frågor om teknik, tidsplaner och kostnader, samt studier rörande brand. Rolf Christiansson har arbetat med frågor om omgivningspåverkan, Allan Hedin och hans grupp (Lena Morén, Patrik Sellin och Jan-Olof Selroos) med långsiktig säkerhet och Fredrik Norman med transportlogistik och kapacitetsberäkningar. Harry Larsson (Rox AB) och Pekka Särkkä (Concave Oy) har varit fristående granskare. Projektets beställare var Stig Pettersson, SKB med Tommy Hedman, Fred Karlsson och Olle Olsson som SKB:s styrgrupp. Dessa, liksom ett flertal andra SKB-medarbetare, tackas för hjälp och konstruktiva synpunkter under arbetets genomförande.

Delar av studien är genomförd i samarbete med ANDRA (Frankrike) och Posiva (Finland) och särskilt tack framförs till Jean-Louis Gausson, André Lesavre, Denis de Winter (ANDRA) och Timo Äikäs, Jukka-Pekka Salo, Mauri Toivanen, Antti Ikonen, Sami Niiranen (Posiva) samt till Timo Saanio, Saanio & Riekkola Oy.

Göran Bäckblom, Conrox
Projektledare

Sammanfattning

SKB påbörjade under år 2002 den platsspecifika utformningen av djupförvaret inom Oskarshamns och Östhammars kommuner. En del i den nu påbörjade projekteringen (hösten 2002) är att utvärdera och om möjligt välja hur kommunikation och transporter sker mellan markytan och deponeringsområden cirka 400–700 meter under marknivån. Denna rapport redovisar resultat från SKB:s projekt *Tillträde till djupförvarets deponeringsområden* som jämför olika möjligheter och lämnar rekommendationer för principiella lösningar för tillträdet.

Målen för projektet är att ta fram underlag för, och jämföra principiella lösningar för tillträde till djupförvarets deponeringsområden och att redovisa motiv för rekommenderade utformningar för den fortsatta, platsspecifika projekteringen på de tänkta djupförvarsplatserna. Ytterligare ett mål med studien är att närmare beskriva och exemplifiera systematik och metodik för optimering av utformningen av djupförvaret.

Med utgångspunkt från SKB:s krav är ett flertal alternativa lösningar för tillfart från markytan till deponeringsområden studerade. Huvudalternativen är ramp med ett eller två driftområden ("spiralramp" respektive "rak ramp"), ramp med tidsmässigt parallell utsprängning av ett sänkschakt och ett alternativ med bara schakt.

Ett flertal bedömningsfaktorer ligger till grund vid utvärdering av huvudalternativen och de är långsiktig säkerhet, säkerhet under byggande och drift, omgivningspåverkan, hushållning med resurser, totalkostnad, tidsplaner, flexibilitet och projektrisker.

Samtliga studerade huvudalternativ är genomförbara och säkra. Vid jämförelser av alternativen sinsemellan, bedöms dock alternativet med spiralramp och samtidig utsprängning av ett sänkschakt vara det mest fördelaktiga. Alternativet har den högsta flexibiliteten utan påtagliga nackdelar när det gäller långsiktig säkerhet, miljö eller tidsplan. Det är en mycket stor fördel att fordonstrafiken, med risk för olyckor och brand i ramp, minskar avsevärt då transporter av berg- och återfyllningsmassor sker med hiss istället för att transporteras med fordon i ramp. Genom den samtidiga drivningen av sänkschakt kortas också byggtiden för undermarksdelarna med 18 månader. Den diskonterade totalkostnaden för detta alternativ är visserligen 100 miljoner kronor högre än för det billigaste alternativet med bara schakt, men omkring 600 miljoner kronor billigare än de dyraste alternativen med ramp utan sänkschakt. I de diskonterade kostnaderna är inte värden av skillnader i flexibilitet och logistik medräknade.

Vid valet mellan ett driftområde (spiralramp) eller två driftområden (rak ramp), är ett driftområde att föredra med hänsyn till en rationellare drift av djupförvaret, om inte de platsspecifika förutsättningarna motiverar behov av två driftområden.

Alternativ med bara schakt och rampalternativ med en dubbeltunnel bör avföras, om inte de platsspecifika förutsättningarna uppenbart föranleder att alternativen bör utredas vidare.

Referensutförningen bygger på att rampen är sprängd. Möjligheten att den raka rampen drivs med TBM utreds vidare.

Denna utredning styrker att hjulburen utrustning i ramp är att föredra framför spårbunden, i enlighet med den nuvarande referensutförningen. Transport med spårbunden utrustning eller transportband avföres som alternativ, om inte teknisk utveckling senare, uppenbart ger skäl för dessa alternativ.

Summary

During year 2002, SKB launched the site-specific engineering of the repository at the Oskarshamn and Östhammar candidate sites. A part of the ongoing engineering work (autumn 2002) is to evaluate and possibly select type of access from surface to the underground deposition areas located at a depth of some 400 to 700 metres below the surface. This report accounts for the SKB project – *Access to the deposition areas of the repository* to compare options and provide recommendations for the principal access solutions.

The project objectives are to provide a basis for comparison and to compare generic options for access routes to the underground deposition areas, to formulate preliminary Design Justification Statements for the continued site-specific engineering of access routes to the underground repository and also to describe and exemplify methodology for optimisation of the repository engineering.

In consideration of the requirements of SKB, several alternative access options are explored. The main alternatives are a ramp with one or two operational areas at the surface, a ramp with parallel excavation of a blind shaft and an alternative with shafts only.

A suite of objective functions were employed in the evaluation of the main alternatives relating to long-term safety, occupational safety during construction and operation, environmental impact, sustainability of natural resources, total cost, schedules, flexibility and project risks.

All alternatives studied are feasible and safe, but the alternative with a spiral ramp and a blind shaft is deemed to be the most favourable option. The alternative has the highest flexibility without any tangible disadvantages related neither to long-term safety, environmental impact nor to schedules. It is an advantage that ramp traffic is drastically reduced as rock and backfilling material is transported by the skip rather than by vehicles in the ramp, thereby reducing risks of accidents and fires in the ramp. The concurrent ramp and shaft excavation also shorten the construction period with 18 months for the underground excavations. The discounted total cost is however 100 million Swedish Kronor higher for this alternative than for the most inexpensive option – the shaft, but around 600 million Swedish Kronor less costly than the ramp alternatives without the blind shaft. The total discounted cost does not estimate discounted differences due to logistics and flexibility.

In the choice between one operational area at the surface (spiral ramp) or two (straight ramp), one operational area is favoured due to the more practical operation of the repository, assuming that the site-specific conditions do not necessitate two operational areas at the surface.

The alternative with shafts only and the alternative with a twin-tube tunnel only, will not be studied further, unless obvious site-specific conditions call for continued studies.

The reference design is based on that the ramp is excavated by drill & blast. The option to excavate with a TBM is still an open issue, pending further studies.

This study confirms the suitability of track-less vehicles as in the current reference design. Transports with rail-bound vehicles or with conveyors should be excluded options, unless later technological developments offer obvious reasons for these alternatives.

Innehåll

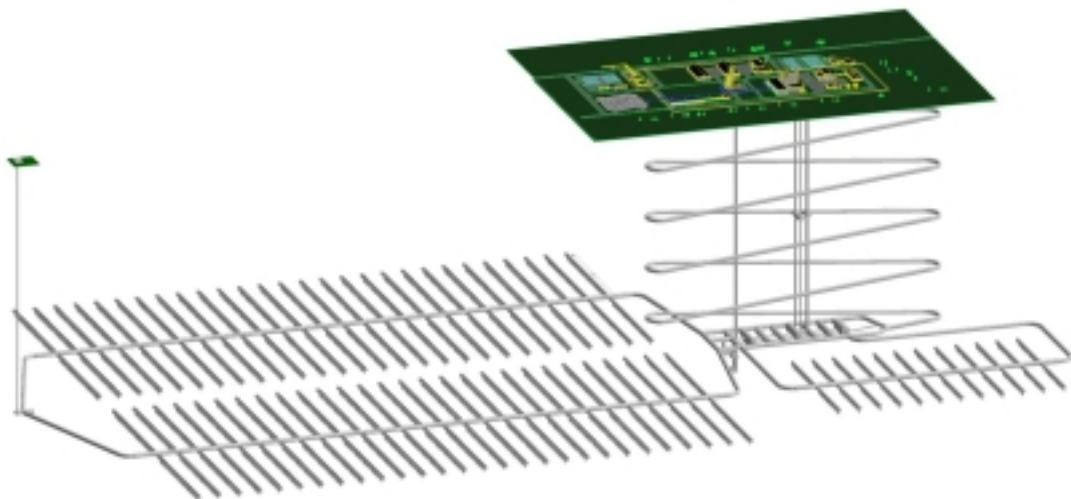
1	Inledning	11
2	Översikter av alternativa utformningar, anläggningsmetoder och transportsystem	13
2.1	Alternativa utformningar	13
2.2	Alternativa anläggningsmetoder	15
2.3	Alternativa transportsystem i ramp och schakt	15
3	Tillträdesvägar – översikt av industrins val	21
3.1	Gruv- och mineralbranschen	21
3.2	Hantering av radioaktivt avfall	22
3.2.1	Finland	22
3.2.2	Frankrike	22
3.2.3	Storbritannien	24
3.2.4	Sverige	25
3.2.5	Tyskland	26
3.2.6	USA	26
3.3	Sammanfattande bedömning	29
4	Förutsättningar för jämförelse av alternativa utformningar	31
4.1	Överordnade förutsättningar	31
4.2	Dimensionerande vikter, geometrier	34
4.3	Transportarbetet	34
4.4	Beräknade transportkapaciteter	37
4.5	Platsspecifika förutsättningar	38
4.6	Detaljundersökningar	39
4.7	Tidsplaner och kostnader	40
4.7.1	Ramp	40
4.7.2	Schakt	41
4.7.3	Detaljundersökningar	41
4.7.4	Tillstånd	41
4.7.5	Kostnader	41
5	Utformning av alternativ med teknisk beskrivning av genomförande, drift och förslutning	43
5.1	Utformning av ramp med dess installationer	43
5.2	Utformning av schakt med dess installationer	45
5.2.1	Utformning av schakt i schaktalternativet	45
5.2.2	Utformning av schakt i rampalternativen	46
5.2.3	Utformning av ventilationsschakt för deponeringsområdet för reguljär drift	46
5.2.4	Transportsystem	46
5.3	Projekteringsprocessen vid olika alternativ	48

5.4	Detaljundersökningar	48
5.5	Anläggningsmetoder	48
5.5.1	Ramp	48
5.5.2	Schakt	50
5.6	Drift av anläggningen	51
5.6.1	Allmänt	51
5.6.2	Åtgärder för att minska risker vid drift av djupförvaret	52
5.7	Återfyllning och förslutning	53
5.8	Återtag	53
6	Metodik och mål för optimering	55
6.1	Metodik för optimering	55
6.2	Mål som ska uppnås och värderas vid optimeringen	58
6.2.1	Stråldos efter förslutning ska vara låg i enlighet med ALARA-principen	59
6.2.2	Inga olyckor i samband med bygge och drift	59
6.2.3	Låg omgivningspåverkan	59
6.2.4	Hushållning av resurser	61
6.2.5	Totalkostnad ska vara låg	61
6.2.6	Tid för anläggning av schakt eller ramp ska vara kort	62
6.2.7	Flexibilitet ska vara hög	62
6.2.8	Projektrisker ska vara små	62
7	Jämförelse av alternativ i förhållande till mål	63
7.1	Stråldos efter förslutning	63
7.1.1	Kemiska aspekter	64
7.1.2	Effekter på eventuell nuklidtransport efter förslutning	66
7.1.3	Klimatrelaterade förändringar	69
7.1.4	Betydelsen av schakt eller ramp ur perspektivet långsiktig säkerhet. Sammanfattande bedömning	71
7.2	Arbetsolyckor under byggande, drift och förslutning	72
7.2.1	Bygg- och anläggningsverksamhet	72
7.2.2	Transport av kapsel med använt kärnbränsle	74
7.2.3	Onormala drifttillstånd	76
7.2.4	Förslutning	81
7.3	Omgivningspåverkan	82
7.4	Hushållning med naturresurser	82
7.5	Totalkostnad, räknat som nuvärde	83
7.6	Tider	85
7.7	Flexibilitet	87
7.8	Projektrisker	89
7.9	Sammanfattande bedömning	89
8	Motiv för rekommenderad utformning	91
9	Diskussion	93
10	Referenser	95

1 Inledning

SKB påbörjade under år 2002 den platspecifika utformningen av djupförvaret inom Oskarshamns och Östhammars kommuner. Den övergripande målsättningen för projekteringen är att djupförvaret är en säker och effektiv anläggning som väl fyller de krav som finns både i internationella och inhemska riktlinjer, lagar, föreskrifter och övriga övergripande konstruktionsförutsättningar /SKB, 2002a/. SKB redovisar på olika sätt omfattande dokumentation rörande djupförvarets funktion och utformning och den intresserade läsaren hänvisas till www.skb.se för allmän och detaljerad bakgrundsinformation. En generell översiktsbild av en möjlig utformning av djupförvarsanläggningen visas i figur 1-1.

Projektering är en samlingsterm för de aktiviteter där tekniskt underlag samlas, bearbetas och analyseras för att så småningom resultera i funktionsbeskrivningar, anläggningsbeskrivningar, bygghandlingar och konstruktionsritningar. I arbetet ingår att ta fram kriterier och metoder för optimering av utformningen, acceptansprövning, och också redovisa motiv för utformningen. Projektering genomförs skedesvis med successiva begränsningar av handlingsutrymmet för förändringar /SKB, 2001a/. En del i den nu påbörjade projekteringen (hösten 2002) är att utvärdera alternativ för hur kommunikation och transporter ska ske mellan markytan och deponeringsområden cirka 400–700 meter under marknivån. Denna rapport utgör delunderlag för den fortsatta, platspecifika projekteringen av tillträdesvägar.

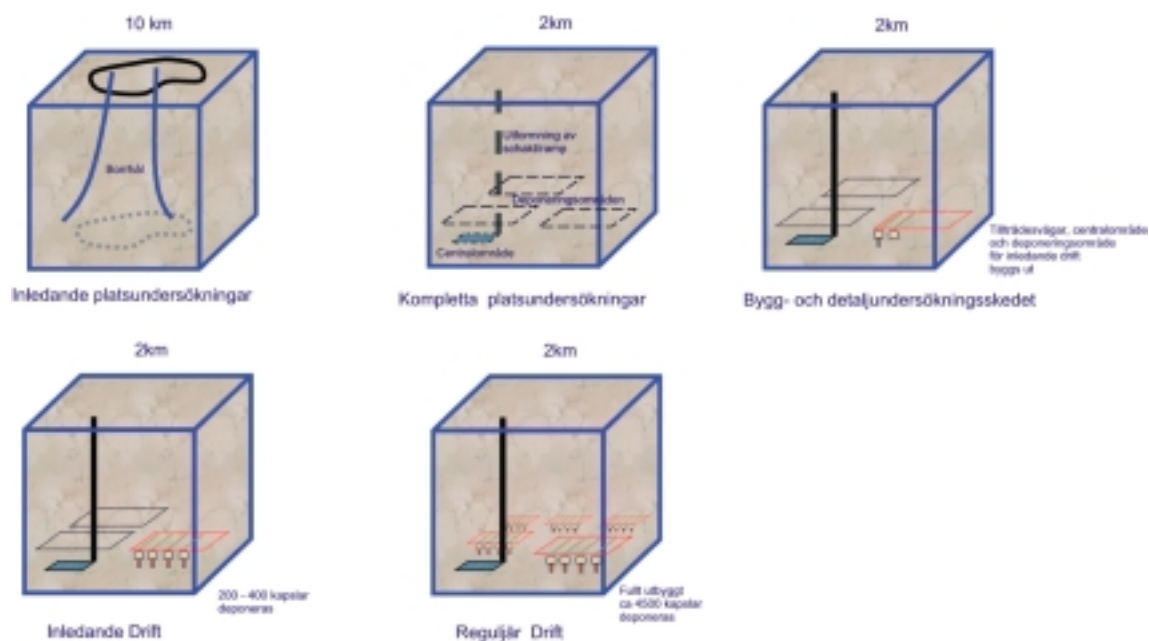


Figur 1-1. Översiktsbild av djupförvarsanläggningen. Här visas förvaret utformat med ett driftområde vid markytan och med spiralramp och sänkschakt som tillträdesvägar.

Figur 1-2 visar en principiell bild av hur djupförvaret växer fram. Under det inledande platsundersökningskedet görs preliminära utformningar som sedan anpassas baserat på resultat från de kompletta platsundersökningarna. Efter de kompletta platsundersökningarna inlämnar SKB ansökan om lokalisering och utbyggnad av djupförvaret. Efter det att tillstånd erhållits, byggs tillträdesvägar, centralområde och område för inledande drift, parallellt med att kompletterande undersökningar av ytnära ekosystem och berggrund genomförs. Det inledande driftskedet med deponering påbörjas efter tillstånd till drift. Efter kompletterande tillstånd, byggs förvaret successivt ut till full storlek.

Denna rapport redovisar resultat från SKB:s projekt *Tillträde till djupförvarets deponeringsområden* som jämför olika möjligheter och lämnar rekommendationer för principiella lösningar för tillträdet.

När det gäller nomenklatur, avser begreppet ”ramp” en lutande tillträdestunnel. Begreppet ”tunnel” används både för nerfart som mynnar i markytan och för transportvägar under jord. ”Sänkschakt” är ett schakt som byggs med start från markytan. ”Strossning” är en term som avser att man spränger tunnelns slutprofil mot en fri yta. ”Skip” avser en hiss för bergtransport. I rapporten beskrivs olika utformningsalternativ. Alternativen ”rak ramp” och ”spiralramp” benämns rampalternativ, även om båda alternativen innehåller också ett flertal kommunikationsschakt, se vidare kapitel 5. Med ”driftområde” avses industrialäggning på markytan. Närmare beskrivning av driftområde för spiralramp och schakt återfinns i /SKB, 2002b,c/ och för rak ramp med två driftområden i /SKB, 2001b/.



Figur 1-2. Principiell översikt av djupförvaret och skedesindelning. Bilden visar utformning med schakt.

2 Översikter av alternativa utformningar, anläggningsmetoder och transportsystem

Djupförvaret anläggs på ett djup av mellan 400–700 meter under marknivån och anläggningen under jord behöver på ett effektivt sätt knytas till markytans anläggningar. Det finns i princip tre skilda sätt att ordna kommunikation och transporter; ett är att låta alla transporter ske i en lutande tillfartstunnel (ramp), det andra är att anordna ett eller ett flertal schakt, det tredje att göra en kombination av dessa två alternativ. Figur 2-1 ger en översikt av olika typer av transporter som förekommer och en principskiss för alternativ.

Ett flertal alternativ för utformning, med tillhörande alternativa anläggningsmetoder och transportsystem behandlas i denna rapport. Översikten i tabell 2-1 benämner de olika alternativen, redovisar kommentarer till utredningsresultaten och hänvisar till närmare beskrivningar av alternativen i rapporten.

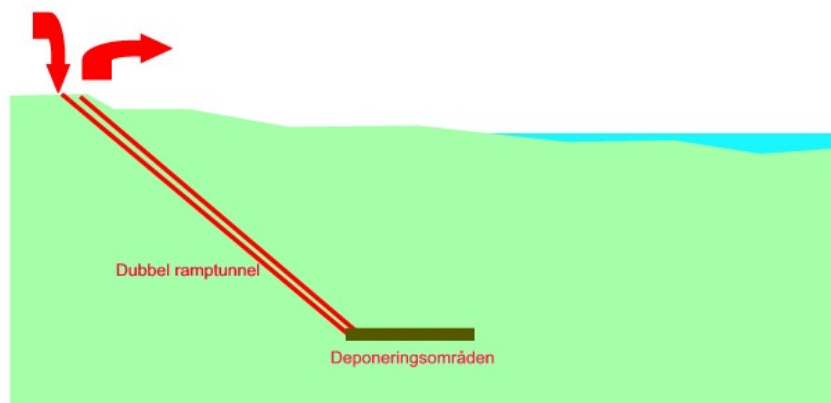
2.1 Alternativa utformningar

Alternativet med två parallella ramper (U1 i tabell 2-1) liknar den nuvarande lösningen i SKB:s slutförvar för låg- och medaktivt avfall (SFR). För att uppfylla krav på transportkapacitet, utrymme för installationer och behov av dubbla utrymningsvägar behöver två parallella tunnlar anläggas mellan markytan och deponeringsområden. Detta alternativ kan vara av intresse då det inte är möjligt att dra upp vertikala schakt till marknivån. De lägen som har valts i SKB:s förstudier /SKB, 2000/, bör alla medge schaktförbindelse med markytan. Förstudien i Östhammar redovisar ett alternativ med en tunnel från SFR in mot land, med ett eventuellt driftområde där ("rak ramp"), /SKB, 2000b/. Alternativet hanteras närmare inom ramen för pågående, platsspecifik projektering.

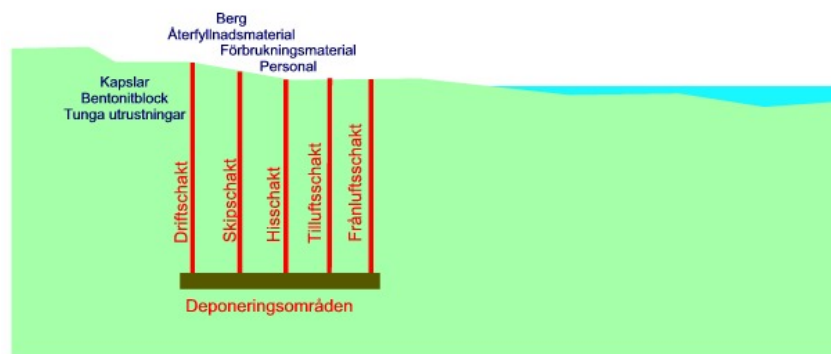
Rampalternativen med två driftområden (U2 i tabell 2-1) respektive ett driftområde (U3 i tabell 2-1) är i detalj redovisade i /SKB, 2001b/ respektive i /SKB, 2002b/. Alternativ U4 i tabell 2-1 är ett rampalternativ i vilket rampen kombineras med ett sänkschakt och skip för ökad flexibilitet, förbättrad driftsäkerhet och kortad byggtid. Ett rent schaktalternativ är i detalj redovisat i /SKB, 2002c/ (U5 i tabell 2-1).

Alternativet U6 illustreras i figur 2-2. Utredningen diskuterar i kapitel 7.1 om det är av säkerhetsmässig betydelse om tillfartsvägar anläggs "uppströms" eller "nedströms" förvaret i en kustnära miljö. Alternativet U7, figur 2-3, är ett rent platsspecifikt alternativ som inte behandlas vidare i denna studie.

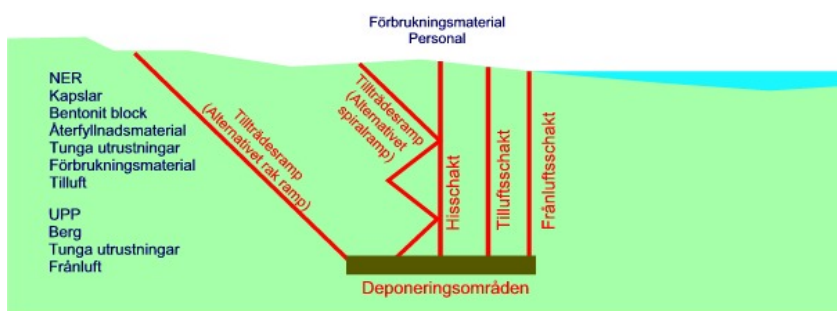
NER	UPP
Kapslar	Berg
Bentonitblock	Transportbehållare
Återfyllnadsmaterial	Tunga utrustningar
Tunga utrustningar	Personal, besökare
Byggnadsmaterial	Rivningsmaterial, skräp
Personal, besökare	Dränagevatten
Förbrukningsmaterial	Frånluft
Tilluft	



a)

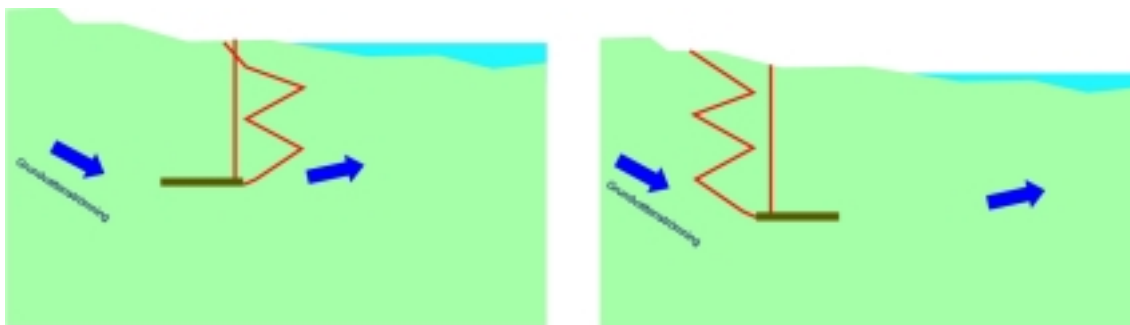


b)

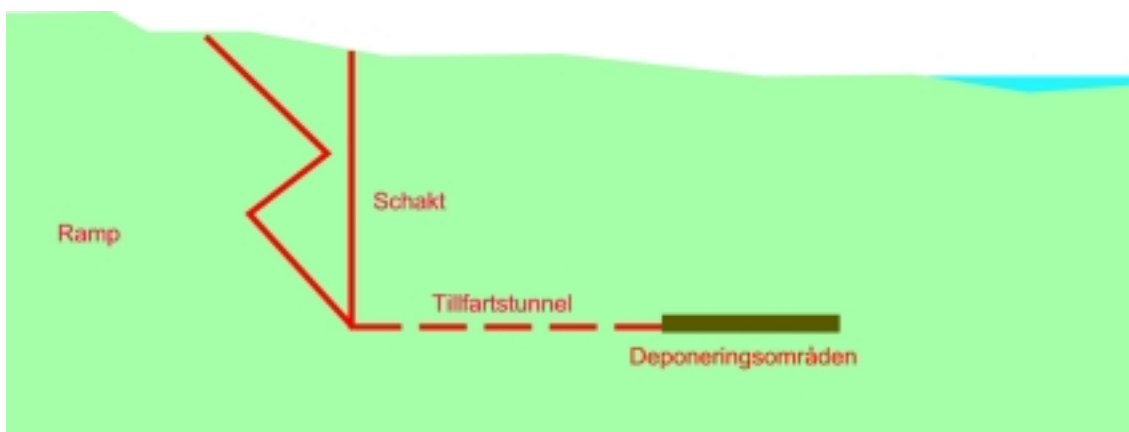


c)

Figur 2-1. Översikt av transporter och utformningsalternativ. a) Endast tunnel. Ett driftområde. Se alternativ U1 i tabell 2-1. b) Endast schakt. Ett driftområde. Se alternativ U5 i tabell 2-1. c) Tunnel och schakt med ett driftområde ("spiralramp") eller två driftområden ("rak ramp"). Se alternativ U2–U3 i tabell 2-1.



Figur 2-2. Tillträdet i utströmningsområde (vänster bild) eller i ett inströmningsområde (höger bild).



Figur 2-3. Tillträde med avstånd till deponeringsområden, alternativ U7 i tabell 2-1.

2.2 Alternativa anläggningsmetoder

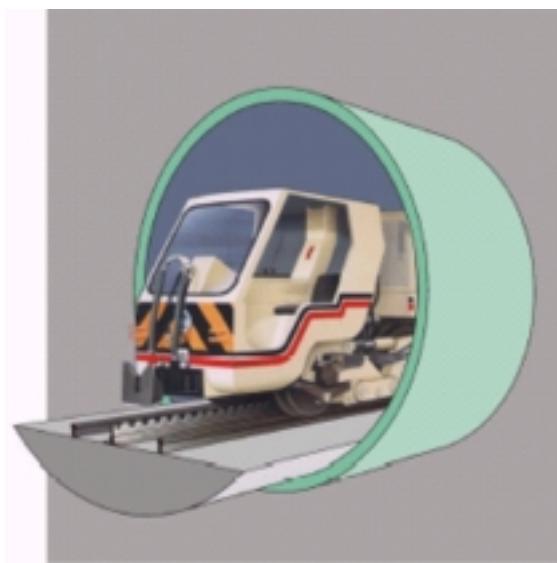
Referensutformningen bygger på att tillfartsvägar och deponeringsområden anläggs med traditionell teknik för borrhning och sprängning. SKB avser att närmare studera förutsättningar för mekanisk avverkning (fullborrning eller fräsande brytning).

2.3 Alternativa transportsystem i ramp och schakt

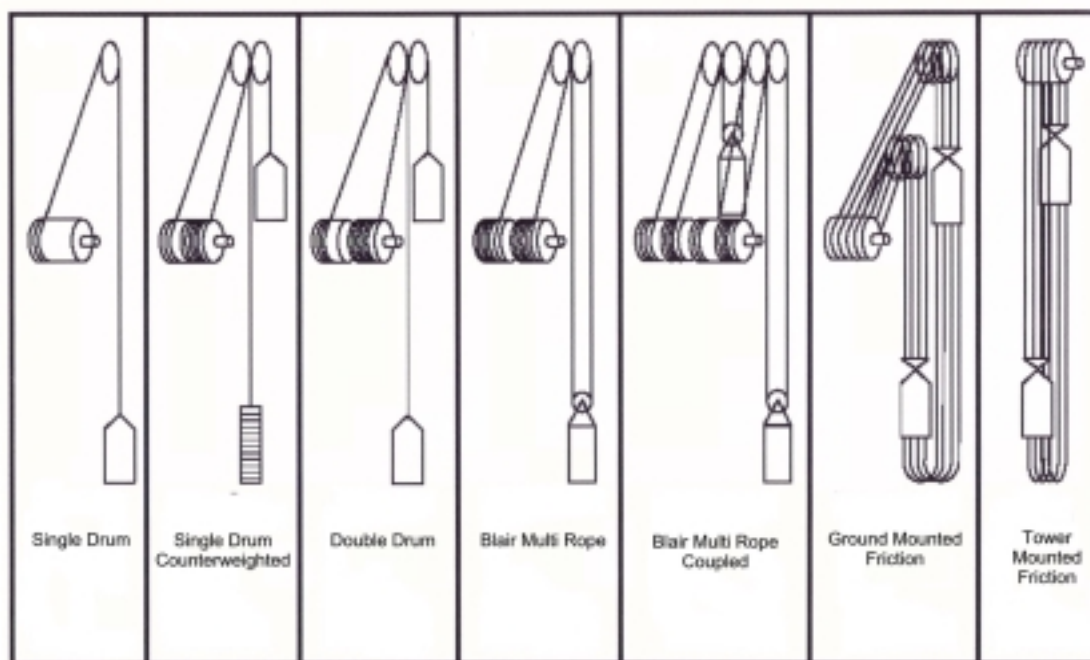
Det finns ett flertal alternativ för hur transporter arrangeras i schakt eller ramp och några exempel visas nedan. I görligaste mån är SKB:s referensutformning grunden för vidare projektering, för tids- och kostnadsuppskattningar och för uppskattning av markbehov för olika lösningar.

Referensutförning för transporter i rampen utgår från gummihjulsburna fordon, som vid SFR (alternativ TR1 se tabell 2-1). Man kan också tänka sig att man anlägger en ramp med transportband eller en ramp med tåg, som drivs på kuggstång, figur 2-4. Den årliga volymen utsprängt berg under reguljär drift är dock liten varför den stora kapaciteten hos ett transportband inte utnyttjas. Transporter med tåg i ramp har få fördelar, men många nackdelar jämfört med hjulburen utrustning. Nackdelarna är framför allt hög investeringskostnad och låg flexibilitet och detta alternativ utreds därför inte närmare.

När det gäller transporter i schakt finns ett flertal system i bruk. Figur 2-5 visar en översiktsbild av vanligt förekommande hissar. Val av hisstyp och val av inredning i schakt styrs av dimensionerande vikter, djup, kapacitetskrav med mera. Vid Äspölaboratoriet används som exempel enkeltrumma utan motvikt, men vanligtvis är det friktionsspel med motvikt som används. Nyttig last är i storleksordningen upp till 40 ton i gruvor. Transport av en avfallskapsel är en mycket tung transport. Själva kapseln med transportbehållare och transportvagn väger omkring 85 ton, men det behövs också en kraftig hisskorg. Totalvikten skulle för en schaktlösning vara omkring 143 ton, vilket är långt utöver de vikter som idag transporteras i schakt. För så stora vikter har det bedömts att ett så kallat dubbeltrummespel är det mest lämpliga alternativet.



Figur 2-4. Exempel där tåg på kuggstång (rack-and-pinion) transporterar avfallsbehållare. Alternativ TR2 i tabell 2-1. Bild från Nirex UK.



Figur 2-5. Översikt av speltyper för hissar. Bild från ABB Process Industries.

Hisskorgen löper längs stöd i schaktet – ”gejdrar” – och dessa kan vara trä-, stål- eller, aluminiumbalkar. Gejdrar kan också bestå av ställinor. Av installations-, säkerhets- och underhållskäl är lingejdrar att föredra, trots att denna lösning kräver något större schaktdiameter då systemet inte blir lika styvt som ett balksystem.

Det finns även två andra, okonventionella transportsystem, för både vertikala och horisontella transporter, som är av intresse att nämna i sammanhanget, nämligen användning av magnetsvävare och pneumatiska ”rörpost”-system.

Magnetsvävare finns utvecklat för horisontella transporter. En 30 km lång järnvägssträcka mellan södra delen av Shanghai och flygplatsen tas i reguljär trafik med magnetsvävtåg under år 2004. Gruvindustrin arbetar även med att ta fram magnetsvävare för vertikala transporter (hissar) och man har nu kommit till ett prototypskede, /Meech och Ulansky, 2002/.

Ett alternativ till magnetsvävare är att bygga pneumatiska ”rörpost” – system, där lufttryck i rörsystem med slussar styr transporterna, /Hane et al, 2002/. Liksom för magnetsvävare, kan transporterna ske i godtycklig riktning.

Både dessa system, bedöms vara intressanta men kräva alltför stort utvecklingsprogram för att vara realistiska alternativ i den aktuella projekteringen.

Tabell 2-1. Översikt av alternativ och hänvisning till utredningsresultat.

Alternativ	Förklaring	Utredningsresultat	Hänvisning till kapitel
Utformning			
U1	Dubbeltunnel. Inga kommunikationsschakt mellan undermarksanläggningen och markytan.	Utformningen återfinns i förstudien för Forsmark. Denna utredning bedömer alternativet som mindre lämpligt.	2.1
U2	Ramp med två separata driftområden på markytan och med kommunikationsschakt mellan undermarksdelen och markytan. Alternativet benämns i utredningen som "rak ramp".	Utformningen är ett huvudalternativ i denna utredning, men bör avföras i de fortsatta platsspecifika utredningarna om det är möjligt.	4, 5, 6, 7 och 8
U3	Ramp med ett driftområde på markytan och med kommunikationsschakt mellan undermarksanläggningen och markytan. Alternativet benämns i utredningen som "spiralramp".	Utformningen är ett huvudalternativ i denna utredning.	4, 5, 6, 7 och 8
U4	Ramp med ett eller två separata driftområden på markytan och med kommunikationsschakt och schakt (skipschakt) för transport av bergmassor mellan undermarksdelen och markytan. Skipschaktet sänks parallellt med att rampen byggs. Alternativet benämns i utredningen som "ramp med sänkschakt".	Alternativet är ett huvudalternativ och bör vara det grundläggande referensalternativet i de fortsatta utredningarna.	4, 5, 6, 7 och 8
U5	Ingen ramp. Separata schakt för tunga transporter, för lätta transporter, för ventilation och för masstransportera av berg med mera (skipschakt). Alternativet benämns i utredningen som "schaktalternativ".	Utformningen är ett huvudalternativ i denna utredning, men bör avföras i de fortsatta utredningarna.	4, 5, 6, 7 och 8
U6	Placering av tillträde "uppströms" eller "nedströms" förvaret.	Vid vissa antaganden är "uppströms" att föredra. Frågan är platsspecifik.	7.1
U7	Tillträdesvägar på avstånd från deponeringsområden som ansluts via en tunnel på deponeringsnivån.	Platsspecifik fråga som inte hanteras i denna utredning.	2.1
Metod för bergbyggande			
B1	Ramp/sänkschakt byggs med traditionell borrhning och sprängning.	Borrhning och sprängning är referensmetod i utredningen.	5

Alternativ	Förklaring	Utredningsresultat	Hänvisning till kapitel
B2	Ramp/schakt byggs med fullborring.	Tunnelborring kan vara aktuell om rampen är rak och bergförhållanden är goda. Sänkschakt med nedåtgående fullborring är ännu inte tekniskt genomförbart. Uppåtgående borring av ventilationsschakt är traditionell teknik och utgör SKB:s referensutförning. SKB avser att genomföra en jämförande studie av metoder för berguttag i djupförvaret.	5
B3	Rampen byggs med fräsande brytning.	Fräsande brytning kan vara aktuell, men kräver fortsatt teknikutveckling. SKB avser att genomföra en jämförande studie av metoder för berguttag i djupförvaret.	5
Transportsystem i ramp			
TR1	Hjulburen utrustning med el- eller dieseldrift.	Hjulburen utrustning med eldrift är utredningens referens. SKB avser att utreda frågan om el- eller dieseldrift för transportfordon i ramp och på förvarnsnivå. Utveckling av bränsleceller pågår och kan bli ett alternativ i framtiden.	5
TR2	Tågtransport på kuggstång.	Utredningen bedömer att alternativet är mindre lämpligt och det avförs därmed från fortsatta studier.	2.3
TR3	Bandtransport.	Utredningen bedömer att alternativet är mindre lämpligt och det avförs därmed från fortsatta studier.	2.3
Transportsystem i schakt			
TS 1	System för hisspel.	Tunga transporter föreslås ske med ett så kallat blockat dubbeltrummespel. I övrigt används friktionsspel med motvikt. Eftersom schakttutformning är mindre intressant, är inga djupare analyser genomförda av olika system.	2.3
TS2	System för gejdtrar (styransordning för hisskorg).	Här förutsätts att hisskorgen styrs av linor. Eftersom schakttutformning är ett mindre intressant alternativ, är inga djupare analyser genomförda.	2.3
TS3	Transporter med magnetsvävare.	Alternativet är fortfarande i prototypskede vad avser vertikala transporter och är därför avfört från fördjupade analyser i denna studie.	2.3
TS4	Transporter med pneumatiskt "rörpost"-system.	Alternativet är fortfarande i prototypskedet och avförs därför från fördjupade analyser i denna studie.	2.3

3 Tillträdesvägar – översikt av industrins val

Undermarksbyggande förekommer inom gruvor och anläggningsbyggande och för varje enskilt fall har man att bedöma om schakt eller ramp är den lämpligaste lösningen. I detta kapitel redovisas en översikt av lösningar som bakgrund till den fortsatta texten.

3.1 Gruv- och mineralbranschen

Förr i världen var det i första hand schakt som var aktuella vid underjordsbrytning. Nu är det mer vanligt att man anlägger ramp, även för brytning till mer än 600–700 meters djup. Exempel är Bolidens gruva Petiknäs i Skellefteåfältet och Outokumpus gruva Orivesi i Finland. Vid Black Swan Property Ltd i Australien körs malmen upp med fordon i ramp från mer än 1 000 meters djup.

Motiven för att välja ramp istället för schakt är att rampen har klara fördelar med hänsyn till det ekonomiska kassaflödet. Investeringskostnaden är låg och genom att lägga rampen nära malmen får man tidigt intäkter från malmbrytningen. Rampens läge kan också justeras allt eftersom man lär känna malmens utsträckning, vilket minskar behov av detaljerad kartläggning från ytan. För att ta beslut om ett djupt schakt – en investering i storleksordningen 300–400 miljoner kronor, krävs omfattande undersökningar för att visa att det finns en tillräckligt värdefull malmbas som garanterar exploitörens avkastningskrav på det insatta kapitalet. Ett djupt schakt har sedan naturligtvis mycket lägre driftskostnader för transporter av malm och gråberg till markytan än transporter via en ramp.

Vid jämförelse av gruvors produktivitet är också en gruva med ramp ofta mer produktiv än en motsvarande gruva med schakt av följande orsaker: Ökad produktivitet är en konsekvens av uppskalning av maskiner; i en gruva med schakt sätter schaktets dimensioner och övrig logistik gränser för uppskalningen över tiden. Schaktet blir den trånga sektionen som hindrar rationaliseringar, teknisk utveckling och produktivitet-utveckling.

En översikt av gruvverksamhet i Finland visar att inget schakt byggts sedan mitten av 70-talet (Hitura-gruvan). I Sverige fördjupade Zinkgruvan ett schakt i mitten av 80-talet. Runt om i världen pågår det dock schaktsänkningar; vanligtvis pågår ett 10-tal projekt parallellt. Rampdrivning är frekvent förekommande.

3.2 Hantering av radioaktivt avfall

SKB har ett gott internationellt samarbete med organisationer i en rad länder och har genom sina kontakter och med kompletterande sökning på Internet erhållit bra informationer i frågan om schakt eller ramp. En preliminär översikt av lösningar i andra länder framgår ur tabell 3-1.

I det följande diskuterar vi närmare arbetet inom organisationer involverade i hantering av radioaktivt avfall.

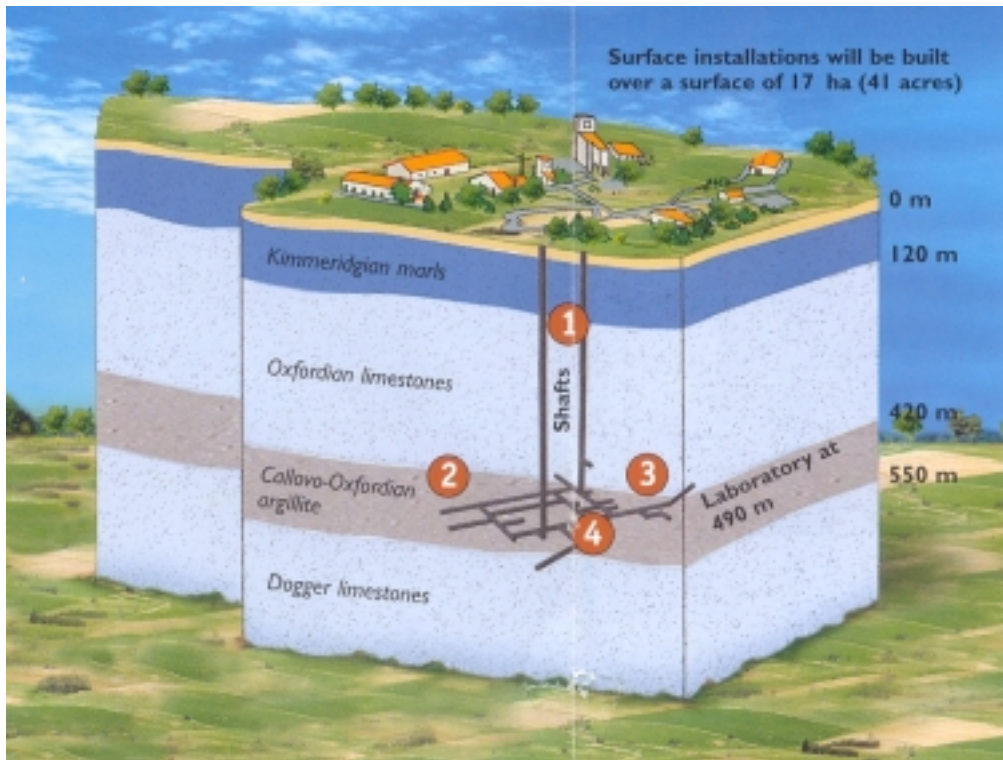
3.2.1 Finland

Posiva har under våren 2002 utvärderat om schakt eller ramp är den lämpligaste tillträdesvägen för den underjordiska anläggningen ONKALO. Faktorer som användes vid jämförelsen framgår ur rapporten /Posiva, 2000/. Schaktalternativet innehöll ett skipschakt (friktionsspel) för berg dimensionerat för vikten 25 ton, som senare också kan användas för transport av återfyllningsmassor. I schaktlösningen antogs också ett kombinerat person- och ventilationsschakt. Alternativ lösning var en ramp med lutningen 1:10, så att om man så önskar, senare kan använda rampen för transporter av kapseln. Motiven för att välja rampen som första tillträdesväg är att en ramp förenklar transportlogistik, ökar antalet möjliga lösningar för framtida transporter av kapsel till förvaret och att förvarskonceptet kan förändras utan svårigheter (t ex övergång till horisontell deponering, KBS-3H). Rampen ger också bättre förutsättningar för att skapa en lärande process under byggtiden, både när det gäller att förstå platsens geologiska förutsättningar, men även för att integrera undersökningar och tunneldrivning.

Posiva avser ta beslut om transport av kapsel i schakt eller ramp mycket senare i programmet och valet är också knutet till om inkapslingsanläggningen samlokaliseras med nuvarande mellanlager för bränsle eller inte. Posivas referensalternativ är att transportera kapseln i schakt utan strålskydd och med en stötdämparanordning i schaktbotten. Om – mot all förmodan – kapseln skulle falla fritt i schaktet bromsar anordningen upp kapseln utan att kapseln skadas. Genom att kapseln tidvis transporteras utan strålskydd måste man nogsamt skilja på radiologiska och icke-radiologiska sektorer i förvaret, vilket har konsekvenser för utformning av ventilationssystem.

3.2.2 Frankrike

ANDRA anlägger för närvarande det första av ursprungligen tre planerade underjordiska berglaboratorier, figur 3-1, där schakt byggs. Valet styrdes av att schakt, av geologiska och byggnadstekniska skäl, var det enda alternativet vid två av tre alternativa platser och man önskade ha samma utformning på alla tre platserna. Parallellt med utbyggnaden, se www.andra.fr, så planerar ANDRA för hur förvar för långlivat avfall ska byggas, och man avser att välja schakt eller ramp under år 2002. Vid jämförelsen bedöms bland annat driftsäkerhet, erfarenheter från andra anläggningar, enkelhet i drift, transportkrav, underhåll, kostnader för byggande och drift, byggaspekter, markbehov och behov av underjordsutrymmen och långsiktig säkerhet.



Figur 3-1. Skiss av det underjordiska laboratorium som ANDRA för närvarande anlägger vid Bure.

ANDRA har genomfört systematiska riskanalyser för att bedöma risk och konsekvens av följande händelser: a) transportbehållare eller hisskorg faller fritt i schaktet, b) okontrollerat fall utan linbrott, c) kollision mellan hisskorg och annan komponent i schaktet, d) risken att annan last faller på korgen i schaktet. Samtliga sannolikheter för händelser bedöms preliminärt vara i storleksordningen 10^{-6} – 10^{-5} per år. Sannolikheten för fall är mycket låg, men eftersom ett fall får stora konsekvenser, förses schakt med stötdämpare i botten. En stötdämparlösning som studeras, är att placera in en några meter hög aluminiumstruktur i schaktbotten. Principlösningen används för övrigt i nospartiet på de franska höghastighetsloken TGV. Om retardationen är mindre än 3 000 g (där $g = 9,8 \text{ m/s}^2$) beräknas transportbehållaren klara sig, men innehållet är troligtvis skadat. ANDRA planerar att göra framtida fullskaletester för att testa stötdämparnas funktion. ANDRA utreder också rampalternativ. Här studeras främst ett hjulburet, förarlöst system med optisk styrning i rampen.

3.2.3 Storbritannien

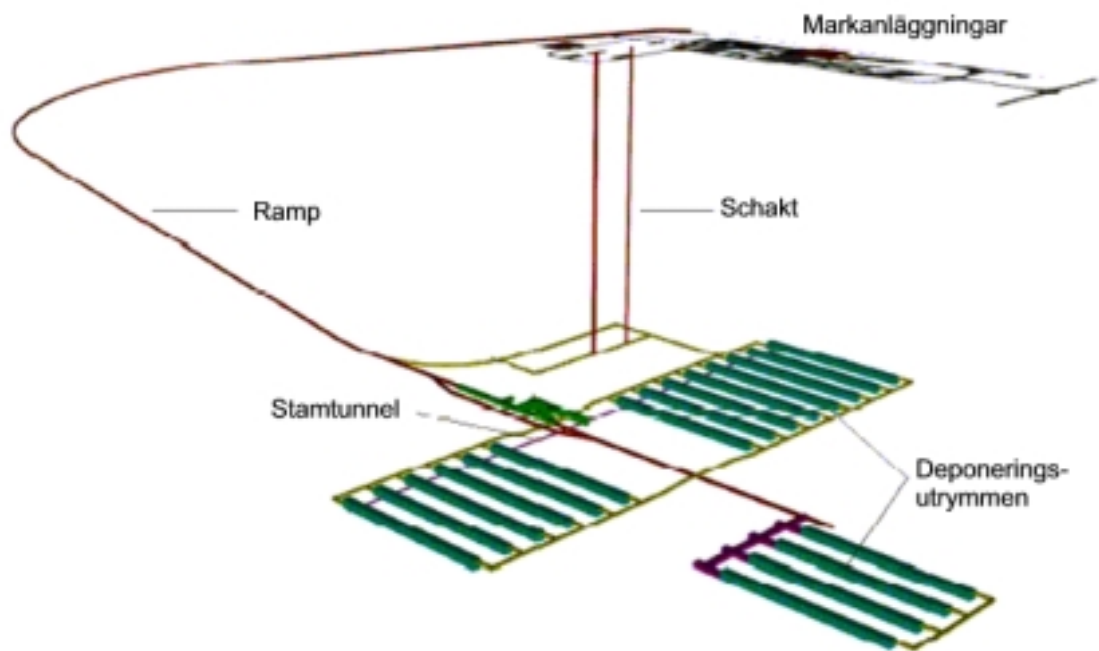
I början av 1990-talet undersökte UK Nirex möjligheten att ansluta sitt förvar för långlivat medelaktivt upparbetningsavfall till upparbetningsanläggningen i Sellafield via fullborrade tunnlar /Nirex, 2001/. Anslutning ner mot djupet, närmare 900 meter, skulle sedan ske med en kombination av schakt och ramper.

Vid rampdrivning mot djupet förutsatte man en TBM-drivning i lutning 1:6,5 med liten lutning i kurvor (200 meter horisontell radie). Tunneldiametern var planerad till åtta meter med plats för dubbeltrafik, transportband för bergtransport, ventilation med mera. Transport av avfall skulle antingen ske med dubbelspårig kuggstångsjärnväg eller med gummihjulsförsedda transportfordon. I båda fallen antogs eldrift. Man antog att det även behövdes ett separat ventilationsschakt. I tunnelalternativet skulle man också slippa det höga och i det flacka landskapet störande hisstornet.

I det fortsatta arbetet utvecklade sedan Nirex önskemålet att först anlägga ett laboratorium, *Underground Rock Characterisation Facility (URCF)* för att undersöka platsens förutsättningar. Man utformade anläggningen med ett schakt. Hisstornet var för övrigt senare en av anledningarna att en domstol senare avslog Nirex's ansökan om lokalisering av URCF. Noggranna studier genomfördes för val av schaktsänkingsmetod och Nirex valde traditionell bormning och sprängning istället för att fullborra schaktet uppifrån. UK Nirex studerade också ramp som ett alternativ.

UK Nirex valde schakt med hänvisning till mindre risker för den långsiktiga säkerheten; rampen korsar fler sprickzoner än schaktet, och man skulle därmed riskera fler snabba transportvägar för nuklider efter förslutning. Den tänkta utformningen för URCF blev två schakt med diametern fem meter, ett för bergtransporter med mera och ett för ventilation. Djupet var omkring 900 meter för schakten. URCF-projektet är nu vilande.

Nirex referensutformning av slutförvar blev en kombination av schakt och ramper, se figur 3-2. Schaktet för berg- och persontransporter hade diametern åtta meter och ventilationsschaktet diametern fem meter. Ett alternativ som undersöktes i driftsäkerhetsrapporten var en ren schaktlösning. Nirex bedömde det dock vara svårare att vidta åtgärder i ett schakt än i en ramp vid tappade avfallspaket. Dosen skulle därmed bli högre, eftersom det skulle ta längre tid att göra åtgärder i schaktet. Schaktalternativet förutsatte därför behov av åtgärder i schaktet (stötdämpare), så att avfallspaket inte skadas vid fall. Nirex menade också att arbetarskyddet är sämre vid underhåll av schakt än underhåll av ramp. Planer både för URCF och slutförvar är för närvarande mycket osäkra på grund av den övergripande beslutssituationen i Storbritannien.



Figur 3-2. Utformning av förvar för långlivat upparbetningsavfall. Bearbetad bild från /Nirex, 2001/.

3.2.4 Sverige

SKB driver ett flertal undermarksanläggningar. CLAB har av naturliga skäl, med hänsyn till det ringa djupet, en tillfartsramp. Av logistiska skäl transporteras bränsleelementen via ett schakt till de underjordiska bassängerna. Hisspelet är en traditionell friktionshiss.

SFR byggdes med två parallella ramper, eftersom förvaret ligger under havet och inte medger schakt till ytan. Dubbeltunneln valdes också för att i framtiden kunna bygga ut anläggningen ostört samtidigt som man kan fortsätta deponering. Vidare finns det behov av att en undermarksanläggning har separata utrymningsvägar.

Äspölaboratoriet byggdes med en ramp istället för schakt av flera skäl. Man ansåg att rampen var mer flexibel, att man lärde sig mera om att göra och tolka detaljundersökningar och att samordna bygge och undersökningar med en ramplösning. Bedömningen att rampen var mer flexibel än ett schakt verifierades oförmodat relativt omgående. Oskarshamns kommun ansåg att det skulle ha varit ett för stort ingrepp att anordna en stor byggplats på ön och den föreslagna anslutningsvägen ansågs mindre lämplig för berg och tunga transporter. SKB valde att flytta tunnelmynningen från Äspö till Simpevarp och ansluta till Äspö via en kombination av rak ramp och spiralramp. Om SKB valt ett schaktalternativ, hade inte SKB fått tillstånd att bygga på Äspö.

3.2.5 Tyskland

I Tyskland planerar man att slutförvara högaktivt avfall och kärnbränsle i en saltformation vid Gorleben på djup mellan 840 och 1200 meter. Två schakt är redan drivna till djupen 840 respektive 933 meter och detaljerade undersökningar pågår. På grund av den sedimentära överytan och de avsevärda djupen har endast schaktalternativ varit aktuella. Spelet som utprovats, men ännu inte installerats vid Gorleben är exceptionellt, eftersom det klarar upp till 85 ton nyttig last. Figur 3-3 visar bilder från Gorleben.

3.2.6 USA

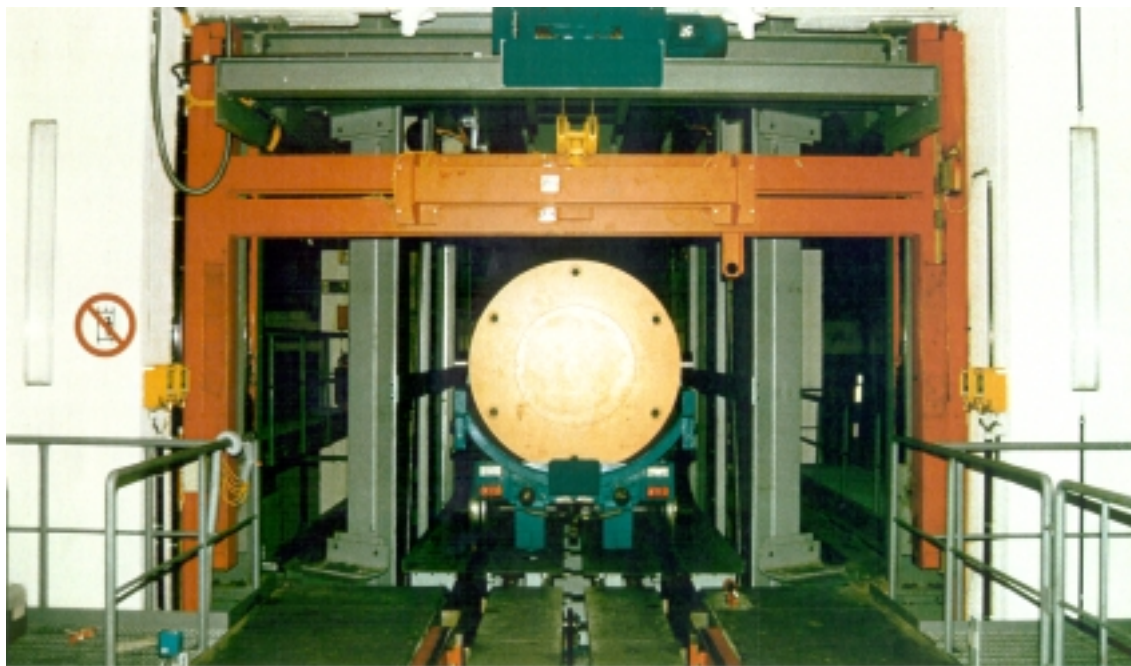
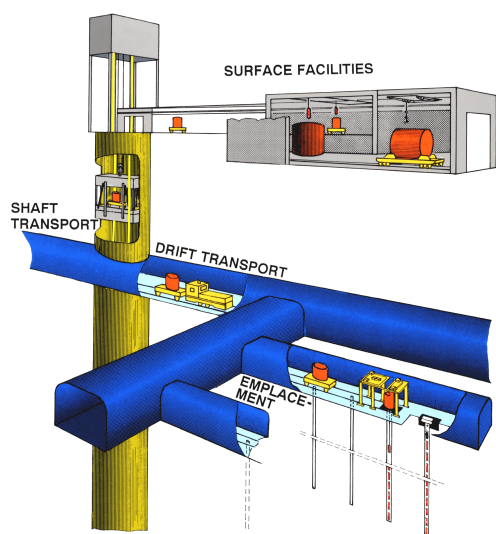
Centralt slutförvar för använt kärnbränsle – Yucca Mountain

Det eventuella centrala slutförvaret för använt kärnbränsle, Yucca Mountain Project planerades ursprungligen med ett undersökningsschakt som skulle drivas från en bergshöjden Yucca Mountain. Förvaret ligger cirka 300 meter under krönet av bergsryggen, men 300 meter över den regionala grundvattennivån. Synpunkter från bland annat United States Nuclear Waste Technical Review Board under ledning av Dr Don Deere /NWTRB, 1990/ ledde så småningom till att man från bergsidan istället anlade en svagt lutande ramp som byggdes som en fullborrad 7,6 meter diameter tunnel under tiden oktober 1994 till april 1997. Hela tunnellängden är omkring åtta kilometer, se vidare figur 3-4.

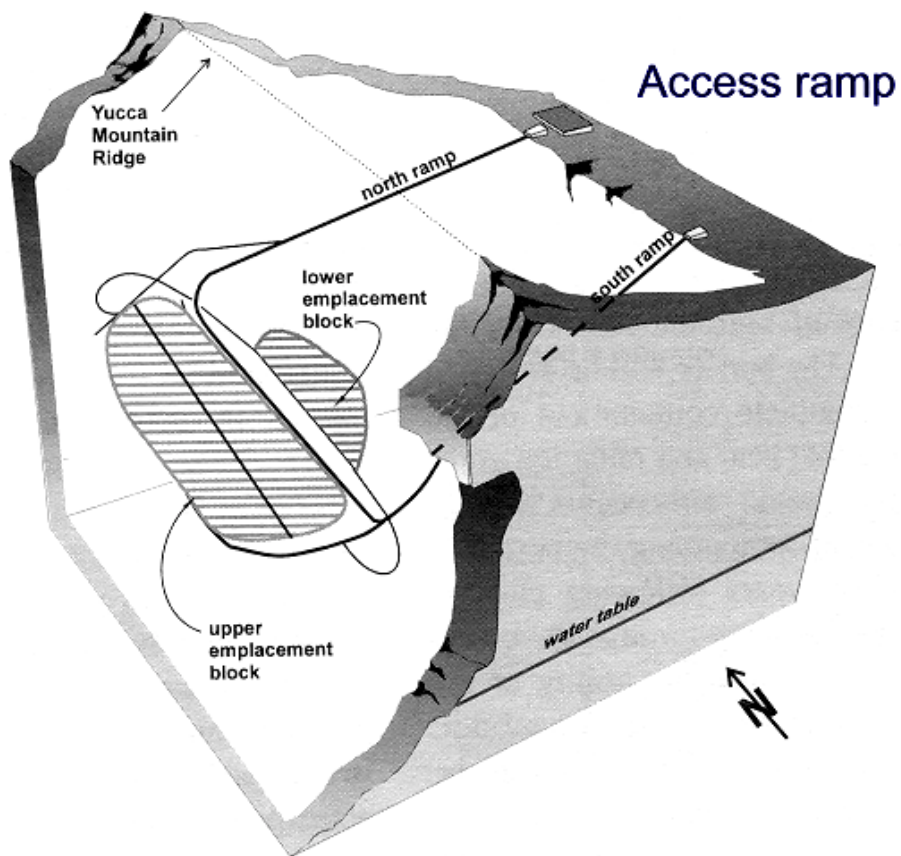
Slutförvar av transuraner – WIPP

I New Mexico är ett förvar för transuraner WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) utbyggt. En översiktlig utformning av förvaret framgår ur figur 3-5. Endast schaktlösning studerades för anläggningen, som ligger i en saltformation på omkring 650 meters djup. En beskrivning av schakten med tillhörande driftssäkerhetsanalys av förvaret återfinns i /DOE, 2001/.

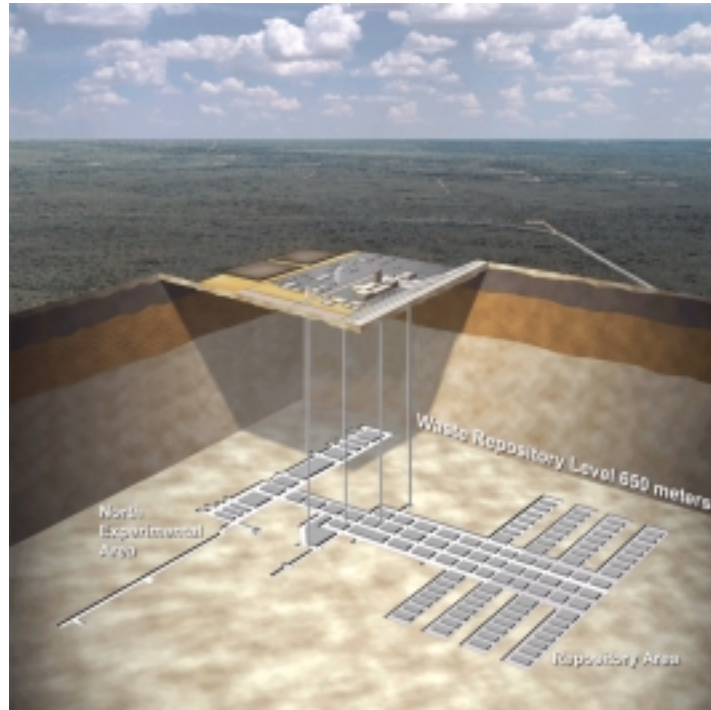
WIPP har fyra schakt, ett för avfallstransporter, ett för bergtransporter och två ventilationsschakt. Avfallsschaktet, schaktet för bergtransport och luftintagsschaktet har separata hissar. Avfallsschaktet används också för transporter av materiel och personal. Hissarna i avfallsschaktet och luftintagsschaktet är lingejdrade medan hissen i bergschaktet är trägejdrat. Friktionsspel används med hastigheten 2,5 m/s för avfallshissen. Schakten är betonginklädda ner till början av saltformationen (-259 meter).



Figur 3-3. Övre vänstra bilden: Översikt av transportlogistik för Gorleben. Över högra bilden: Bild från schaktsänkningen med gripklo för lastning av berg. Nedre bilden: Test av hissutrustning. Transportbehållare rullas in i hisskorgen. Bilder från DBE Engineering.



Figur 3-4. Skiss av ramper (North Ramp, South Ramp) vid det planerade förvaret i Yucca Mountain, USA. TBM-maskinen började borra i den norra rampen och kom sedan ut i den södra rampen.



Figur 3-5. Skiss av förvarsanläggningen WIPP, USA. Förvaret är byggt i en saltdom, överlagrat av sedimentära formationer.

3.3 Sammanfattande bedömning

I gruvbranschen är det i första hand ekonomiska faktorer som styr val av schakt eller ramp. Schaktlösningar för förvar finns vid WIPP och Gorleben, i första hand på grund av de geologiska förutsättningarna och de stora djupen på anläggningarna. Lösningen med ramp vid Yucca Mountain och med ramp vid SFR är också betingade av de lokala geologiska förutsättningarna och det relativt ringa djupet på anläggningarna.

Transport av kapsel i schakt är en mycket tung transport och det finns få referensanläggningar där nyttig last är över 40 ton. Systemet vid Gorleben i Tyskland är unikt med en nyttolast upp till 85 ton. Systemet är testat, men ännu inte installerat.

Tabell 3-1. Översikt av lösningar i Sverige och andra länder.

Land	Organisation	Schakt eller ramp?	Motiv för val	Styrande frågor för val
Finland	Posiva	Beslut om ramp för ONKALO togs i maj 2002. Val av transport av kapsel i schakt eller ramp tas senare, vikt på kapsel är 25 ton utan strålskydd.	Flexibilitet. Detaljundersökningar sker i samband med drivning av rampen. Känd teknik i Finland.	Transportlogistik. Förutsättningar för undersökningar. ONKALO som en del i förvaret. Störning av geologisk miljö. Kostnader. Tidsplaner.
Frankrike	ANDRA	Schakt valt för ett underjordiskt laboratorium vid Bure. Avfallspaket i schakt för "B-waste". Transporterad vikt 100–120 ton. Friktionsspel med motvikt.	För de andra undersökta platserna är endast schakt möjligt alternativ; övre delen av bergrunden är sedimentär och kraftigt vattenförande, vilket skulle medföra byggnadsproblem för en ramp. Vidare önskas samma utformning på alla kandidatplatserna.	Tio faktorer används vid bedömningen, se avsnitt 3.2.2.
Storbritannien	Nirex	Två schakt (URCF). Vid senare utbyggnad till förvar, 65–80 ton friktionsspel. Avfallstransport i ramp med tåg på kuggstång.	Ramp skär fler zoner, som kan vara negativt ur förvarssynpunkt.	URCF: Långsiktig säkerhet. Kortast anläggningstid.
Sverige	SKB	Preliminärt val under 2003 och slutligt under 2004. Vid val av schakt, blockat dubbeltrummespel som klarar 85 ton nyttig last, totalt omkring 143 ton.		Flertal, som anges i /SKB, 2001a/, t ex långsiktig säkerhet, driftssäkerhet, omgivningspåverkan.
Tyskland	DBE	Schakt. 85 ton nyttig last, friktionsspel med motvikt.	Endast schakt studerades. Sedimentär överyta, som kräver lining. Stora djup 840–1 200 meter.	
USA	US DOE	Yucca Mountain Project. Fullborrad ramp. WIPP. Schakt. 45 ton nyttig last, friktionsspel med motvikt.	Topografin (släntsida) och undersökningar av zoner. Endast schakt undersöktes. Sedimentär överyta som kräver lining.	

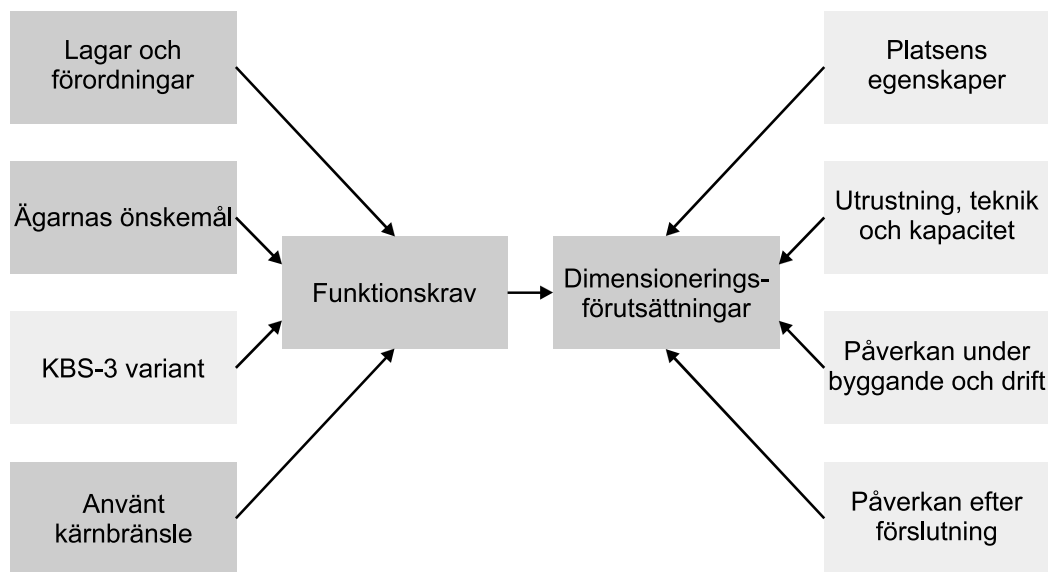
4 Förutsättningar för jämförelse av alternativa utformningar

Vid jämförelse av alternativ ingår ett antal förutsättningar, som här redovisas samlat. Exempel på förutsättningar är de övergripande konstruktionsförutsättningarna /SKB, 2002a/, dimensionerande vikter, geometrier, transportarbete och -kapaciteter, hantering av platsspecifika förhållanden, förutsättningar för tidsplaner och kostnader med mera. Förutsättningar redovisas som de är kända nu (december 2002).

4.1 Överordnade förutsättningar

SKB har under 2002 redovisat de övergripande konstruktionsförutsättningarna /SKB, 2002a/ och läsaren hänvisas till denna rapport för information rörande de krav och förutsättningar som djupförvaret ska uppfylla.

Utgångspunkten för de övergripande konstruktionsförutsättningarna är samhällets krav på säkerhet och skydd av människor och miljö såsom de uttrycks i svensk lagstiftning med förordningar och internationella överenskommelser. Det använda bränslets egenskaper, teknisk genomförbarhet och krav på effektiv resursanvändning är andra faktorer som påverkar konstruktionsförutsättningarna, se också figur 4-1. Ågarnas krav är kortfattat att djupförvaret ska utformas så att det använda bränslet från det svenska kärnkraftsprogrammet kan hanteras och deponeras på ett säkert och effektivt sätt. Förutom att säkerhets- och miljökrav ska uppfyllas ska arbetet bedrivas kostnads- effektivt och flexibelt, med få störningar och möjligheter att anpassa lösningar till nya krav och förutsättningar. SKB:s avsikt är också att lokalisering, utbyggnad och drift ska genomföras stegvis och utvärderas inför varje nytt steg /SKB, 2001a/. Djupförvaret ska byggas, och deponering äga rum under en begränsad tidsperiod. Det förutsätts för närvarande att deponeringstunnlarna återfylls och successivt försluts samt att övriga delar av anläggningen utformas för öppethållande upp till 100 år. Då deponeringen är avslutad och djupförvaret godkänt och förslutet övertar staten ansvaret för anläggningen.



Figur 4-1. Övergripande konstruktionsförutsättningar (mörkt grått) och faktorer (ljus grått) som påverkar dem. Ur /SKB, 2002a/.

Det finns också funktionskrav och dimensioneringsförutsättningar som är av direkt relevans för denna studie, och dessa exempel på övergripande dimensioneringsförutsättningar återges nedan i tabell 4-1.

Tabell 4-1. Exempel på dimensioneringsförutsättningar av relevans för val av schakt eller ramp. Sammanställt utdrag ur /SKB, 2002a/.

Ämnesområde	Dimensioneringsförutsättning	Kommentar
Långsiktig säkerhet och strålskydd	<p>Utf Övr 1: Minimera påverkan på djupförvarets barriärer Placeringen av övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt samt hallar och bergsilo, i förhållande till deponeringstunnlar och deponeringshål ska vara sådan att bergrummen såväl under drift som efter återfyllning påverkar förvarsbergets barriärfunktioner i så liten mån som möjligt.</p> <p>Utf Övr 2: Förslutning Övriga bergrum, dvs ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo samt undersökningsborrhål ska förslutas på ett sådant sätt att förvarsbergets barriärfunktioner påverkas i så liten mån som möjligt.</p>	Berganläggningen ska utformas, byggas, drivas och förslutas med hänsyn till djupförvarets funktion att under mycket lång tid isolera det använda kärnbränslet och fördröja radionuklidtransport.
Bygge och drift	<p>Utf Övr 3: Rymma aktiviteter, funktioner, utrustning och installationer Ramp, tunnlar och schakt, samt hallar och bergsilo ska utformas med hänsyn till aktiviteter, funktioner, utrustning och installationer de ska rymma.</p>	Hänsyn ska tas till: <ul style="list-style-type: none"> • Utrustning som krävs för säker utbyggnad av djupförvaret. • Utrustning som krävs för säker drift av djupförvaret.
Ägarnas önskemål	<p>Utf Övr 4: Flexibilitet Vid beräkning av utrymmeskrav enligt Utf Övr 1 ska hänsyn tas till kända möjliga förändringar av</p>	

Ämnesområde	Dimensioneringsförutsättning	Kommentar
	<p>utrymme för deponering, transportbehov, installationer och system som krävs för byggande och drift.</p> <p>Utf Övr 5: Lutning på ramp och tunnlar Lutning på ramp och tunnlar ska vara tillräckligt stor för att inte komplicera omhändertagande av inläckande vatten men inte större än att transporter kan genomföras på ett säkert och effektivt sätt.</p> <p>Utf Övr 6: Kurvradier på ramp och tunnlar Kurvradier på ramp och tunnlar ska vara tillräckligt stora med hänsyn till de fordon som ska användas i dem.</p> <p>Utför Övr 1: Teknisk livslängd Djupförvarets övriga bergtrum dvs, ramp, tunnlar och schakt, hallar och bergsilo ska kunna hållas öppna i den tid som krävs för att deponera allt använt kärnbränsle som ingår i det svenska kärnkraftsprogrammet.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Tänkbara olyckor under bygge. ● Tänkbara olyckor under drift. ● Utrustning som krävs för att minimera sannolikhet att olyckor under drift ska inträffa och för att begränsa deras konsekvenser. ● Tänkbara alternativa utrustningar för bygge och drift. ● Eventuellt utökade områden för deponering av använt kärnbränsle. ● Eventuell samlokalisering med slutförvaret för långlivat låg- och medelaktivt avfall. ● Eventuell längre drifttid än den idag planerade. <p>Bygge, drift och undersökningar av berget ska kunna pågå parallellt.</p> <p>Verksamheten ska drivas enligt tidsplan och till rimliga kostnader.</p> <p>En kapsel per arbetsdag (200 kapslar om året) ska kunna deponeras i djupförvaret.</p>
Miljö	<p>Utf Övr 9: Ej stora grannar Förbindelser med markytan ska med hänsyn till de aktiviteter och installationer de avser att rymma placeras in och utformas så att grannar störs i minsta möjliga mån.</p> <p>Utf Berg 6: Grundvattenyta och ekosystem Sänkning av grundvattentytan (grundvatten-trycket) under byggande och drift av berganläggningen får inte leda till oacceptabla konsekvenser för ekosystem och vattenförsörjning på platsen.</p> <p>Utf Berg 25: Små ingrepp i miljön Bygge och drift av berganläggningen ska innebära så små ingrepp i den fysiska miljön som möjligt.</p> <p>Utf Berg 26: Hänsyn till ekosystem Ekosystem och markanvändning ska inventeras och inplacering av berganläggningen – såväl ovan- som underjordsanläggningar – ska göras med hänsyn till olägenhet för närboende, ekologiskt skyddsvärda miljöer samt inverkan på markanvändning.</p>	<p>Berganläggningen ska utformas med hänsyn till kringboende och markanvändning i förvarets omgivning.</p> <p>Ingreppen i miljön ska vara så små som möjligt med hänsyn till vad som krävs för att erhålla ett gott strålskydd.</p>
Internationella överenskommelser	<p>Utf Övr 10: Ej tillåta utförsel av kapslar Förbindelser mellan deponeringsområden och markytan ska antingen kunna övervakas eller ej tillåta transport av kapslar med använt kärnbränsle.</p>	<p>Djupförvaret ska förhindra olovlig befattning med kärnämne.</p> <p>Det ska vara möjligt att verifiera och kontrollera att allt använt kärnbränsle deponeras i djupförvaret.</p>

4.2 Dimensionerande vikter, geometrier

Referensutförning av kapseln leder till dimensionerande storlek och geometri för fordon och hanteringsutrustning, se vidare /SKB, 2002b/. Kapselns vikt med transportbehållare och transportvagn är 85 ton. Den fria arean i ett schakt för tunga transporter ska vara tillräcklig, så att hisskorgen rymmer en 20 fots standardcontainer för att medge transport av större utrustningar. Schakt för transport av berg och återfyllningsmassor ska utformas med tillräcklig area för att transportera 15 ton bergmassor för att klara logistiken. Hissar för persontransporter ska rymma åtminstone 20 personer.

Rampens tvärsnitt bestäms bland annat av storleken på tunga transportfordon. Höjden på tunneln har valts så att en lastbil med påbyggnad med maximal höjd enligt nuvarande EU-regler kan trafikera tunneln, vilket kräver en fri höjd på minimum 4,2 meter. Om eldrift väljs för de tunga fordonen krävs ytterligare fri höjd till strömskena. Bredden har valts så att två lastbilar kan mötas obehindrat i rampen.

4.3 Transportarbetet

Utbyggnaden och driften av djupförvaret planeras ske stegvis, se figur 1-2. Inom ramen för denna studie har transportarbetet sammanställs för tre perioder. Den första perioden – den mest intensiva – är tiden från det att schakt eller ramp är nere på deponeringsnivån fram till dess att deponering påbörjas. Den andra perioden är inledande drift och den tredje perioden den reguljära driften.

Den första perioden omfattar anläggande av driftområdet ovan jord med installationer för försörjning, serviceverkstäder, parkeringsplatser, personalutrymmen och schaktanläggningar. Skedet innefattar även tunneldrivning för centralområdet under jord, större delen av deponeringsområde för inledande drift och drivning av undersöknings- och transporttunnlar. Logistiskt styrande parametrar är huvudsakligen volymer avseende bergguttag, drivnings- och transportkapaciteter i ramp och schakt. Vid installationsarbeten tillkommer större enstaka transporter av prefabricerade konstruktioner för schakt, ventilation och VA, samt av el-komponenter som transformatorer och ställverk. Detta skede kommer att vara det mest logistiskt resurskrävande. Det sätt på vilket arbetet genomförs har bland annat betydande inverkan på tidsplanen.

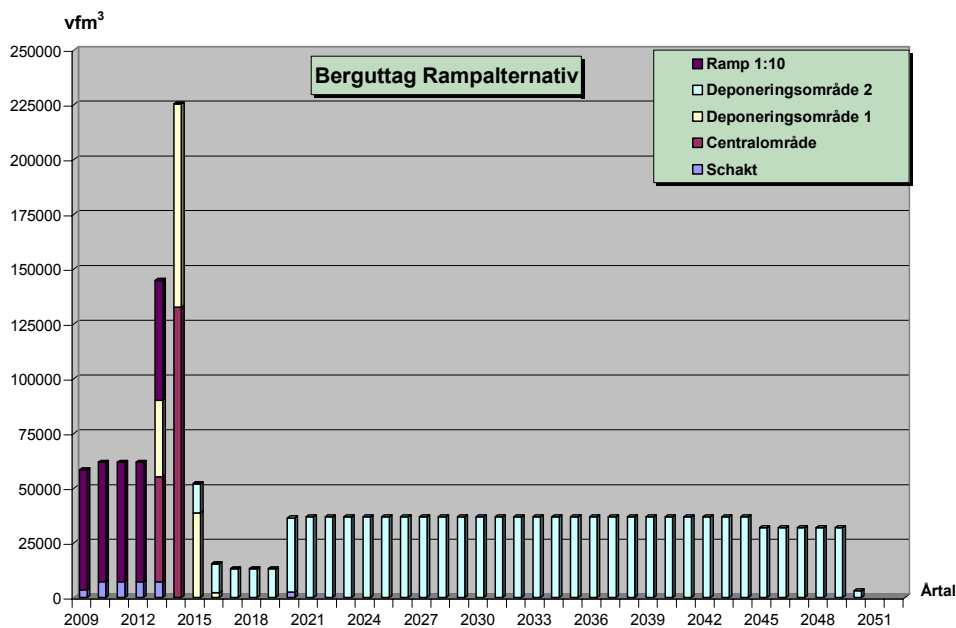
Under den inledande driften färdigställs aktuellt deponeringsområde med borring av deponeringshål, deponering av ett begränsat antal kapslar och återfyllning av deponeringstunnlar. Transporterade volymer är mindre resurskrävande än i den första perioden, eftersom infrastrukturen för djupförvaret är etablerad. Dimensionerande logistiska parametrar utgörs av massor från tunneldrivning och borring, deponering av en kapsel per dag, samt massor för återfyllning och pluggning av deponeringstunnlar.

Reguljär drift omfattar fortsatt utbyggnad av stamtunnlar och deponeringstunnlar, borring av deponeringshål, deponering av kapslar, inplacering av buffert samt återfyllning och pluggning av deponeringstunnlar. Stamtunnel är en centralt anlagd tunnel i varje deponeringsområde, varifrån deponeringstunnlar anläggs. Transporterade volymer är större än under inledande drift eftersom deponeringstakten är högre.

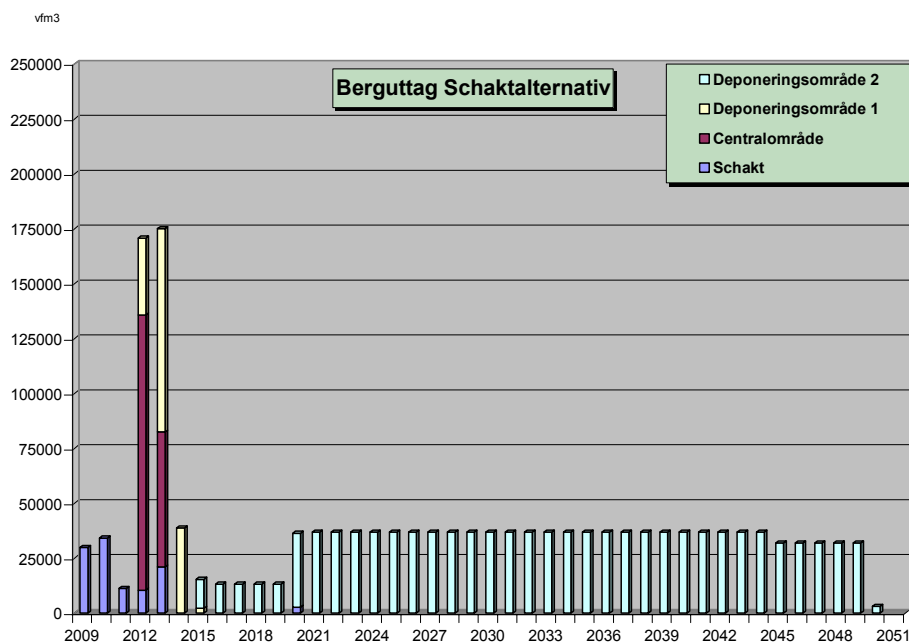
Dimensionerande logistiska parametrar utgörs av transporter av bergmassor, transportbehållare med kapslar, buffert och återfyllningsmassor.

Oberoende av alternativ för tillträde till djupförvaret kommer de omfattande transporterna att utgöras av utbrutna bergmassor, buffert- och återfyllningsmaterial, transportbehållare med kapslar och fyllnadsmaterial för körbanor i tunnelsystemet. Betydande transporter är också installationer, utrustningar, förbrukningsmaterial och personal.

Figur 4-2 visar den årliga bergproduktionen vid rampalternativ /SKB, 2001b, 2002b/. Det totala berguttaget är preliminärt 1,8 millioner ”verkligt fasta kubikmeter” (vfm^3) – som avser mängd enligt ritning, med tillägg för berg utanför teoretisk sektion – varav rampen är 274 000 vfm^3 . Figur 4-3 visar motsvarande bergproduktion vid ett schaktalternativ /SKB, 2002c/. Det totala berguttaget är 1,6 millioner vfm^3 , varav schakten är 109 000 vfm^3 . Rampalternativet ökar mängden berg- och återfyllningsmaterial med cirka 12 %. Som framgår ur figuren, är det omkring 50 000 m^3 skillnad i maximal bergproduktion ett enskilt år och det är en platspecifik fråga att utreda om den större kapaciteten medför ökad störning för närboende.



Figur 4-2. Översikt av berguttag vid rampalternativ. Uttaget bygger på förutsättningen att kapslar deponeras år 2015. Massor är i verkligt fasta kubikmeter (vfm^3).



Figur 4-3. Översikt av berguttag vid schaktalternativ. Uttaget bygger på förut-sättningen att kapslar deponeras år 2015. Massor är i verkligt fasta kubikmeter (vfm³).

Förutom upptransport av berg, sker många andra typer av transporter och en preliminär uppskattning av transportarbetet återfinns i tabell 4-2. Här antas att ett skift är åtta timmar. Återfyllning sker i kampanjer och nödvändig kapacitet kan inte anges nu. Förutom de indikerade transporterna sker ett antal tunga, skrymmande transporter av installationer och utrustningar. Närmare ett femtiotal fordon och tyngre utrustningar, som deponeringsmaskiner, bergborrningsaggregat, kärnborrningsmaskiner beräknas finnas under jord.

Tabell 4-2. Översikt av transporterade mängder i olika skeden. Ett skift räknas som 8 timmar.

Transporterad mängd/tidsenhet	Skede		
	Förberedelser för inledande drift	Inledande drift	Reguljär drift
Personal, besökare (antal/skift)	100–120	50–75	75–100
Berg (vfm ³ /skift)	440	50	90
Buffertmaterial (ton/dygn)	–	23	23
Kapslar (antal/dygn)	–	1	1
Återfyllningsmaterial (vfm ³ /skift)	–	180	180
Servicetransporter (m ³ /skift)	> 45	> 20	> 20

4.4 Beräknade transportkapaciteter

Logistik för tunga transporter i ramp är utredd och det visar sig att rampens kapacitet är tillräcklig; rampen tillåter dessutom mötande trafik, vilket ytterligare ökar kapaciteten. För att garantera god tillgänglighet innehåller rampalternativen också två personhissar som vardera rymmer 20 personer.

Vid beräkning av kapacitet i schaktalternativet utgås ifrån att det behövs en hiss för tunga transporter. Hissen för upptransport av berg används även för nertransport av återfyllningsmaterial och kan även användas för persontransport och servicetransporter under byggtiden. I alternativet ingår också två separata personhissar. Cykeltider för olika hissar och olika typer av transporter framgår ur tabell 4-3. För en realistisk bedömning av verklig kapacitet, behöver transportflödet simuleras stokastiskt, men det har inte bedömts vara nödvändigt att genomföra simuleringen i detta tidiga projekteringskede. En sådan simulering ska också innefatta logistik för arbeten i deponeringsområden, så att man kan bedöma att tillträdesvägarna från markytan är effektivt utformade.

Tabell 4-3. Beskrivning av transporttider för olika typer av hissar och material.

Driftschakt (Tunga transporter)	Skipschakt (Servicetransporter)	Personschakt
Dimensionerande förutsättningar	Dimensionerande förutsättningar	Dimensionerande förutsättningar
Hisshastighet 2,00 m/s	Hisshastighet 10,00 m/s	Hisshastighet 5,00 m/s
Schaktdjup 500 m	Schaktdjup 500 m	Schaktdjup 500 m
Lastvolym 90 m ³ (6,5 x 3 x 4,5)	Lastvolym 8 m ³ 4,7 (vfm ³)	Lastvolym 7 m ³ (2,2 x 1,5 x 2,1)
Lastvikt (max) 85 ton	Lastvikt (max) 15 ton	Lastvikt (max) 3 ton
		Antal personer 20 st (2 plan)
Kapseltransport	Bergtransport	Persontransport
Lastning 30,00 min	Lastning 0,13 min	Lastning 3,00 min
Acceleration 0,10 min (20 m)	Acceleration 0,10 min (20 m)	Acceleration 0,10 min (20 m)
Nedtransport 4,17 min	Nedtransport 0,83 min	Nedtransport 1,67 min
Retardation 0,25 min (30 m)	Retardation 0,25 min (30 m)	Retardation 0,25 min (30 m)
Lossning 30,00 min	Lossning 0,13 min	Lossning 1,00 min
Återfärd 4,52 min (inkl acc & ret)	Återfärd 1,18 min (inkl acc & ret)	Återfärd 2,02 min (inkl acc & ret)
Summa 1,15 h/cykel	Summa 2,62 min/cykel	Summa 8,03 min/cykel
Cyklar/tim 0,87 st	Cyklar/tim 22,93 st	Cyklar/tim 7,47 st
kapslar/cykel 1 st	ton/cykel 15 ton	Antal personer 20 st/cykel
Kapacitet 0,87 kapslar/h	Kapacitet 344 ton/h	Kapacitet 149 pers/h
	183 m ³ /h	
	108 vfm ³ /h	
Buffertmtrl (bentonitringar)	Återfyllnad (bergkross & bentonit)	
Lastning 20,00 min	Lastning 10,00 min	
Acceleration 0,10 min (20 m)	Acceleration 0,10 min (20 m)	
Nedtransport 4,17 min	Nedtransport 0,83 min	
Retardation 0,25 min (30 m)	Retardation 0,25 min (30 m)	
Lossning 20,00 min	Lossning 10,00 min	
Återfärd 4,52 min (inkl acc & ret)	Återfärd 1,18 min (inkl acc & ret)	
Summa 0,82 h/cykel	Summa 0,37 h/cykel	
Cyklar/tim 1,22 st	Cyklar/tim 2,68 st	
ringar/cykel 6 st	cont/cykel 1 st	
Kapacitet 7,34 buffertringar/h	Kapacitet 2,68 container/h	
Övr transport	Övr transport (betong, makadam)	
Lastning 15,00 min	Lastning 10,00 min	
Acceleration 0,10 min (20 m)	Acceleration 0,10 min (20 m)	
Nedtransport 4,17 min	Nedtransport 0,83 min	
Retardation 0,25 min (30 m)	Retardation 0,25 min (30 m)	
Lossning 15,00 min	Lossning 10,00 min	
Återfärd 4,52 min (inkl acc & ret)	Återfärd 1,18 min (inkl acc & ret)	
Summa 0,65 h/cykel	Summa 0,37 h/cykel	
Cyklar/tim 1,54 trnsp/h	Cyklar/tim 2,68 trnsp/h	

Med hänsyn till löpande kontroller av schakt och spel, förebyggande underhåll med mera antas att kapaciteten på hissarna är tillräcklig om utnyttjningsgraden är omkring 70 % över dygnet.

4.5 Platsspecifika förutsättningar

Denna studie tar inte hänsyn till platsspecifika förutsättningar och restriktioner. Det slutliga valet av schakt eller ramp tar hänsyn till skyddsobjekt, planfrågor, sakägare och utformningen anpassas för låg omgivningspåverkan.

Olika platser kan ha olika förutsättningar för att genomföra byggnadsarbeten. En fråga av betydelse är åtgärder för att begränsa inläckande vatten till anläggningen. Omfattning av injektering har betydelse för mängd främmande ämnen som förs in i berggrunden, men också för uppskattning av tidsåtgång och kostnad. I denna studie används två alternativa förutsättningar för omfattning av tätning av berg med injektering, se tabell 4-4. Det ena alternativet är att ingen tätning utförs, det andra att begränsade injekteringar görs.

Tabell 4-4. Förutsättning rörande tätningsinsatser. Två alternativ används vid upprättande av tidsplaner.

Djup under markytan (m)	Inget behov av injektering (% injekterad sträcka)		Rimligt behov av injektering (% injekterad sträcka)	
	Ramp	Schakt	Ramp	Schakt
< 100	0	0	60	100
> 100	0	0	20	20

4.6 Detaljundersökningar

SKB arbetar med att definiera innehållet av de undersökningar som genomförs i samband med att djupförvaret stegvis anläggs. Oavsett ramp- eller schaktlösning antas att de geologiska platsundersökningarna kompletteras under genomförande av anläggningsarbeten.

För undersökningar av centralområdet antas att man kan genomföra kompletterande undersökningar för centralområdet från markytan (eller från nisch i rampalternativet) och att dessa undersökningar inte påverkar tidsplaner för att bygga tillträdesvägar till deponeringsområden.

Deponeringsområden undersöks framförallt från de stamtunnlar som byggs ut. Det förutsätts att några kärnborrhål borrar, mäts och utvärderas innan deponeringsområdet anläggs.

Vid rak ramp kan inte detaljundersökningar av deponeringsområdena från tunnlar påbörjas förrän rampen nått ned till deponeringsnivån. Vid spiralramp är det eventuellt möjligt att påbörja detaljundersökningar av deponeringsområden något tidigare, genom att undersöka från högre liggande nivåer under rampdrivningen. Vid ett rent schaktalternativ förutsätts det att inga undersökningsnischer och ingen mellannivå sprängs ut under schaktdrivningen. Detaljundersökningar av deponeringsområdet för inledande drift kan inledas först då delar av centralområdet och transporttunnel till deponeringsområdet är arrangerad. Vi förutsätter här att detaljundersökningar sker stegvis i samband med att nya deponeringsområden anläggs.

Vid tidsplanering förutsätts att undersökningarna i ramp genomförs i likhet med undersökningarna som genomfördes då Äspölaboratoriet byggdes, vilket innebär:

- Kartering av geologi och vatteninläckning efter varje sprängning.
- Dokumentation av bergmekaniska förhållanden efter sprängning.
- Sonderingsborrning med överlapp.

Den geologiska karteringen innebär att geologen disponerar tunnelfronten ostörd av andra aktiviteter under cirka en timme efter utlastningen av varje sprängsalva. Om berget är enhetligt och av god kvalitet kan det emellertid vara rationellt att flera salvor

i följd kan karteras vid samma tillfälle, förutsatt att geologen får tillfälle till en kort besiktning av berget omedelbart efter utlastning. Dokumentation av de bergmekaniska förhållandena innebär mätning av bergdeformationer och vibrationer, observation av eventuellt smällberg och annat stenedfall. Aktiviteten i sig själv innebär vanligen ett obetydligt intrång i bergdrivningen.

Överlappande sonderingsborrning utförs generellt under drivning av rampen. Syftet är att bestämma bergets vattengenomsläpplighet och eventuellt behov av tätning (injektering) samt att indikera svaghetszoner. Sonderingen görs vanligen med ett eller flera borrhål från tunnelfronten i var tredje eller fjärde salva.

Vid schaktsänkning är undersökningarna likartade, men kan alternativt utföras under ett ostört skift per dygn. Under det ostörda skiftet karteras berget. Oavsett det ostörda åtta-timmars-skiftet, karteras allt berg före eventuell betongförstärkning. De sond- och injekteringshål som ska testas är tillgängliga för tester under hela undersökningsskiftet.

4.7 Tidsplaner och kostnader

Deponeringsnivån för djupförvaret har i tidsplanerna antagits vara 500 meter under markytan. Om deponeringsnivån antas vara 700 meter i stället för 500 meter under markytan förlängs byggtiden med ytterligare 12 månader för schaktalternativet och 24 månader för rampalternativet med de förutsättningar som används.

4.7.1 Ramp

Den genomsnittliga lutningen på ramper har antagits vara 1:10, vilket ger en ramplängd om 5 000 meter. Arbetstiden för bergsprängningsarbete har förutsatts vara tvåskift, fem dagar i veckan, vilket ger en arbetstid på 72 tim/veckan. Bergundersökningar antas ta en timme efter varje salva. Det tredje skiftet är tillgängligt för förstärkningsarbeten med mera. Arbetstid per år beräknas vara 46 veckor = 10,5 månader. Injekteringsarbete under rampdrivning och schaktsänkning har redovisats separat i tidsplanerna. Behov av injektering framgår ur tabell 4-4. Här antas att en injektering tar tre skift. Följande framdrifter antas i ramp: 0 % injektering 120 m/mån, 20 % injektering 100 m/mån och fyra månaders extra byggnadstid för passage av två större svaghetszoner.

Framdriften för rak ramp, inklusive injektering förutsätts i genomsnitt vara 85 meter per arbetsmånad. Hiss- och ventilationsschakten tillreds så fort det är möjligt för att bland annat få alternativa utrymningsvägar. Hisschaktet tillreds genom vertikal fullortsborrning och utstrossning, medan ventilationsschakten tillreds med enbart vertikal fullortsborrning.

Framdriften för spiralramp, inklusive injektering förutsätts i genomsnitt vara 90 m per arbetsmånad. Hiss- och ventilationsschakten tillreds successivt vartefter spiralrampen sprängs ut. Hisschaktet tillreds genom vertikal fullortsborrning och utstrossning. Ventilationsschakten tillreds med enbart vertikal fullortsborrning (raise-boring).

4.7.2 Schakt

För schaktalternativet förutsätts – av tidsplaneskäl – att både skipschakt (för transport av bergmassor med mera) och driftschakt sänks samtidigt. Antagen sänkhastighet för skipschaktet exklusive injektering är 45 meter per arbetsmånad och 35 meter per arbetsmånad för driftschaktet. Vid injektering enligt tabell 4-4 förutsätts genomsnittliga framdriften till 40 meter respektive 30 meter per arbetsmånad. För schakt antas att varje injektering tar fyra skift.

4.7.3 Detaljundersökningar

Det antas att detaljundersökningar av centralområdet ej påverkar tidsplanen. Detaljundersökningar av området för inledande drift (inklusive utvärdering av byggskedet ner till deponeringsnivån) antas ta 12 månader och påbörjas efter det att rampen nått ned till 500 meter under markytan och efter det att lämpligt utrymme anordnats så att ostörd undersökningsborrning kan ske. Utsprängning av området för inledande drift påbörjas inte förrän den erforderliga detaljundersökningen har genomförts och utvärderats. I schaktalternativet antas att detaljundersökningar av området för inledande drift påbörjas 12 månader efter det att skipschakt och stamtunnel sprängts ut. I samtliga alternativ har antagits att det behövs resultat från ytterligare 18 månaders detaljundersökningar som underlag för att bekräfta platsens egenskaper. Dessa undersökningar är inte tidskritiska eftersom utsprängning av tunnlar och bergrum måste ske under denna period.

4.7.4 Tillstånd

Innan den inledande driften påbörjas, ansöks om drifttillstånd som bland annat förutsätter att de drifttekniska säkerhetsföreskrifterna är granskade och godkända av SKI. Här förutsätts att resultat från detaljundersökningarna verifierar platsundersökningen och att endast smärre justeringar sker av utformning och säkerhetsredovisning rörande den långsiktiga säkerheten. Underlag delges myndigheterna löpande för granskning och det antas att tillstånd för deponering erhålls tre månader efter sista redovisning av undersökningsresultaten. Ansökan om drift betraktas som ansökan om nukleär provdrift under det inledande skedet och det antas att den större granskningen sker i anslutning till ansökan om reguljär drift.

4.7.5 Kostnader

Det antas att de kostnadsberäkningar som ligger till grund för SKB:s årliga planrapport är basfall i kostnadsberäkningarna i denna studie. Vid beräkning av nuvärde antas realräntan vara 4 % fram till 2020 och 2,5 % för tiden därefter i enlighet med förutsättningar i SKB:s planrapport, /SKB, 2002d/.

5 Utformning av alternativ med teknisk beskrivning av genomförande, drift och förslutning

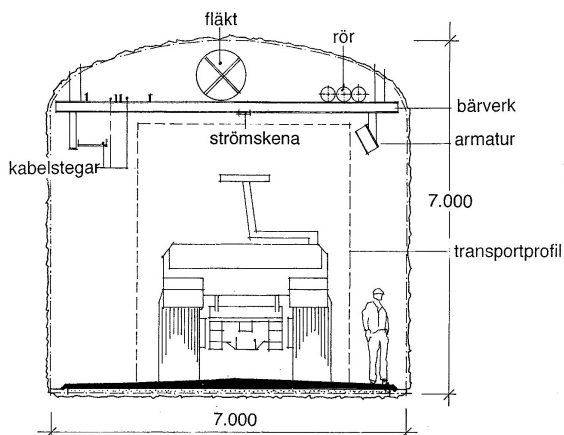
Rapportens kapitel 2 innehåller en översikt av möjliga alternativ. Närmare analys av alternativen leder till ett antal huvudalternativ och dessa beskrivs mer detaljerat i det följande. Läsaren hänvisas också till de anläggningsbeskrivningar för huvudalternativen som tidigare publicerats /SKB, 2001b, 2002b,c/. Förutsättningar för alternativen framgår ur det föregående kapitlet.

5.1 Utformning av ramp med dess installationer

Nedanstående beskrivning av utformningen följer anläggningsbeskrivningar, Layout E, för rak ramp och spiralramp – alternativ U2 och U3 i tabell 2-1 /SKB, 2001b, 2002c/. Rampen används för alla tunga och skrymmande transporter, men normalt inte för personaltransporter. Erforderligt tunneltvårsnitt bestäms av dimensionerande fordonsprofil och installationer i tunneln. I rampalternativen förutsätts också att det utöver rampen finns tillträde till undermarksanläggningen via hisschakt avsett för persontransporter. Det har antagits att hiss- och ventilationsschakten är identiska i alternativen, se vidare kapitel 5.2.

Alternativet rak ramp har två driftområden ovan mark medan spiralramps- och schaktalternativen har ett driftområde. Nackdelar med två driftområden är bland annat större intrång, dubblering av vissa försörjningssystem; driftorganisationen blir också etablerad på två platser, vilket leder till ökade driftskostnader.

Rampen har antagits ha en genomsnittlig lutning på 1:10 för att begränsa belastningen på motorer och bromsar på fordon med transportbehållaren och för att minska risken för slirning. Rampen förutsätts vara utrustad med strömskena för eldrift av tunga fordon. Höjden på tunneln har valts så att en lastbil med påbyggnad med maximal höjd enligt EU-regler kan trafikera tunneln, vilket kräver en fri höjd på minimum 4,20 meter. För strömskenan inklusive säkerhetsavstånd bedöms 0,50 meter vara tillräckligt. Detta innebär en minimihöjd mellan körbana och upphängningsbalk för strömskenan på cirka 5,00 meter. Alla fordon utom maskinen för deponering kan trafikera rampen utan problem. Överbyggnaden på maskinen för deponering behöver demonteras vid förflyttning i rampen. Bredden har valts så att två standardlastbilar kan mötas överallt. Tung transportfordon kan bara passera varandra på mötesplatserna. För att uppfylla ovanstående förutsättningar har rampen antagits vara sju meter bred och sju meter hög med tvärsnittsarean 47 m², se figur 5-1.



Figur 5-1. Bild som visar transportprofil och typiska installationer i en ramp. Efter /SKB, 2002b/.

Rampen förses med mötesplatser på ett avstånd av cirka 1 000 meter. Mötesplatserna har en längd av omkring 40 meter och en total bredd av 12 meter. För att underlätta bergutlastning vid utsprängning av rampen sprängs vändfickor ut med ungefär 250 meters mellanrum. Körbanan förses med betong alternativt asfalt för att minska risken för slirning. Förutom strömskena finns smärre installationer längs rampen som fläktar, rör, kabelstegar, belysning med mera.

Under tiden för utsprängning av ramp och centralområde anordnas ett provisoriskt ventilationssystem, som tas bort när luft kan tillföras via ventilationsschakten i centralområdet. Vid utsprängning av den raka rampen kan ytterligare ett ventilationschakt behövas efter ungefär halva sträckan, om den inte TBM-borras – dvs borras med en tunnelborrningsmaskin. Under driftskedet kommer rampen att fungera som frånluftkanal. Impulsfläktar monteras i rampens tak som kan användas för evakuering av frånluft och för eventuell brandventilation. I portalbyggnaden, ovanför rampens mynning, installeras frånluftfläktar för evakuering av frånluft.

Under utsprängningen av rampen installeras pumpar och pumpgropar, så att inläckande vatten och av borrhjulen förbrukat vatten kan pumpas upp. Vid driftskedet permanentas detta bergdränagesystem. Pumpgroparna placeras vid mötesplatserna. Ett provisoriskt system för att bland annat försörja borrhjulen med vatten behövs vid rampdrivningen. Under driftskedet förutses inget permanent behov av vatten i rampen.

Vid rampdrivningen installeras provisorisk elkraftsmatning för bergdrivningens behov. Under driftskedet behövs kraftförsörjning av belysning, pumpar, fläktar och andra mindre system. Om eldrift för transportfordon väljs, installeras dessutom en strömskena. Strömskenan hängs upp i balkar och matas sektionsvis via kablar och lokala transformatorer. Transformatorer placeras vid mötesplatserna. Kabelstegar placeras antingen längs tunnelns vägg eller bärs av balkarna för strömskenan. Rampen utnyttjas också som alternativ matningsväg för elkraft till undermarksanläggningen.

För att förhindra spridning av brand- och rökgaser sektioneras rampen genom att väggar med tillhörande portar uppförs vid varje mötesplats. Väggarna är försedda med brandspjäll. Vid brandlarm stängs spjäll och portar automatiskt. Vid varje mötesplats placeras en räddningskammare.

Transportsystemet vid rampalternativet dimensioneras för att kunna hantera uppskattade mängder av material. Alla fordon förutsätts vara hjulburna och så långt som möjligt ska standardfordon användas, eftersom detta underlättar möjligheterna till service och underhåll. Standardfordon innebär också lägre kostnader och bättre tillgång till reservfordon. Spårbundna system har inte utretts, eftersom dessa har låg flexibilitet och hög kostnad.

5.2 Utformning av schakt med dess installationer

5.2.1 Utformning av schakt i schaktalternativet

Beskrivningen avser alternativ U5 i tabell 2-1.

För att klara transportbehov och uppfylla säkerhetskrav i schaktalternativet förutsätts minst tre separata schakt, nämligen ett skipschakt, ett driftschakt och ett hiss- och ventilationsschakt i enlighet med layout E /SKB, 2002c/. Ur bygg- och installationsteknisk synpunkt och underhåll delas lämpligen det gemensamma hiss- och ventilationsschaktet upp i tre separata schakt, nämligen ett hisschakt, ett tilluftsschakt och ett frånluftsschakt, se vidare avsnitt 5.2.2 för detaljerad beskrivning.

Skipschaktet används under drifttiden för att i huvudsak transportera bergmassor, återfyllningsmassor, makadam och betong. Under byggtiden kommer även personal och material transporteras i skipschaktet. För att kunna utföra dessa transporter förses skipschaktet med en kombinerad skip och hiss. Skipens kapacitet har bedömts behöva vara 15 ton och hastigheten 10 m/s. Skipen utformas som en lingejdrad friktionshiss med motvikt. Under anläggningstiden behövs installationer för ventilationsluft, vatten, elkraft och dränage i skipschaktet som sedan kan demonteras när permanenta installationer har tagits i drift. Schaktet bedöms få en diameter på cirka 5,5 meter. På deponeringsnivån anordnas en berglaststation med förkross, silo och transportband etc. På markytan uppförs en skipbyggnad, med ett hisstorn ovanför schaktet. Skipbyggnaden innehåller utrymmen för hantering av gods som transporteras med skipen/hissen. Skipschaktet beräknas ha ett totalt djup på cirka 560–570 meter inklusive berglaststationen om deponeringsnivån är 500 meter.

Driftschaktet är avsett för tunga transporter, det vill säga transport av transportbehållare med kapsel, bentonitblock, tunga komponenter och skrymmande installationsmaterial. Under byggtiden kommer schaktet utnyttjas även för persontransporter. Transporthissen dimensioneras för transport av transportbehållare med kapsel liggande på en vagn. Den dimensionerande lastvikten är 85 ton för kapsel med en strålskyddad behållare (65 ton) och ett transportfordon (20 ton). För denna vikt krävs en hisskorg som i sig beräknas väga 58 ton; den totala vikten är då 143 ton, förutom vikten av linor. Hisskorgens mått bestäms av önskemålet att kunna transportera 20 fots containers i hissen. Hissens hastighet kommer att vara högst 2 m/s. Inga installationer utöver transporthissen

förutsätts finnas i schaktet av säkerhetsskäl. Schaktets diameter bedöms uppgå till 8,5 meter. I driftschaktets botten installeras stötdämpare för att kunna bromsa in fallande hisskorg utan att transportbehållaren går sönder. På marknivån och deponeringsnivån installeras utrustning för att kunna låsa hisskorgen vid ur- och ilastning. På markytan uppförs en byggnad som innehåller ett hisstorn rakt ovanför driftschaktet, utrymmen för hantering av transportbehållare och övrigt gods samt ett spelhus. Driftschaktet kommer att ha ett djup av cirka 520 meter, om deponeringsnivån är 500 meter.

5.2.2 Utformning av schakt i rampalternativen

I rampalternativen (alternativ U2 och U3 i tabell 2-1) förutsattes tidigare att ett kombinerat hiss- och ventilationsschakt anordnas. I detta schakt skulle det installeras dubbla personhissar, kanaler för till- och frånluft, ledningar för bergdränage, kabelstegar för kraftmatning, tele och datornät etc.

Ur bygg- och installationsteknisk synpunkt och underhåll är en uppdelning i tre separata schakt att föredra. I hisschaktet, med en bedömd diameter på 5,5 meter och avsett för dubbla hissar installeras ledningar för vatten och bergdränage. I tilluftschaktet med en diameter på 3,5 meter finns inga installationer. I frånluftschaktet med en diameter på 2,5 meter installeras kablar för elkraft, data och tele etc. På markytan uppförs en hiss- och ventilationsbyggnad ovanför schakten. Byggnaden innehåller hissar, till- och frånluftsfläktar med mera. Dessutom finns lokaler för hantering av gods och personalutrymmen. På deponeringsnivån ansluter schakten till hiss- och ventilationshallarna i centralområdet.

5.2.3 Utformning av ventilationsschakt för deponeringsområdet för reguljär drift

I både ramp- och schaktalternativen förutsätts att ett ventilationsschakt anordnas för att evakuera frånluft från deponeringsområdet för reguljär drift. Schaktet beräknas få en diameter på cirka tre meter och vara oinrett. En enkel servicehiss kommer att finnas för att kunna inspektera schaktet. På marknivån uppförs en ventilationsbyggnad ovanför schaktet. Denna byggnad innehåller frånluftsfläktar och spelutrustning för servicehissen. Ventilationsschaktet kommer att vara cirka 500 meter djupt.

5.2.4 Transportsystem

Transportsystemet dimensioneras för att klara av det gods som redovisas i föregående kapitel. Viktigare data för föreslagna hissar framgår av nedanstående tabell 5-1.

Tabell 5-1. Översikt av huvuddata för hissar.

Hiss	Transporterar	Kapaciteter
Kombinerad skip/hiss Hastighet 10 m/s Friktionsspel med motvikt Lingejdrad hisskorg	Bergmassor Återfyllningsmaterial Betong Makadam	Skip: 15 ton nyttolast Hiss: 10 ton nyttolast
Personhissar Hastighet 5–10 m/s Friktionsspel med motvikt Lingejdrad hisskorg	Personer, lätt gods	20 personer eller 3 ton
Tung materialhiss Hastighet 2 m/s Dubbla trumspel, blockat spel. Lingejdrad hisskorg. Speciell stötdämpare i schaktbotten	Transportbehållare Bentonitblock 20 fots containere Tunga och skrymmande maskiner	85 ton nyttolast

Transportlogistiken för schaktalternativet har studerats separat och denna studie visar att skiphissen är utnyttjad till drygt 70 %, vilket är relativt högt. Övriga hissar har ett lägre kapacitetsutnyttjande, se vidare tabell 5-2 som bygger på de förutsättningar som anges i kapitel 4. Närmare studier med stokastisk simulering behövs för noggrannare bedömningar, men i nuläget synes kapaciteten vara tillräcklig, men inte överdrivet hög.

Tabell 5-2. Utnyttjningsfaktor (%) för hissar i olika skeden.

Hiss/ utnyttjningsfaktor (% av tid)	Skede		
	Förberedelser för inledande drift	Inledande drift	Reguljär drift
Materialhiss för tunga transporter (kapslar med mera) (% över 16 h)	20 %	34 %	34 %
Skip för berg, servicetransporter, persontransporter med mera (% över 24 h)	74 %	27 %	65 %
Personhiss (% över 8 h skift)	54 %	60 %	69 %

5.3 Projekteringsprocessen vid olika alternativ

De olika alternativen kräver delvis särskiljande uppläggning av projekteringen.

Rampens tvärsnitt styrs av dimensionerande fordonsprofil, val av el- eller dieseldrift och transportlogistik, som ger behov av mötesplatser. Rampens geometri styrs av vald lutning och lokala förhållanden. Den raka rampen har flest frihetsgrader beträffande utformning jämfört med de andra alternativen och behöver därför inte så omfattande tidig projektering som de andra alternativen. Platsundersökningarna omfattar även området där rampen ska förläggas och den raka rampen kräver också ett separat ventilationsschakt för bygget.

Spiralrampen förutses förbindas med hisschaktet på olika nivåer vilket innebär att driftområde och centralområde måste samordnas, vilket kräver mer omfattande, tidig projektering vid val av detta alternativ. Placeringen av till- och frånluftschakten styr också placeringen av ventilationsbyggnader ovan och under mark.

Projekteringen av schaktalternativet måste startas tidigare och drivas längre än rampalternativen innan bygget påbörjas, eftersom dimensionering av hissutrustning styr schaktens dimensioner och utformning av berörda byggnader ovan mark och bergsalar under jord. Placeringen av schakten styr utformningen av driftområdet och centralområdet eftersom schakten kopplar samman dessa. Eftersom undermarksdelen försörjs med olika media via schakten kan det vara nödvändigt att driva projekteringen av dimensionerande system längre än i rampalternativen.

5.4 Detaljundersökningar

Byggandet av djupförvaret föregås av omfattande geologiska platsundersökningar. De under platsundersökningsskedet upprättade platsbeskrivningarna av ytnära ekosystem och berggrund kontrolleras och kompletteras under bygget. Schakt- och rampalternativ ger här olika förutsättningar för kontroll och komplettering av platsundersökningarna. Schaktet kan enkelt uttryckas som ”ett stort vertikalt borrhål” och rampen som ”ett stort, nästan horisontellt borrhål över en större yta vars utsträckning kan styras av behov av kompletterande undersökningar”. Värdet av den extra flexibiliteten att kunna skaffa data i rampalternativen kan egentligen bestämmas först efter det att platsundersökningarna genomförts; då kan man utvärdera de kvarstående osäkerheter som löses med kompletterande platsundersökningar från ytan eller via undersökningar i samband med utbyggnaden.

5.5 Anläggningsmetoder

5.5.1 Ramp

Den raka rampen kan anläggas med konventionella metoder eller med TBM-borring. Den valda lutningen på 1:10 förutsätter dock att utlastningen vid TBM-borring kan lösas på tillfredställande sätt; metoden är också betydligt mer riskfylld, speciellt i dåligt berg som behöver tätas och förstärkas.

Utlastningsutrustningen i samband med TBM-borrning är normalt spårbunden. Eftersom rampen förutses luta i genomsnitt 1:10 behöver tåget antingen vara kuggstångsdrivet eller utnyttja friktionsdrift, den så kallade RHS-metoden (RHS=Rapid Haulage System). Kuggstångsdrift är en väl beprövad metod, medan friktionsdrift endast använts i ett fåtal projekt. En fördel med RHS-metoden är att lokets dragkraft kan vara större än vid kuggstångsdrift, varför större last är tillåten. Spårbunden utlastning innebär att kurvradien bör vara minst 300 meter. I annat fall är förslitning av räls och hjul ett problem. Minsta tillåtna kurvradie bestäms också av möjligheten att styra borrhuvudet. En radie på 300 m bedöms vara i minsta laget för en tunneldiameter på åtta meter. TBM-borrning ger normalt större framdrift än konventionell borrning/sprängning, speciellt vid berg som inte kräver tätning eller förstärkning. Etableringstiden är dock lång. Om samma transportprofil i rampen eftersträvas både vid TBM-borrning och vid konventionell borrning/sprängning måste diametern på den TBM-borrade tunneln ökas, vilket är en nackdel. En annan nackdel är att det uttagna berget vid TBM-borrning på grund av sin flisiga struktur har begränsad användning. Om spiralramp är aktuell, är TBM-borrning med stor sannolikhet inte användbar eftersom spiralrampen planeras få snävare kurvor, än vad TBM-borrning tillåter.

Vid traditionellt byggande med borrning och sprängning, sker borrning med ett mobilt, eldrivet hydrauliskt flerbomsaggregat. Rampens tvärsnitt gör det möjligt med salvdjup på cirka fem meter, varvid ungefär 80 stycken fem meter långa hål med en diameter av 45–51 mm borrar. Laddning sker från ett separat laddningsfordon. För att minska mängden nitroösa gaser eftersträvas användning av sprängämnen med lågt kväveinnehåll, typ emulsionssprängämnen. Användning av dessa sprängämnen innebär också att utvädringstiden kan minskas.

Under drivning av rampen sker lastning med el- eller dieseldrivna maskiner och transport med dieseldrivna maskiner. För att lasta ut den sprängda salvan är användning av lasta-bär-maskin (LHD) lämplig. För uttransport av sprängmassorna kan antingen truckar eller lastbilar med utväxling anpassad till vald lutning användas. Efter utlastning sker mekaniserad skrotning av tak, väggar och gavel samt manuell efterskrotning innan förstärkning utförs. Normalt sker bultning, vid behov efter varje salva, men vid goda bergförhållanden kan 2–3 salvor lastas ut innan bergförstärkning görs. Denna bergförstärkning sker genom injutning av kamstålsbultar. Antalet bultar bestäms efter bergkartering. För bultning kan borrhjulet utnyttjas, alternativt används ett speciellt bultborrhjulsaggregat. Eftersom rampen ska utnyttjas under lång tid och dessutom förses med installationer, sker permanent betongsprutning av tak, anfang och översta metern av väggarna. Tjockleken på sprutbetongen uppgår till 5–10 cm. Vid dåligt berg vidtas ytterligare förstärkningsåtgärder, med exempelvis tjockare lager av fiberarmerad sprutbetong, platsgjutna betongbågar eller andra förstärkningsmetoder.

För att undersöka bergkvaliteten innan utsprängning sker kontinuerlig försondering med minst ett cirka 20 meter långt hål med en diameter på 45–51 mm. Om resultaten från mätningar i försonderingshålen visar att tätning med injektering är nödvändig, borrar ytterligare cirka 20–25 hål runt tunnelns periferi, varefter tätning sker genom att en cementvälling pressas in i borrhålen. Försonderingshål borrar så att överlappning sker, vilket innebär att sonderingen upprepas efter var tredje salva.

5.5.2 Schakt

Schaktsänkning med borrhning och sprängning

Vid konventionell schaktsänkning inleds arbetena med sänkning av schaktet till cirka 70 meters djup, vilket utförs med hjälp av mobilkranar och provisorisk arbetsplattform. Därefter färdigställs schaktets överdel som förberedelse för den fortsatta schaktsänkningen, vilket innebär att fundament gjuts, spelutrustning etc installeras för fortsatt schaktsänkning.

Vid den fortsatta schaktsänkningen används en arbetsplattform med flera arbetsplan för att olika aktiviteter ska kunna utföras samtidigt. Ovanför schaktet monteras ett hisstorn (lave), som antingen är provisorisk eller som senare eventuellt anpassas till permanent bruk.

För att undersöka bergkvaliteten innan schaktsänkningen påbörjas, undersöks läget för schaktet med kärnborrhning och mätningar för att konstatera lägets lämplighet, för att schaktsänkningen ska kunna planeras och genomföras med ett minimum av överraskningar. Tätning med injektering sker först från markytan för att minimera inläckning av grundvatten i schaktets övre delar. Under schaktsänkningen sker sedan kontinuerlig försondering med ett antal hål som kontrollmäts. Vid behov av tätning med injektering, borrar ett flertal hål runt schaktets periferi för injektering.

Borrhningen sker med flerbomsaggregat, vars bommar kan fällas ut som ett paraply. Skadedjupet på grund av sprängningen kommer dock att vara stort eftersom stor laddningsmängd måste användas, dels för att lyfta berget vid sprängningen, dels för att få ett styckefall som inte medför problem vid utlastningen. Lastning sker i en tunna med hjälp av gripskopa eller speciell schaktlastare och efter utlastning skrotas väggarna. Bultning av väggen sker med kamstålsbultar efter varje salva. Schakten kommer att utnyttjas under en lång tidsperiod och förses med installationer. För att minimera underhåll och vatteninläckning sker betongsprutning eller motgjutning av väggarna.

Sänkschakt med mekanisk avverkning

Informationen från Nirex /Nirex, 2001/ redovisar utredningar rörande metoder att bygga sänkschakt. Alternativa metoder som diskuteras är fullborrhning, fräsande avverkning och användning av stora riggar med stora borrhkronor. Med hänsyn till det svenska, hårda urberget, till avsevärda tekniska risker vid genomförandet och få referenser till lyckade projekt, är byggande av sänkschakt med mekanisk avverkning mindre intressant.

Vertikal fullortsborrhning

Schakt kan fullböras uppåt (raise-boring) om det redan finns lämpliga, öppna bergutrymmen vid det planerade schaktets botten. Först borrar ett pilothål, omkring 0,3 meter i diameter, neråt till bergutrymmet, varefter en borrhkrona i storleken 1,8–4 meter monteras. Kronan dras sedan uppåt och rymmer pilothålet. Om man sedan önskar större schaktdiameter, kan man sedan med sprängning vidga det borrade hålet. Det uppborrade centrumhålet fungerar som tippeschakt för bergmassorna. Eftersom

sprängningen sker mot en relativt fri yta, behövs inte så stor laddningsmängd och sprängskadezonen blir mindre än vid konventionell schaktsänkning. Normalt görs inga förstärkningsarbeten.

Ett alternativ till vertikal fullortsborrning är stigortsdrivning. Vid stigortsdrivning sprängs schaktet ut underifrån i korta salvor. En kuggstångdriven hiss med tillhörande arbetsplattform används för de olika arbetsmomenten. De schakt som planeras i de olika alternativen har dock så stor diameter och höjd, förutom ventilationschaktet, att stigortsdrivning inte är en lämplig arbetsmetod.

5.6 Drift av anläggningen

5.6.1 Allmänt

Ramp

När det gäller drifttillgänglighet, finns det för rampalternativen i stort sett inga begränsningar för transporter av gods och personal. Om hissarna skulle haverera är det alltid möjligt att använda rampen i stället. Om rampen av någon anledning skulle blockeras kommer dock berg- och deponeringsarbetet att upphöra. När det gäller flexibilitet innebär rampen inga eller mycket få begränsningar i transportkapacitet. Rampens area väljs så att alla maskiner och utrustningar ska kunna transporteras ned/upp utan problem. Mycket skrymmande gods kan tas ned, endast tunnelns tvärsnitt eller krökning utgör begränsning. Vid ett rampalternativ kan alla maskiner transporteras upp till markytan och underhållet kan där utföras i därför anordnade förråd och verkstäder. Under jord finns en kombinerad förråds- och verkstadshall, där endast enklare underhållsåtgärder förutsätts bli utförda. Förrådshållning av material sker i förrådsutrymmen ovan jord. Under jord behövs endast ett begränsat utrymme för förrådshållning, eftersom material lätt kan transporteras ned via rampen.

Schakt

För att uppnå hög drifttillgänglighet i schaktalternativet krävs noggrann planering av alla transporter eftersom allt material transporteras med hissar. Det behövs också större förråds- och verkstadsresurser i undermarksanläggningen eftersom speciellt större maskiner och fordon inte kan tas upp till markytan. Det innebär också att större maskiner och utrustningar måste delas/demonteras på markytan och sättas ihop på deponeringsnivån. Om skipen eller transporthissen havererar blir störningen på verksamheten stor eftersom inga reservalternativ finns. I schaktalternativet är den framtida flexibiliteten begränsad, främst beroende på begränsningar i hissarnas mått och nyttolast. Det kommer också tidvis uppstå logistiska problem beroende på att alla transporter ska ske från samma punkt ovan jord och dito under jord. I schaktalternativet måste finnas en verkstadshall där även mer kvalificerade underhållsåtgärder kan utföras, eftersom de flesta maskinerna och fordonen inte kan transporteras upp till markytan. Under jord behövs större utrymmen för förråd än i rampalternativen eftersom det är svårt att snabbt transportera ned material i schaktalternativet, varför stort buffertförråd krävs på deponeringsnivån.

5.6.2 Åtgärder för att minska risker vid drift av djupförvaret

För att minimera sannolikheter och konsekvenser av olyckor vidtas ett antal åtgärder och några är specifika för valet av ramp eller schakt. En grundförutsättning vid jämförelsen är att strålskärmda transportbehållare genomgående används vid transport av kapsel mellan markytan och deponeringsnivån.

Ramp

Den största risken vid transporter av kapsel i ramp bedöms utgöras av fordonsbränder. Andra risker är kollisioner med andra fordon eller att man tappar kontrollen över fordonet. För att minska dessa senare risker vidtas ett antal åtgärder vid ett rampalternativ:

- Ingen mötande trafik när transport av kapsel sker.
- Låg och begränsad hastighet (5–7 km/tim) i rampen vid transporter av kapsel.
- Transportfordonet förses med redundanta bromssystem och övervakningssystem för att med stor säkerhet kunna stannas om något oförutsett inträffar. Fordonets hastighet kontrolleras med motorbromsning och bromsar utnyttjas endast för stanna fordonet.
- Regelbunden tillsyn och kontroll av att ovanstående system fungerar genomförs, i kombination med noggrant genomtänkt förebyggande underhåll.
- Rutiner för hantering av transportbehållare utarbetas.

För att minska risken för bränder i rampen och minska konsekvenserna av en brand vidtas ett antal åtgärder:

- Endast el- eller dieseldrivna fordon tillåts trafikera rampen och underjordsanläggningen.
- Fordon ska vara besiktigade och godkända för trafik i ramp och underjordsanläggningen.
- Rampen brandsektioneras genom att väggar som förhindrar rökasspridning sätts upp vid mötesplatserna. Portar och dörrar i dessa väggar stängs automatiskt vid brandlarm. Vid varje mötesplats finns räddningskammare.
- Mängd brännbart material på fordon (bränsle, oljor, däck med mera) ska så långt möjligt minimeras.
- Kablar ska vara isolerade med svårantändligt material.
- Branddetektorer och brandsläckningsutrustning installeras på fordon och maskiner.
- Brandlarmssystem installeras.

En annan risk i rampalternativen utgörs av bergras. Risken för detta är liten och minskas dels med förstärkning av berget, dels med återkommande inspektion av tunneln.

Schakt

Den största risken vid transporter av kapsel i schakt bedöms utgöras av fall i schakt. För att minska risken för olyckor vid transport av kapsel i hiss vidtas följande åtgärder:

- Dubbla trumspel är dimensionerade så att en lina kan brista utan att lasten tappas.
- Redundanta bromssystem installeras.
- Redundanta regler- och styrsystem samt övervakningssystem installeras.
- Speciell stötdämparinstallation i hisschaktets botten installeras.
- Hissen körs med låg hastighet, maximalt 2 m/s.
- Regelbunden tillsyn av hiss och tillhörande utrustningar genomförs i kombination med noggrant genomtänkt förebyggande underhåll.
- Säkerhetsutrustning installeras för att förhindra att vagn med transportbehållare kan köras in i hisschaktet utan att hissen finns på plats.
- Rutiner för hantering av transportbehållare utarbetas.

För att minska risken för bränder i schakten och minska konsekvenserna av en brand vidtas ett antal åtgärder:

- I hisschakten används så lite brännbart material som möjligt. Inget brännbart material får finnas i schaktet för tunga transporter.
- Vid gemensamt hiss- och ventilationsschakt krävs brandsektionering mellan olika system.
- Brandlarmssystem installeras.

En annan risk i schaktalternativet utgörs av bergras. Risken för detta är dock liten och kan minskas dels med förstärkning av berget, dels med återkommande inspektion av schakten.

5.7 Återfyllning och förslutning

Efter avslutad deponering försluts ramp och schakt med en blandning av bergkross och svällande bentonitlera.

5.8 Återtag

Återtag är ingen avgörande faktor vid ett val mellan ramp eller schakt, varför det inte behandlas speciellt.

6 Metodik och mål för optimering

SKB anger i FUD-program 2001 /SKB, 2001a/ att en variationsbredd och handlingsfrihet i försvarsutformningen är nödvändig och denna uppfattning delas av myndigheterna. I FUD-programmet uppges också att SKB noggrannare kommer att redovisa metodik för försvarsoptimering och hur antalet alternativ systematiskt minskas. Val av schakt eller ramp är ett utmärkt projekt för att illustrera systematik för optimering och reduktion av antalet alternativ. I detta kapitel diskuteras några metoder för optimering och mål som kan vägas in vid optimeringen.

6.1 Metodik för optimering

Ett flertal definitioner av begreppet optimering existerar. SKB definierar optimering som *”analys av väl avgränsade problem i syfte att finna den mest optimala lösningen”*. Svensk Ordbok definierar optimal som *”mest gynnsam för visst förlopp eller resultat under givna omständigheter; om handling eller dylikt som består av en sammanvägning av olika faktorer”*. En engelsk definition av optimering är *”to find the best compromise among several often conflicting requirements, as in engineering design”*.

Utbudet av metoder och teorier för optimering är stort och den intresserade läsaren hänvisas till t ex /Hazelrigg, 1996/ för översikter i ämnet. I matematiskt hänseende omvandlas ofta optimeringsproblem till ett minimeringsproblem eller maximeringsproblem för en målfunktion relaterad till ett antal variabla faktorer. I många fall är det svårt att uttrycka optimering i matematiska termer då flera faktorer inte kan kvantifieras.

I den mån man önskar bedöma ekonomiska konsekvenser av ett beslut, så är kostnadsnyttoanalys vanligt förekommande. Analysen är tillämplig för beslut där man kan få fram ett ”bästa värde” via ekonomiska bedömningar. Sådana beslut innehåller vanligtvis inte starkt motstridiga mål eller stora risker eller stora möjligheter. Funktionen har den allmänna formen

$$\Phi(t) = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+i)^t} \cdot [N(t) - K(t) - R(t)]$$

där

$\Phi(t)$ = målfunktionen över tiden t [SEK], $N(t)$ = nyttan år t [SEK], $K(t)$ = kostnaden år t (SEK), $R[t]$ = sannolika kostnaden för risk år t [SEK], t = tid [år] och i = kalkylräntan.

Det kan noteras att IAEA /IAEA, 2002/ har publicerat en vägledande skrift rörande optimering av strålskydd, där kostnads-nyttoanalys används; skriften redovisar en landsvis översikt av den optimala kostnaden för att reducera strålning med måttet 1 man-Sievert.

Vi delar nu in beslut om förvarsutformning i tre typer: enkla, medelsvåra och komplexa beslut.

- Ett enkelt beslut behöver endast enkla kriterier för beslut. Beslutet medför små risker eller små möjligheter. Det är oftast bara teknik och ekonomi som avgör. Exempel: Val av utrustning från anbud, bredd på en väg etc.
- Ett medelsvårt beslut innehåller mål som kan vara svagt motstridiga med begränsat innehåll av väsentliga risker. Det är möjligt att man kan avgöra ett bästa beslut genom ekonomiska nuvärdesanalyser. Exempel: Påverkan på balans- och resultaträkning om man investerar för lägre driftskostnader. Totalkostnad för projekt vid forcering av arbetet. Val av antalet hissar mellan förvar och markyta.
- Ett komplext beslut kan innehålla motstridiga mål, betydande risker, där alternativen är i sig fullständigt olika. ”Bästa beslutet” kan inte mätas i enkla mått som kronor och ören utan kräver en uttalat strukturerad beslutsprocess.

Val av schakt eller ramp torde i normala industriella projekt vara ett medelsvårt beslut men blir för ett förvar ett medelsvårt till komplext beslut, eftersom man behöver ta stor hänsyn till ofullständighet i underlag rörande kort- och långsiktig säkerhet, samt sannolikt en komplicerad tillståndsgivning med stora krav på hänsyn till omgivningspåverkan. Förvarsutformning och val av bygg- och tillverkningsmetoder bör ta hänsyn till tillståndsprocessen och om valen försvårar möjlighet till tillstånd eller inte.

Baserat på en genomgång av metoder för risk- och beslutsanalys har en förenklad metodik för komplexa beslut utarbetats. Metodiken utgår från allmänt känd och kommersiell metodik och utgår från att ingenjörsarbetet är en beslutsprocess. I processen redovisas alternativ och vilka konsekvenser varje enskilt alternativ har i förhållande till uppsatta mål. Värdering av konsekvenserna sker systematiskt för rangordning av alternativen och för val av bästa alternativ. I tabell 6-1 redovisas en översikt över de ingående stegen, som de genomförs i denna studie.

Tabell 6-1. Optimeringsmetodik för komplexa beslut med specifika kommentarer för valet av schakt eller ramp.

Steg	Aktivitet	Kommentar
1	Skriv ner vilket beslut som ska fattas	Här är avsikten att göra ett principiellt val för tillträdesväg till deponeringsområden för ett förvar i Forsmark alternativt i Oskarshamn. I detta fall lämnas rekommendation med hänsyn till att platsspecifika förutsättningarna inte är fastställda.
2	Etablera de mål som önskas uppnås	Se kapitel 6.2. Det är möjligt att vikta målen inbördes, men det anses inte nödvändigt eller önskvärt här.
3	Identifiera alternativen	Huvudalternativen är ramp med ett eller två driftområden, (alternativ U2, U3) eller alternativet med ramp och ett sänkschakt (alternativ U4), eller en ren schaktlösning (alternativ U5) se vidare tabell 2-1.
4	Samla in information så att alternativen kan jämföras	Denna rapport är en sammanställning av insamlad och använd information.
5	Utvärdera alternativen (steg 3) i förhållande till de satta målen (steg 2)	Här används bara en enkel skala "+" (alternativet ger bättre måluppfyllelse), "-" (alternativet ger sämre måluppfyllelse), "0" (alternativet är varken sämre eller bättre för måluppfyllelse).
6	Totalbedömning	Här görs en totalbedömning med utgångspunkt från steg 5.
7	Vid lika totalbedömning	Om två alternativ förefaller likvärdiga, bedöms de ånyo, då särskilt med hänsyn till långsiktig säkerhet, arbetsolyckor under byggande och drift och med hänsyn till omgivningspåverkan.
8	Upprätta ett MIFU-dokument (Motiv För Utformningen)	Ett dokument i SKB:s kvalitetssystem för spårbarhet och transparens av beslut.

6.2 Mål som ska uppnås och värderas vid optimeringen

Förvarsoptimering är en process där ett flertal mål (se steg 2 i tabell 6-1) balanseras och man har att ta hänsyn till:

- förvarets långsiktiga säkerhet efter återfyllning och förslutning,
- den kärntekniska säkerheten vid drift av anläggningen,
- förekomst av arbetsolyckor under byggande, drift och förslutning av anläggningen,
- omgivningspåverkan under förvarets byggande och drift,
- hushållning med naturresurser,
- förslutning av förvaret och ett eventuellt framtida återtag av deponerade kapslar,
- övergripande tidsplaner,
- investerings- och driftskostnader,
- effektivitet, flexibilitet och projektrisker.

Vissa av frågorna har en starkt platspecifik karaktär, som tillgång till gott berg för byggande, tillräckliga utrymmen för anläggningar på markytan och under jord, eventuella störningar av närboende med mera.

Myndigheten SSI ställer krav att förvaret optimeras och att bästa möjliga teknik används. I föreskriften SSI FS 1998:1 4 § föreskrivs att: ”Vid slutligt omhändertagande av använt kärnbränsle och kärnavfall skall optimering ske och hänsyn tas till bästa möjliga teknik.” Följande definitioner gäller enligt SSI FS 1998:1

”optimering: begränsning av stråldoser till människor så långt detta rimligen kan göras med hänsyn tagen till såväl ekonomiska som samhälleliga faktorer.

bästa möjliga teknik: den effektivaste åtgärden för att begränsa utsläpp av radioaktiva ämnen och utsläppens skadliga effekter på människors hälsa och miljön, och som inte medför orimliga kostnader.”

Även Miljöbalken (1998:808) 2 kap 3 § och 22 kap 25 § ställer krav på att bästa möjliga teknik används.

I enlighet med steg 2 i tabell 6-1 anges nedan de mål som ska uppnås vid optimeringen, oavsett om målen är motstridiga eller inte.

6.2.1 Stråldos efter förslutning ska vara låg i enlighet med ALARA-principen

Målet är en konsekvens av internationella riktlinjer och svenska föreskrifter upprättade och fastställda av Strålskyddsinstitutet, där ALARA – *”keeping all exposures As Low As Reasonably Achievable, economic and social factors being taken into account”* – /IAEA, 2002/, är en bärande tanke.

6.2.2 Inga olyckor i samband med bygge och drift

Stråldoser under drift ska vara låga (ALARA), men det är också SKB:s mål att alla andra risker för arbetsrelaterade olyckor ska vara låga, så långt som möjligt. Med principen att inte vikta mellan mål i optimeringen, så likställs här arbetsolyckor oavsett grundläggande orsak. Arbetsolyckor kan inträffa under utbyggnad eller under drift av anläggningen. Frågan om brandrisker i anläggningen berör flera av målen men hanteras under rubriken arbetsolyckor.

6.2.3 Låg omgivningspåverkan

Omgivningspåverkan värderas utifrån hur olika alternativ påverkar skyddsobjekt och sakägare. Med skyddsobjekt avses sådant som störs av ett anläggningsprojekt och identifierade skyddsobjekt framgår ur tabell 6-2.

Tabell 6-2. Identifierade skyddsobjekt.

Skyddsobjekt	Kommentar
Grundvattnets tillrinning till undermarksutrymmen	<ul style="list-style-type: none">• Grundvattensänkning påverkar flora.• Grundvattensänkning påverkar möjligheten till vattenförsörjning, begränsar möjligheten till uthållig resurshushållning avseende tillgång till vatten.• Grundvattensänkning kan påverka våtmark, och därmed även viss fauna.
Annan påverkan på naturmark	<ul style="list-style-type: none">• Utsläpp av uppfordrat grundvatten till recipient – föroreningsrisk.• Lakning till recipient från bergupplag.• Buller – stör fauna.• Damning av masshantering eller trafik.
Landskapsbild	<ul style="list-style-type: none">• Förhindrar/begränsar tillgänglighet.• Förändrar vyer.

Planbestämmelser reglerar omfattning av administrativa beslut, till exempel markanvändning för industriändamål. Planbestämmelser kan även reglera skydd i tid och rum av speciell naturmark, flora eller fauna. Kända skyddsobjekt hanteras i planbestämmelser. Vid planering av nya anläggningar är det normalt ett krav att skyddsobjekt inventeras i detalj och beskrivs i miljökonsekvensbeskrivningen.

Fysisk eller juridisk person med ägarintressen inom ett möjligt påverkansområde kring ett planerat anläggningsprojekt är sakägare. Miljöbalken (6 kap 5 §) anger även att den allmänhet och de organisationer som kan antas bli berörda ska delta i det utvidgade samrådet.

Faktorer som kan påverka sakägare, förutom det som stör deras naturmiljö, återfinns i tabell 6-3.

Tabell 6-3. Faktorer som kan påverka sakägare.

Faktorer	Exempel
Landskapsbild	<ul style="list-style-type: none"> Begränsad tillgänglighet Försämrat marknadsvärde på grund av förändrad utsikt/vy
Vattenförsörjning	<ul style="list-style-type: none"> Försämrade kapacitet och/eller kvalitet på vatten Konflikt om vattenresurs
Påverkan på individ	<ul style="list-style-type: none"> Buller Vibrationer Tryckstötavåg av sprängning Damning
Påverkan på byggnad eller anläggning	<ul style="list-style-type: none"> Vibrationer Tryckstötavåg av sprängning Sättning efter grundvattensänkning

Projekteringsarbetet innefattar ett hänsynstagande och planering av åtgärder som begränsar miljöpåverkan. Här ingår till exempel:

- Placering och utformning av anläggningen för att undvika konflikter. För djupförvaret finns det frihetsgrader både för markanläggningar och deponeringsområden.
- Tätning av berganläggningen (via injektering eller med hjälp av vattentäta konstruktioner) eller uppbyggnad av system för infiltration av grundvatten för att begränsa grundvattensänkning och dess konsekvenser.

- Anpassad utformning av byggnader och upplag, bibehållande av skogsridåer med mera för att minska anläggningens störning av landskapsbilden.
- Restriktioner i arbetenas genomförande för att reducera störning och skada på sakägare, närboende och deras egendom.

Omgivningspåverkan är en platsspecifik fråga och värdering av olika alternativ enligt steg 5 i tabell 6-1 kan här endast vara principiell.

6.2.4 Hushållning av resurser

Miljöbalken (SFS 1998:808) ska tillämpas så att *”mark, vatten och fysisk miljö i övrigt används så att en från ekologisk, social, kulturell och samhällsekonomisk synpunkt långsiktigt god hushållning tryggas”, och ”återanvändning och återvinning liksom annan hushållning med material, råvaror och energi främjas så att ett kretslopp uppnås”*. Vidare (3 kap 8 §) så gäller att *”Mark- och vattenområden som är särskilt lämpliga för anläggningar för industriell produktion, energiproduktion, energidistribution, kommunikationer, vattenförsörjning eller avfallshantering skall så långt möjligt skyddas mot åtgärder som kan påtagligt försvåra tillkomsten eller utnyttjandet av sådana anläggningar. Områden som är av riksintresse för anläggningar som avses i första stycket skall skyddas mot åtgärder som kan påtagligt försvåra tillkomsten eller utnyttjandet av anläggningarna.”*

Statens Kärnkraftinspektion avser att peka ut områden i Östhammar och Oskarshamn kommuner som *”riksintresse för slutförvaring av använt kärnbränsle”*.

Den övergripande utvärderingen av alternativ sker i samband med regeringens och miljödomstolens handläggning. När det specifikt gäller frågan om val av ramp eller schakt ökar rampalternativet mängden berg- och återfyllningsmaterial med cirka 200 000 m³ (omkring 12 %). Om ökningen av berguttaget är en störning eller skapande av en resurs är delvis en platsspecifik fråga. Genom tillgång på krossade bergprodukter undviks till exempel att nya bergtäkter öppnas i området.

6.2.5 Totalkostnad ska vara låg

Med totalkostnad avses här nuvärdet av kostnad för projektering, anläggningskostnad (inklusive återfyllning och förslutning) samt drift- och underhållskostnader.

Målet är ett ägarkrav på effektivitet men är också knutet till Strålskyddsinstitutets föreskrifter och ALARA-principen som säger att optimering av strålskydd ska ske med hänsyn till ekonomiska konsekvenser.

6.2.6 Tid för anläggning av schakt eller ramp ska vara kort

”Tid är pengar” och olika tidsutfall för olika alternativ påverkar direkt totalkostnaden. Minimering av tid är inte nödvändigtvis att arbeta snabbare, utan också att välja alternativ som medför snabbare genomförande. Som senare diskuteras i kapitel 7.5, är tid inte bara en ekonomisk fråga utan även relaterad till systemutformning; om vi antar att genomförande av djupförvarsprojektet blir kraftigt försenat, behöver man utvidga lagringsutrymmen vid CLAB för att mellanlagra en större bränslemängd än i nuvarande planering.

6.2.7 Flexibilitet ska vara hög

Begreppet flexibilitet är komplext och kan avse att man:

- i efterhand enkelt kan ändra ett givet beslut,
- i ett beslutsläge har många handlingsalternativ,
- stegvis, i ljuset av kunskap och erfarenheter, kan anpassa lösningen så att den i beslutstidpunkten är mest ändamålsenlig.

Diskussionen om flexibilitet utvecklas närmare i kapitel 7.7.

6.2.8 Projektrisker ska vara små

Begreppet risk är liksom begreppet flexibilitet mångfacetterat. Risk kan utvärderas med många redan existerande metoder och vi kan till exempel indela risker i grupper som

- tekniskt-vetenskapliga,
- miljömässiga,
- sociala-kulturella,
- ekonomiska,
- tidsplanemässiga.

Med ”projektrisk” avses här snävt de risker som kan tänkas uppstå under genomförandet av bygge, drift och förslutning av ramp eller schakt. Samtliga möjliga riskhändelser för de olika alternativen identifieras och analyseras och man avgör sedan om risken kan ignoreras, accepteras, åtgärdas eller transfereras på annan part. Ett vanligt exempel på transferering av risk mellan en beställare och en leverantör är då beställaren önskar fasta priser på arbeten. Flera av riskerna behandlas redan helt eller delvis i de tidigare målen, och målet att projektrisker ska vara små kan på ett sätt anses vara en viss sammanfattning av de risker som analyserats i de ovanstående målen. Det har inte genomförts en fullständig och systematisk riskanalys för de olika alternativen inom ramen för denna studie.

7 Jämförelse av alternativ i förhållande till mål

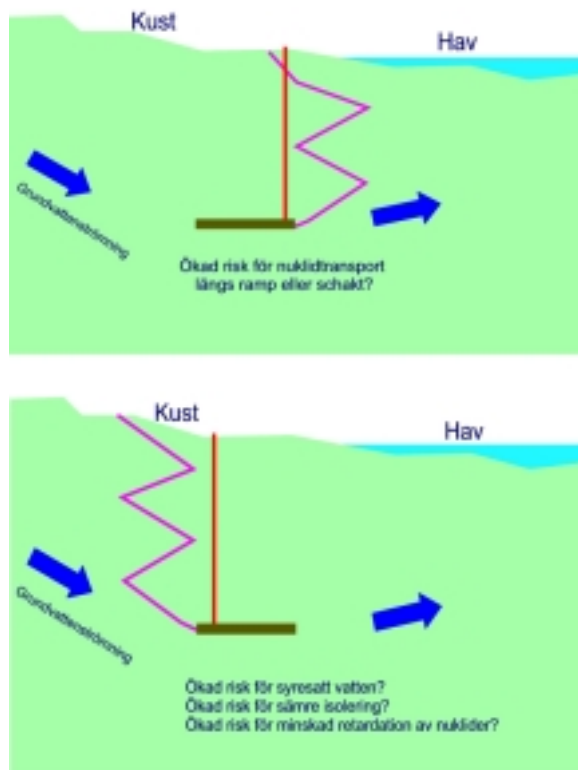
Detta kapitel utvärderar huvudalternativen, se tabell 2-1, i förhållande till de målfunktioner som redovisas i kapitel 6.2 och motsvarar därmed redovisningen av steg 5 och 6 i den använda optimeringsmetodiken, se tabell 6-1.

7.1 Stråldos efter förslutning

I valet av ramp eller schakt redovisas i detta avsnitt analysen av två frågor:

- Har det någon betydelse för långsiktig säkerhet om schakt eller ramp väljs?
- Har det betydelse om tillträdesvägar (schakt eller ramp) till deponeringsområden placeras ”uppströms” eller ”nedströms” förvaret, se figur 7-1.

Frågorna har preliminärt analyserats inom SKB, både för dagens klimatförhållanden och med hänsyn till framtida klimatförändringar och dessa analyser redovisas här nedan.



Figur 7-1. Har det någon betydelse om tillträdet placeras ”uppströms” (övre bilden) eller ”nedströms” förvaret vid kustnära placering av djupförvaret?

7.1.1 Kemiska aspekter

Det finns tre former av kemisk påverkan på förvaret som kan ha betydelse för valet av tillfartsalternativ:

- tillförsel av inläckande yt- och grundvatten under förvarets driftsskede,
- tillförsel av syre såväl under förvarets driftsskede som efter förslutning,
- tillförsel av ”föroreningar” i form av byggnadsmaterial (betong, stål, cement), kvarglömda material etc.

Inströmmande yt- och grundvatten

Inläckande vatten pumpas bort under förvarets öppethållande. Trycksänkningen innebär att förvaret kan tillföras vattenlösta föroreningar och grundvatten med ogynnsam sammansättning, främst hög salthalt. I /Axelsson och Follin, 2000/ diskuteras de effekter grundvattensänkningen har på ett djupförvar under byggnad och drift. Det konstateras att följande faktorer har betydelse för storleken på inläckage till förvaret:

- anläggningens djup, volym, geometri och byggnads- och driftperiod,
- berggrundens och jordlagrens uppbyggnad och hydrauliska egenskaper,
- grundvattenbildning och dess variation i tiden,
- kontakt med ytliga vattenmagasin som sjöar, bäckar, våtmarker, etc.

Storlek och fördelning av inläckage är naturligtvis också beroende av vilka täthetsåtgärder som sätts in. Ju högre vattengenomsläppligheten är i berggrundens spricksystem desto större blir inläckaget och grundvattensänkningen om inga åtgärder vidtas. Grundvattensänkningen beror även på den tid en anläggning tar i anspråk för byggnation och drift. Inläckagets storlek är således både en platsspecifik fråga och en fråga om hur anläggningen projekteras och drivs. För idealiserade fall visar /Axelsson och Follin, 2000/ att påverkan av en tunnel på grundvattensänkningen kan minimeras genom tätning med injektering av berggrunden närmast tunneln. Genom åtgärder kan alltså vattenflöden och problem med indragna föroreningar eller ogynnsam grundvattensammansättning minimeras. Injektering i sig kan dock ha negativa konsekvenser för förvarets långsiktiga egenskaper, i form av kemisk påverkan.

SKB har genomfört ett fåtal numeriska simuleringsstudier för att belysa effekten av grundvattensammansättningens påverkan av ett öppet förvar. I /Follin, 1995/ visas till exempel att vid ett kustnära förvar kan salthalten (Total Dissolved Solids) öka med en faktor fem på förvarsnivå efter 50 års öppethållande. Vidare visas att tiden för återgång till ostörda förhållanden efter förslutning är av samma storleksordning som den sammanlagda tiden för byggnation och drift. Enkla analytiska modeller visar att inläckaget varierar med alternativa layouter och att det finns platsspecifika skillnader i resultaten.

Generellt är lokalisering av ett förvar till ett område med sött vatten på förvarsdjup och större avstånd till saltvattenskikt fördelaktigare, eftersom risk för saltvattenuppträning minimeras. Vid stora inläckage och korta avstånd till kusten ökar generellt risken för saltvattenpåverkan. Beträffande tillfartsalternativen (spiralramp, rak ramp eller schakt), kan konstateras att inläckage beror av tunnelns volym och utbredning, vilket talar till schaktets fördel för denna specifika fråga.

Tillförsel av syre

Syre från luft kommer att finnas i förvaret under driftskedet och en del luft kommer också att stängas in i förvaret vid förslutningen. I den senaste omfattande analysen av djupförvarets säkerhet efter förslutning (SR 97) uppskattades att tio procent av den totala tunnelvolymen är fylld med luft vid förslutningen. Syret kan påverka förvarets funktion negativt, främst genom att korrodera kopparkapseln. I SR 97 visades dock att allt syre som finns instängt i förvaret kan förväntas förbrukas genom reaktioner med pyrit och att allt vatten som når kapseln därmed kommer att vara reducerande, under förutsättningen att det finns pyrit i buffertmaterialet. Även om syre skulle tränga ända in till kapseln blir kopparkorrosion ett försumbart problem. Beräkningar i SR 97 visade att den totala korrosionen från kvarblivet syre blir 0,03 mm jämnt fördelat över kapselytan. Även med en mycket ogynnsam gropfrättningsfaktor blir korrosionsdjupet högst någon millimeter. Bidraget till korrosion från syret som stängs in i tillfarten kan därför försummas oavsett tillfartsalternativ.

Tillförsel av föroreningar

I förvaret kommer det att finnas bergförstärkningar, främst i form av stål och betong. Dessa är instabila i förvarsmiljön, bryts ned över tiden och utgör därmed en "förorening". I SR 97 försumrades detta med hänvisning till att mängderna är små. En större uttagen volym för tillfarten till förvaret medför troligen att större mängder förstärkningsmaterial lämnas kvar, men dessa mängder är belägna på relativt stort avstånd (flera hundra meter) från deponeringsområden.

Slutsatser, kemiska aspekter

En allmän slutsats är att det är en säkerhetsmässig fördel att minimera mängden uttaget berg i förvaret. Det är också av vikt att ramp eller schakt utformas och byggs så att bergets tänkta funktion inte äventyras. Den säkerhetsmässiga skillnaden mellan alternativen schakt, ramp eller placering "uppströms" eller "nedströms" är dock så liten att denna faktor väger lätt i jämförelsen mellan alternativen.

7.1.2 Effekter på eventuell nuklidtransport efter förslutning

Vid analysen särskiljes två fall. I det ena fallet antas att återfyllningens egenskaper är sådana att retentionen är i paritet med det omgivande bergets ursprungliga barriäregenskaper. I det andra fallet antas att återfyllningens egenskaper försämras över tiden och antar då att deponeringstunnlar har väsentligt sämre retentionsegenskaper än det omgivande berget. Båda fallen redovisas nedan.

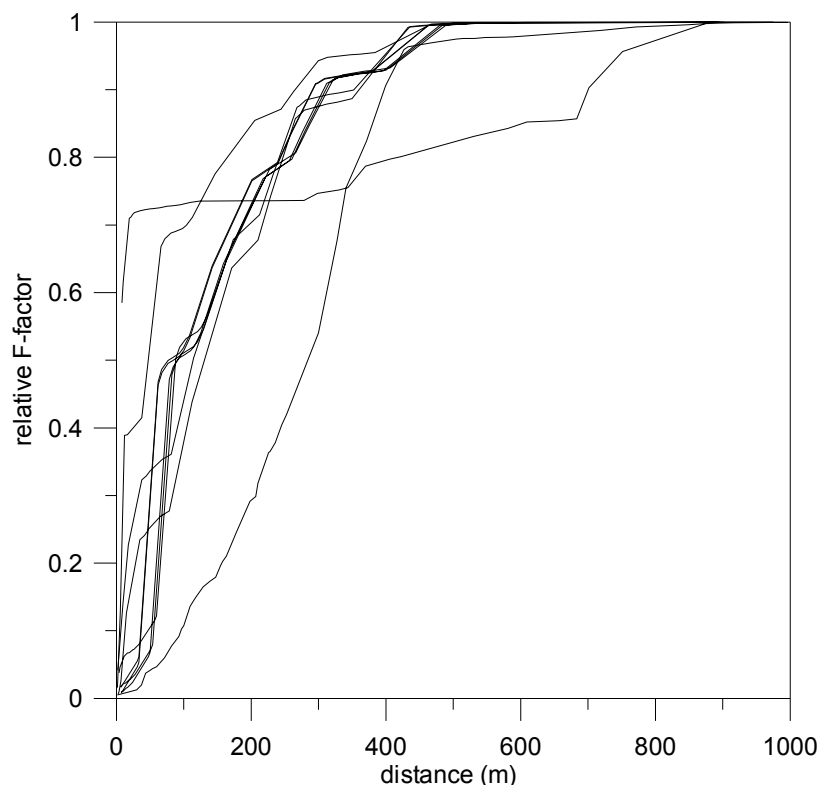
Tider för transport från förvaret till markytan och uppskattning av F-värden vid försämrad återfyllning

En konsekvens av försämrad återfyllning i deponeringstunnlar är att delar av geosfärens transportmotstånd försvagas eller försvinner. Den så kallade F-faktorn styr i stor utsträckning hur mycket retention som kan tillgodoräknas för radionuklidtransport. F-faktorn [enhet s/m] definieras som $F = a_r \cdot L / q$, där a_r = ”flödesvätta ytan per volymsenhet berg” [m^2/m^3], L = transportvägens längd [m] och q det specifika flödet [m/s]. Den minsta, totala transportlängden från en skadad kapsel till markytan och biosfären är omkring 500 meter (det vill säga motsvarande förvarsdjupet). Tillfartsvägarna ligger på relativt stort avstånd från ett deponeringsområde (flera hundra meter) och för att belysa frågan om betydelsen av tillfartsvägar undersöks först hur stor del av det totala transportmotståndet som uppnås de hundra första metrarna.

Diskreta spricknätverkssimuleringar med koderna FracMan/PAWorks är utförda över Äspö HRL, se /Outters och Shuttle, 2000/. I dessa simuleringar har man fått fram F-faktorn som funktion av transportlängd för ”Aberg”. I figur 7-2 nedan visas resultatet för tio kapselpositioner i ett hypotetiskt förvar. Som tydligt framgår av figuren är retentionspotentialen störst i början av gångvägarna; cirka 50–60 % av F-faktorn är förknippad med de första 100 metrarna, cirka 70–80 % med de första 200 metrarna. Anledningen till detta är att transportvägarna går genom successivt större sprickor med högre flöde. Det är alltså de små sprickorna närmast kapslarna som ger störst bidrag till retentionen.

Simuleringarna ovan överskattar förmodligen effekten av retentionsbortfall. Detta beror på två detaljer i hur simuleringarna utfördes. För det första inkluderades endast mindre sprickor närmast förvaret (i en domän med storlek 800 m · 700 m · 50 m) medan volymen utanför (total domän 2 000 m · 2 000 m · 1 000 m) endast innehöll större sprickor och sprickzoner. Vidare har simuleringarna utförts så att flödesvägar definierats utifrån kriteriet maximalt flöde vid sprickkorsningar, vilket leder till att flödesvägar med successivt högre flöden premieras i urvalet av möjliga gångvägar. Kombinationen av dessa två aspekter kan förmodas leda till att resultaten i figur 7-2 är konservativa, försiktiga uppskattningar av retentionsbortfallet.

Om nu tillfartsvägar (spiralramp, rak ramp eller schakt) har förhöjd konduktivitet relativt det omgivande berget borde det vara en viss fördel – från radionuklidtransportperspektiv – att placera dessa tillträden ”uppströms” förvaret. Denna placering är dock negativ, men av underordnad betydelse, med avseende på potential för transporter av syre och föroreningar till förvaret enligt den ovanstående diskussionen.



Figur 7-2. Transportmotstånd (F-faktor) som funktion av transportlängd för tio kapselpositioner vid ett hypotetiskt förvar vid Aberg (Äspö). Transportmotstånd (F-faktor) som funktion av transportlängd för tio kapselpositioner vid ett hypotetiskt förvar vid Aberg (Äspö).

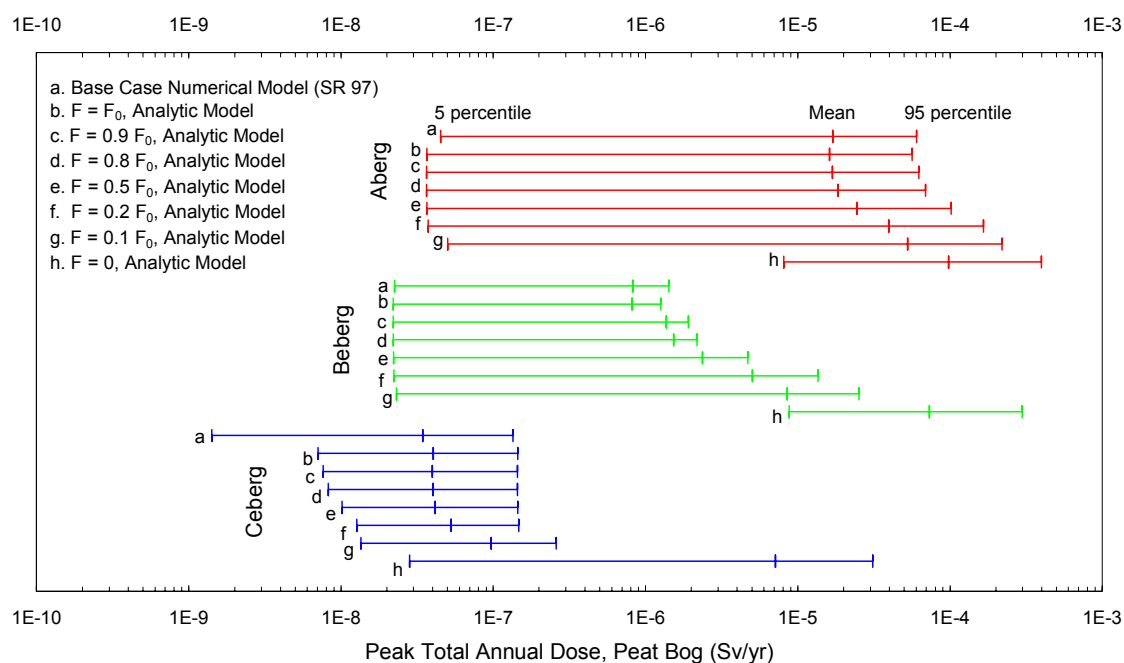
Vid placering av tillfartstunnlar med avsevärt högre genomsläpplighet än omgivande berg nedströms förvaret torde en rak ramp vara sämsta alternativ vid dominerande horisontell gradient vid förvarsnivå, medan schakt torde vara sämst vid dominerande vertikal gradient på förvarsnivå. En spiralramp kan tänkas ha bäst förutsättningar att fördröja transport, då tunnelns geometri inte direkt sammanfaller med någon dominerande strömningsriktning. Den preliminära slutsatsen gäller förmodligen inte för tillfartstunnlar med genomsläpplighet i samma eller ungefär samma storleksordning som omgivande sprickzoner. I detta fall kan en spiralramp tänkas kortsluta sprickzoner, och därmed skapa snabba transportvägar, i högre utsträckning än t ex ett schakt. Dessa förhållanden är högst plats specifika eftersom de beror av sprickgeometri och relation mellan sprickornas och tunnarnas genomsläpplighet. Diskussionen kring effekter av spiralramp, rak ramp eller schakt är här kvalitativ och kan endast kvantifieras noggrant efter omfattande platsundersökningar med givna egenskaper om anläggningens geometri och materialegenskaper.

Effekten av förhöjda flöden i tillfarts- och deponeringstunnlar på kapsel flöden är inte direkt studerade. Tidigare simuleringar inom SR 97 indikerar inga förhöjda kapsel flöden, även om kapseln är placerad i närheten av en konduktiv zon. Simuleringarna antar att berget närmast kapseln har låg genomsläpplighet; berget närmast kapseln bestämmer flödet kring kapseln.

Bedömningar av nuklidtransport vid försämrad återfyllning

Baserat på resultaten ovan, används nu reducerade F-värden för att illustrera betydelsen av försämrad återfyllning för transport- och dosberäkningar. De preliminära beräkningarna i det följande utgår från resultaten i SR 97 för tre platser. De är utförda med nyutvecklade, analytiska modeller /Hedin, 2002/, som ger snarlika resultat som de numeriska modeller som användes i SR 97. Figur 7-3 sammanfattar resultaten. Med en så kraftig reduktion i F som 90 % ökas medelvärdet av den maximala dosen med cirka en faktor 3 vid Aberg, 10 vid Beberg och 2 vid Ceberg. En helt försummad retention ger ett medelvärde för den maximala dosen av storleksordningen $1 \cdot 10^{-4}$, $7 \cdot 10^{-5}$ och $7 \cdot 10^{-6}$ Sv/år för Aberg, Beberg respektive Ceberg. Förenklat kan resultatet tolkas så att bergets retentionsförmåga vid Aberg redan med fullgod återfyllning är begränsad och inte kan försämrans mycket ytterligare. Vid Ceberg är berget tillräckligt bra för att tåla en sämre återfyllning medan Bebergs retentionsförmåga är mest känslig för försämringen.

Den viktigaste utsläppsvägen för isotopen Ra-226, den nuklid som dominerar då retentionen är svag, är den spricka som antas skära deponeringshållet. Sprickans retention försummas i beräkningen, vilket bör vara mycket pessimistiskt. Effekten av de reducerade F-värdena antas därför vara överskattade i beräkningarna.



Figur 7-3. Illustration av tunnelåterfyllningens betydelse för dos. Återfyllningens minskade kvalitet simuleras genom antagande att F-värdet reduceras. Beräkningarna är gjorda med en analytisk modell /Hedin, 2002/, och med SR 97-data för Aberg, Beberg och Ceberg.

Slutsatser, transportaspekter

Valet av schakt eller ramp har ingen betydelse för radionuklidtransport om återfyllningens transportmotstånd är lika låg som det omgivande bergets. Om så inte är fallet, kan simuleringsresultaten ovan /Outters och Shuttle, 2000/ användas för att uppskatta hur stor andel av retentionen som försvinner vid ett givet bortfall av transportlängd; drygt 50 % av den totala retentionen kan försvinna om de första 100 meterna av transportbanan avlägsnas, det vill säga sker genom en tunnel i vilken ingen retention tillgodoräknas.

Effekten av försämrad återfyllning på den resulterande dosen varierar från plats till plats. Både reduktion av F-värden och av den resulterande dosen är dock överdrivna i ovanstående exempel. Vid val av schakt, rak ramp eller spiralramp, finns det platsspecifika faktorer relaterade till sprickgeometri och genomsläpplighet i sprickor och tunnlar och dessa faktorer kan inte bedömas förrän efter omfattande platsundersökningar.

7.1.3 Klimatrelaterade förändringar

I tidsperspektivet hundratusentals år förväntas stora klimatförändringar med permafrost och glaciation i Sverige. Under perioder med klimat liknande dagens kan stora variationer av strandlinjens läge förekomma, och en plats nära den nuvarande kusten kan omväxlande vara land, sjö- eller havsbotten. Strandlinjeförskjutning kan medföra att områden som idag är land under längre perioder – flera tusentals år – täcks av havsvatten med en salthalt motsvarande den i världshaven. Situationen kan uppstå i skedet före eller efter en glaciation då jordskorpan är nedtryckt. Även vid en övergång till ett varmare klimat kan den relativa strandlinjen höjas om de nutida landisarna smälter och den globala havsnivån stiger. I en sådan situation borde dock inte Östersjöns salthalt bli lika hög eftersom förbindelsen med världshaven då troligen fortfarande begränsas till Öresund och Bälten. Perioden efter det att en plats täcks av havsvatten kan man förvänta sig ett densitetsdrivet grundvattenflöde. Då det inte längre finns någon densitetsgradient och platsen ligger under havsytan är grundvattnet i princip stillastående. Salthalt motsvarande havsvatten kan påverka återfyllningsmaterialets funktion så att dess svälltryck minskar eller går helt förlorat. Effekten är starkt beroende av vilket återfyllningsmaterial som används.

Vid transgression, då land blir havsbotten, skulle en ramp med nedsatt funktion hos återfyllningsmaterialet och som mynnar nära eller under strandlinjen kunna påskynda utbytet av sött vatten mot salt. Om så är fallet påverkas utbytet även av topografin och förekomst av naturliga flödesvägar med motsvarande egenskaper. Vid regression, då havsbotten blir land, skulle omvänt utbytet av salt vatten mot sött kunna bli påskyndat av den återfyllda tillfarten förutsatt att den har hög konduktivitet och dess riktning sammanfaller med gradienten för grundvattenflöde. När förvaret ligger helt under havets yta skulle utbytet av sött vatten mot salt eventuellt kunna ske snabbare i schakt än i ramp. När det söta vattnet trängts undan och grundvattnet är mer eller mindre stillastående borde schakt och ramp vara likvärdiga.

Permafrost innebär att temperaturen i marken är under 0 °C två somrar i rad. Frysning har mekaniska effekter och påverkar genom utfrysning grundvattnets sammansättning. Permafrostdjupen i Sverige under kommande klimatförändringar bedömdes i SR 97 till maximalt cirka 300 meter. Man skulle – även rent hypotetiskt – kunna tänka sig att återfyllda berggrum på grund av sina termiska egenskaper skulle förbli ofrusna medan det omgivande berget är fruset, på grund av tryck eller salthalter. Grundvattenflödet sker då i ofrusna delar även om frusna områden kan ha en viss permeabilitet. Vid permafrost skulle således ramp eller schakt hypotetiskt kunna bidra till ökad vattengenomsläpplighet i den frusna bergvolymen. Resonemanget om effekterna av spiralramp, rak ramp eller schakt på bergets transportmotstånd blir detsamma som i avsnitt 7.1.1 ovan. Frysning av återfyllningsmaterial kan påverka bergets vattengenomsläpplighet, genom att omgivande berg spricker av den mekaniska påverkan från återfyllningens expansion vid frysning.

/Guimerà et al, 1999/ har utrett nedträngning av glacialt smältvatten i berget. I datorsimuleringar som inkluderar de reducerande processer som bedöms vara dominerande i sprickor kan syre nå förvarsdjup (500 meter) om den advektiva hastigheten är högre än 10^{-5} m/s. Två parametrar är avgörande för syrets nedträngningsdjup, den reaktiva ytan och den advektiva hastigheten. Den reaktiva ytan kan förväntas vara betydligt större i återfyllningsmaterialet än i bergets sprickor och man kan därför anta att högre advektiv hastighet än 10^{-5} m/s krävs för att syre ska kunna transporteras till förvarsdjup genom schakt eller ramp. För att kunna påverka kapsel eller bränsleupplösning måste det syresatta vattnet transporteras in till kapselytan eller bränslet. Det finns inga geologiska indikationer på att syresatt vatten nått så stora djup som 500 meter. Sulfatrikt vatten som skulle kunna vara ett resultat av att syrerikt vatten har förekommit i finska undersökningsområden på ett djup ned till 300 meter.

Slutsatser klimatrelaterade förändringar

Under förutsättning att återfyllningens funktion är nedsatt skulle utbytet av sött mot salt vatten vid transgression och av salt mot sött vid regression eventuellt kunna påverkas av valet av schakt eller ramp. Förhållanden som kan påverka utbytet är hur länge tillfartens mynning befinner sig nära strandlinjen, närvaron av konduktiva zoner och deras egenskaper samt topografin. Fördelar av ett alternativ vid transgression skulle kunna vara nackdelar vid regression. Perioden förvaret ligger helt under ytan av ett salt hav borde dock vara viktigare för eventuell påverkan av saltvatten än övergångsperioden mellan land och havsbotten. Då förvaret ligger under havets yta bedöms valet av schakt eller ramp inte ha någon betydelse.

Ramp eller schakt kan vid permafrost förbli ofrusna och därmed ha större vattenledande förmåga än det omgivande berget. Om det är fördelaktigt med schakt, spiralramp eller ramp i denna situation är avhängigt samma resonemang som förs vid nedsatt funktion hos återfyllningsmaterialet vid dagens förhållanden, se avsnitt 7.1.2. Om återfyllningens funktion försämrats så att flödes hastigheten överskrider 10^{-5} m/s skulle syrerikt vatten kunna nå förvarsdjup i ramp, schakt och tunnlar. Om återfyllningens och buffertens redoxpotential inte är tillräcklig skulle syresatt vatten även kunna nå kapseln. Med hänsyn till att det inte finns några geologiska indikationer på att syresatt vatten har nått så stora djup, samt att återfyllning har större redoxbuffrande förmåga än konduktiva

sprickzoner är det dock inte troligt att situationen uppstår. Om det ändå skulle inträffa kan valet av schakt, spiralramp eller ramp inte ges någon betydelse. Kunskapen om de hydrauliska randvillkoren under en inlandsis är idag inte tillräckliga för att bestämma vare sig rådande grundvattentryck eller gradienter, vilket skulle krävas för att i detalj utreda skillnaderna mellan alternativen.

7.1.4 Betydelsen av schakt eller ramp ur perspektivet långsiktig säkerhet. Sammanfattande bedömning

Dagens omgivningsförhållanden

Om återfyllningens egenskaper och därmed dess funktion förblir intakta, bedöms valet av tillfartsalternativ liksom dess placering (upp- eller nedströms förvaret) vara utan betydelse för den långsiktiga säkerheten vad gäller såväl kemiska som transportegenskaper. Om återfyllningens funktion försämras över tiden måste förändringarna kvantifieras och konsekvenserna för flödes- och transportegenskaper analyseras platsspecifikt. Förenklade beräkningar ovan baserade på pessimistiska antaganden antyder att påverkan på resulterande doser i vissa fall skulle kunna bli betydande. För dessa förhållanden är det troligen en fördel att tillfarten placeras uppströms förvaret.

Klimatförändringar

Också vid de klimatförändringar som kan förväntas om tusentals år bedöms valet av tillfartsalternativ liksom dess placering vara utan betydelse för den långsiktiga säkerheten så länge återfyllningen förblir intakt. Vid en försämrad återfyllning blir slutsatsen beträffande transport av radionuklider densamma som för dagens omgivningsförhållanden, det vill säga att resulterande doser ökar, men att påverkan troligen blir måttlig. Effekterna bör bli minst om tillfarten placeras uppströms förvaret. Observera dock 1) att strömningsmönstret kan komma att vara förändrat på grund av klimatförändringarna, 2) att biosfären och därmed förutsättningarna för dosberäkningar förändras vid permafrost, glaciation och då platsen är sjö- eller havsbotten. Vid klimatförändringar skulle också syresatt vatten kunna tänkas tränga ned till förvarsdjup om den advektiva hastigheten är hög och den reaktiva ytan liten. Baserat på geologiska observationer bedöms situationen som osannolik. Såväl berget, återfyllningen som bufferten har dessutom redoxbuffrande förmågor som gör att fenomenet inte bedöms få någon betydelse för förvarets säkerhet, oavsett tillfartsalternativ och placering.

Sammanfattande bedömning

På grundval av preliminära analyser görs följande bedömningar: I nuläget kan man inte anse att något av alternativen rak ramp, spiralramp och schakt är avgjort sämre eller bättre med hänsyn till den långsiktiga säkerheten efter förslutning, varken vid dagens klimat eller vid klimatförändringar, inte heller om återfyllningens funktion försämras.

Placeringen av tillträdesvägar ”uppströms” eller ”nedströms” förvaret kan ha viss påverkan på långsiktig säkerhet i de fall då både ingenjörbarriärer (kapsel, buffert) och återfyllning har en nedsatt funktion. För denna situation är en placering av tillträdesvägar ”uppströms” förvaret möjligtvis att föredra. Största begränsningen av radionuklidtransporten sker i kapslars närområden. Utan kännedom om platsspecifika förhållanden är det inte möjligt att bedöma det platsspecifika värdet av att tillträdesvägar placeras ”uppströms” eller ”nedströms” förvaret.

Ytterligare, fördjupade analyser och utredningar kan endast bli meningsfulla om:

- platsspecifika data för berggrunden finns tillgängliga, samt
- återfyllningens sammansättning är specificerad och dess långsiktiga utveckling analyserad platsspecifikt.

Bedömningen är baserad på de allmänna överväganden som låter sig göras i detta skede.

7.2 Arbetsolyckor under byggande, drift och förslutning

När det gäller optimering av strålskydd för driften, används ALARA-principen. När det gäller olycksfall i arbetet i övrigt finns inga sådana allmänna principer, med en olycka är naturligtvis lika tragisk oavsett orsak.

I detta avsnitt ägnas utrymme åt frågan om det är skillnader i personsäkerhet under bygge, drift och förslutning av djupförvaret för de olika alternativen av tillträdesvägar. Vid drift diskuteras den allmänna driften och den kärntekniska driften separat, liksom frågor om brand.

7.2.1 Bygg- och anläggningsverksamhet

I samarbetet mellan ANDRA-Posiva-SKB rörande vissa jämförelsefaktorer vid val av schakt eller ramp genomförde Conrox på uppdrag av Posiva en smärre undersökning där information om dödsfall och olyckor i ramp och schakt insamlades och utvärderades. Avsikten var att samla data om dödsfall och övriga olycksfall under byggande och drift samt hur olycksfallsfrekvensen påverkas av utrustning (el- eller dieseldrift av tyngre transportfordon, typ av hissar och gejdrar, ålder på utrustning med mera). Eftersom det kan råda olika säkerhetskulturer i olika länder, har undersökningen gjorts landsvis över länderna Finland, Kanada, Norge, Sverige, Sydafrika och USA, se tabell 7-1. Det är företrädesvis verksamhet i underjordiska gruvor som studerats.

Tabell 7-1. Översikt av organisationer som bidragit med data och analyser i olycksfallundersökningen.

Land	Organisation
Finland	Safety Technology Authority Ministry of Social Affairs and Health, Dept. for Safety and Health Saanio & Riekkola Oy, www.sroy.fi
Kanada	Mines and Aggregates Safety and Health Association (MASHA), Ontario, www.masha.on.ca Ayotte Consulting and Management Services
Norge	Processindustriens landsförening. www.pil.no
Sverige	Svenska Gruvföreningen, www.mining.se Boliden Mineral AB, www.boliden.se LKAB, www.lkab.se Zinkgruvan, www.zinkgruvan.com Conrox
Sydafrika	Chamber of Mines of South Africa, www.bullion.org.za Safety in Mining Research Advisory Committee (SIMRAC), www.simrac.co.za
USA	National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), http://www.cdc.gov/niosh/mining/default.htm US Dept of Labor, Bureau of Labor Statistics, www.bls.gov US Dept of Labor, Mine and Safety and Health Administration, www.msha.gov

Många länder, särskilt USA, har relevant information lätt tillgänglig på nätet med databaser som kan hämtas direkt. Ett typiskt dataset för olyckor relaterade till mineralhantering för ett enskilt år omfattar omkring 19 000 poster med drygt 50 fält för varje post. Tyvärr samlas inte grundinformationen på så sätt att det direkt går att svara på de önskade frågorna.

Totala antalet miljoner arbetade timmar under jord sträcker sig från 558 i Sydafrika ner till 3 i Sverige och 1 miljon underjordstimmar per år i Finland. Dödsolyckor under jord är i storleksordningen 0,1–0,4 dödsfall per miljon arbetade timmar under jord med olycksfrekvens av omkring 8 till 40 per miljon arbetade timmar under jord för de undersökta länderna. Siffran 8 avser Sydafrika, men omfattar endast olyckor med mer än 14 dagars frånvaro. Med undantag av statistik från Kanada, Sydafrika och USA som redovisar var olyckor sker, är det inte möjligt att analysera olyckor i ramp eller schakt. I USA har det till exempel inträffat 10 dödsolyckor under perioden 1993–2002 som är knuten till verksamhet i vertikala schakt eller i lutande schakt/ramper.

Typiska olyckor i en ramp under byggande sker i anslutning till bergförstärkning. Under driften är det framförallt trafikolyckor som är vanligt förekommande. Bränder torde också vara vanligare vid ramp, eftersom fler fordon används vid ramp än vid schakt. Olyckor i schakt är framförallt orsakade av fallande föremål.

Bedömning

- Det är vanligare med olycksfall vid schaktsänkning än vid rampdrivning. Dödsolyckor har exempelvis inträffat både vid byggande av schakt i Gorleben för det tyska avfallsprogrammet och vid byggande av schakt i Bure för det franska avfallsprogrammet och vid byggandet av schakt i WIPP, USA.
- Olycksfall är vanligare vid drift av anläggning med ramp, än i schakt. Det är dock mindre sannolikt med allvarliga olyckor i ramp (t ex multipla dödsfall) än i ett schakt.
- Förebyggande underhåll och kontroller är i allmänhet av mycket högre standard för schakt och hissar än motsvarande åtgärder i rampen och för de fordon som trafikerar rampen.
- Överträdelse av säkerhetsbestämmelser är en vanlig orsak till olyckor.
- Byggande och drift av ramp och schakt ger olika riskbilder, men när riskbilden är känd, kan man minska risker via utformning, föreskrifter och via utbildning.

Rak ramp har fördelen att trafiksikten är god, men är farligare, eftersom konsekvens av förlorad fordonskontroll är väsentligt mycket allvarligare i rak ramp än i en spiralramp. Ett fordon som färdas i 8 km/timme i en ramp med lutningen 10 % har uppnått en hastighet av 30 km/h efter 33 meter, 50 km/h efter 96 meter och 70 km/h efter 190 meter om bromsverkan fullständigt saknas; vid en spiralramp sker kollisioner med bergväggar innan hastigheten blir för hög, förutsatt att det inte är för långa raksträckor i spiralrampen.

Alternativet ramp med sänkschakt och berghiss medför mycket stor minskning av transporter jämfört med ett rent rampalternativ, eftersom berg- och återfyllningsmassor transporteras i skip istället för på fordon; minskat antal fordon minskar risk för risk för allmänna fordonsolyckor, för brand och medför också en bättre arbetsmiljö.

7.2.2 Transport av kapsel med använt kärnbränsle

En nyckelfråga vid val av transport av kapsel i ramp eller i schakt är driftsäkerhet under transport av kapseln.

Fall i schakt

ANDRA har genomfört en preliminär studie, som refereras här, för att utvärdera risker under nertransport av kapseln i ett schakt försett med ett friktionsspel med motvikt där

spelet gör 10 000 cykler under ett år. Studien genomfördes med en så kallad FMECA-analys (Failure Modes, Effects and Criticality Analysis), som ofta används för riskanalyser inom processindustrier. Ett antal möjliga händelser analyserades. Vid vanlig gruvstandard bedömdes att sannolikhet för händelser var i storleksordningen 10^{-3} för 5 000 drifttimmar per år, förutom för händelsen fritt fall av hisskorg, som bedömdes vara i storleksordningen 10^{-6} . För händelser som fritt fall av transportbehållare, okontrollerat fall av hisskorg utan hisslinebrott, kollision mellan hisskorg och andra föremål i schaktet och händelsen tappade objekt på hisskorgen, bedömdes att denna sannolikhet kan minskas från 10^{-3} till omkring 10^{-5} eller 10^{-6} genom redundanta system säkerhetssystem för på- och avlastning av material, genom bättre styrsystem, genom större schaktdiameter och genom förbättrade arbets- och underhållsrutiner.

Förlorad kontroll av fordon i ramp

ANDRA har preliminärt studerat konsekvenser av förlorad kontroll av fordon i ramp. De studerade möjligheten att utforma rampen med korta raksträckor, så att fordonet inte får för hög hastighet vid en kollision med en bergvägg. Ett preliminärt resultat av studien är att det är bättre att fordon stöter i en vägg än att det välter. Hjulburna fordon kan sladda, medan det är större sannolikhet att spårbundna transporter välter. Ur den synpunkten är hjulburna fordon ett bättre alternativ.

Bedömning

Transport av transportbehållare med kapsel i hiss innebär en mycket tung transport. Den dimensionerande lastvikten är 85 ton för kapsel med en strålskyddad behållare (65 ton) och en transportvagn (20 ton). För denna vikt krävs en hisskorg som i sig beräknas väga 58 ton; den totala vikten är då 143 ton, förutom vikten av linor. Det finns endast en referensanläggning i världen för en så hög nyttig last – schaktet i Gorleben – som är projekterat för 85 ton nyttig last plus vikten av hisskorgen. Hissen är testad, men ännu inte installerad vid schaktet.

Sannolikhet för att hisskorgen tappas i schaktet är mycket låg men kan inte försummas och det är därför behov att anlägga någon typ av stötdämpare i schaktets botten, se kapitel 3.2.2. Vid ett eventuellt nukleärt läckage på grund av skadad transportbehållare bedöms det i en driftsäkerhetsstudie /Nirex, 2001/ att åtgärder är svårare och tar längre tid i ett schakt än i en ramp; den längre tiden bedöms då ge större radiologiska konsekvenser.

SKB har redan nu erfarenheter av bränsleelement i hiss (CLAB) och transport av avfallsbehållare i ramp (SFR). Som angetts i avsnitt 7.2.1 är högre frekvens av olyckor i ramp än i schakt mycket en fråga om förebyggande underhåll. Transportfordonen bör minst ha ett lika gott elektriskt, hydrauliskt och mekaniskt underhåll som motsvarande transporthiss. Det är också viktigt att utforma anläggningen så att förlust av bromsverkan inte medför skador på transportbehållaren. I perspektivet transport av kapsel synes spiralrampen ha fördelar över den raka rampen, om raksträckorna inte är för långa i spiralrampen.

Tunga transporter i schakt kräver omfattande utveckling av hissteknik och stora praktiska test för att verifiera säkerheten vid en tappad hisskorg, eller att föremål kan falla på hisskorgen utan skada. Detta alternativ är därför mindre intressant.

Det förutses att teknik för tunga transporter (även i ramp) har större potential för allmän teknisk utveckling genom den betydligt bredare marknaden för horisontella transporter.

7.2.3 Onormala drifttillstånd

Här diskuteras frågan om brand i ramp då transport av behållare med inkapslat bränsle genomförs.

SKB har i samarbete med Øresund Safety Advisers AB genomfört en studie av risk för brand och utvecklingen av brand i ramp med syftena att upptäcka eventuella skillnader i sannolikhet för brand vid diesel och eldrift, att redovisa säkerhetshöjande åtgärder på fordon och i ramp, samt att redovisa ett karakteristiskt brandförlopp i en ramp.

Studien genomfördes med felträdsanalys på statistiska data från olika källor. Analysen omfattar endast transporten av kapseln. Det förutsätts att trafikkontrollen ordnar att transportfordonet med transportbehållare för kapsel är den enda tunga, pågående transporten i rampen under nertransporten, som beräknas ta omkring en timme (7 km/h). Möten med lätta fordon kan endast ske vid en bestämd mötesplats i varje brandcell.

Frekvens av bränder

Genomgång av statistik från svensk gruvindustri, visar att årligen uppstår ett drygt 20-tal bränder under mark relaterade till fordonsbränder; ökad användning av antalet eldrivna fordon bedöms inte öka brandrisken, /Branteryd, 1985/. Baserad på olika överväganden antas att frekvensen av svåra bränder (Kategori I) är omkring $2 \cdot 10^{-3}$ /per fordonsår eller $2,6 \cdot 10^{-7}$ per fordonstimmar, om man antar att fordon används 8 000 timmar per år. En svår brand är en brand som kräver insats av brandmän för släckning. Motsvarande siffra för varje påbörjad brand är $1,6 \cdot 10^{-7}$ per fordonstimme.

För transport i rampen används sex fordon, ett för transportbehållare med kapsel, ett för bentonit och fyra för bergtransporter. Antalet fordonstimmar per deponerad kapsel framgår ur tabell 7-2. Om man antar att 200 kapslar deponeras per år, används fordonen totalt 5 600 timmar per år. Sannolikhet för en påbörjad brand är då $1,6 \cdot 10^{-7} \cdot 5\,600$, det vill säga en påbörjad fordonsbrand per 112 års drift, med sannolikheten 3,6 % att det är ett fordon med transportbehållare som brinner. Om förvaret drivs 25 år är det då 80 % sannolikhet att ingen brand överhuvudtaget påbörjas i rampen under fordonstransport. Sannolikheten för en fullt utvecklad brand är lägre, omkring 3 %, och att det är fordon med transportbehållare som är inblandad är omkring 0,1 % sannolikhet under förvarets drifttid.

Tabell 7-2. Driftstimmar i rampen för olika kategorier fordon.

Fordonstyp	Antal	Antal transporter/ deponerad kapsel	Antal timmar per transport	Fordonstimmar/ deponerad kapsel
Kapsel	1	1	2	2
Bentonit	1	1	2	2
Berg	4	6	1	24
SUMMA	6	–	–	28

Baserat på felträdsanalys är det möjligt att uppskatta frekvens av bränder med följande kvalitativa slutsatser:

- Sannolikheten för att en kollision leder till brand är säkerligen knuten till fordons hastighet, som är beroende av tillförlitlighet av bromssystem. Det är i detta stadium inte möjligt att skatta skillnader i tillförlitlighet mellan olika fordonstyper.
- Spiralrampen medför sämre sikt i kurvor, vilket ökar risken för kollisioner med andra fordon. Å andra sidan är körningen mindre monoton, vilket minskar risken att föraren, via insomning, förlorar kontroll över fordonen.
- Sannolikheten för spontan antändning av brännbara vätskor på heta ytor antas vara högre för dieseldrivna än för eldrivna fordon, eftersom det är större area heta ytor på det dieseldrivna fordonet och det också finns ett bränslesystem på dessa fordon. Skillnaden antas inte vara betydande, eftersom det i första hand är hydraulolja som är den vanligast förekommande brännbara vätskan vid bränder /Larsson, 1984/, vilket antas vara relaterat till de högre trycken i hydraulsystemen. Systemen har liknande utformning och funktionalitet för diesel- och eldrivna fordon.
- Sannolikheten för överhettning bedöms vara något högre för dieseldrivna fordon, eftersom de eldrivna fordonen saknar växellåda och har kompletterande bromssystem. Sannolikhet för överhettning av motorer har bedömts vara ungefär likvärdig mellan alternativen.
- Sannolikheten för en begynnande brand i elektriska system har bedömts vara högre i eldrivna fordon, eftersom systemet är mer omfattande och drivs vid högre elektrisk spänning.

Kvalitativa skillnader mellan olika fordonstyper rörande sannolikhet för en begynnande brand framgår ur tabell 7-3, där ”Betydelse” i tabellen är knuten till brandstatistik i svenska gruvor, men utan skala.

Tabell 7-3. Översikt av sannolikhet för bränder för olika händelser (+) avser en bättre lösning än (-). Betydelsen är knuten till brandstatistik i svenska gruvor, men utan skala.

Drivmedel	Elektriska system	Överhettning	Brännbar vätska
Dieseldrift	+	-	-
Eldrifft	-	+	+
Betydelse	***	*	**

Frekvensen av fullt utvecklade bränder kan endast skattas. Baserat på analys av händelsetråd och tillgänglig gruvstatistik, antas att endast var sjätte till var elfte enstaka brand leder till en större brand (Kategori I) Med användning av sprinklers, som har tillgänglighet av 92–97 %, antas att endast var hundra till trehundra till tredje enstaka brand leder till en stor brand.

Brandutveckling

Om nu en brand inträffar i rampen, hur kommer den att utvecklas? Brandmodellering ger härvid ett bra stöd för bedömningar. Den modellering som genomförts av Øresund Safety Advisers AB använde verktyget ”*Fire Dynamic Simulator FDS v2.2*” utvecklad av US National Institute for Standards and Technology /McGrattan, 2002/. Modellen tillämpar Navier-Stokes ekvationer för termiskt driven strömning vid låg hastighet, med tonvikt på rök och värmetransport från elden. Viktiga undermodeller är framtagna för turbulensmodellering, strålning, sot, pyrolys (termisk sönderdelning utan lufttillträde), flamspridning och för förbränning. Modellen tillämpas på en sektion av rampen (1 000 meter i längd) mellan två brandceller. Brand i rampen kan framförallt uppstå i elektriska installationer eller i ett transportfordon, men eftersom kabelbrand inte utvecklar hög temperatur över en lång tid, antas i modellen att det är en fordonsbrand som utvecklas. Det fordon som har mest brännbart material (på grund av sin storlek) är själva transportfordonet för kapseln, se tabell 7-4. Vi förutsätter i beräkningarna att fordon alltid är fulltankade, vilket de i verkligheten varken behöver eller bör vara vid nertransporter.

Tabell 7-4. Mängd brännbart material i ett transportfordon för kapseltransport, om fordonet är dieseldrivet.

Ämne	Mängd brännbart material (kg)
Diesel	370
Hydraulolja	430
Däck	1 200
Elkablage	390
Plast och stoppning	100

Det antas att elden orsakas av ett läckage av brandfarlig vätska (diesel eller hydraulolja) på en het yta; vätskan antänds, lite i taget och sprider sig och efter 30 minuter är vätskorna förbrukade. När branden sprider sig, antänds annat brännbart material på fordonet; däcken antas också brinna under 30 minuter. Baserat på mängd brännbart material och annan bakgrundsinformation, antas att avgiven värmeeffekt är 21,6 MW och konstant under 60 minuter. Om fordonet är eldrivet verkar branden 45 minuter istället, med hänsyn till frånvaro av diesel.

Modellen delas in i element som representerar rampens geometri. Beräkningstiden blir avsevärd med den valda elementindelningen (kuber med i snitt 0,15 meters sida). En 60 minuters simulering av brandutveckling tar om kring 10 dygn med en PC med Pentium 4 processorer (2,2 GHz) och 1 GB RAM-minne. Resultaten av brand- och rökutveckling redovisas kortfattat i tabell 7-5.

Tabell 7-5. Brand- och rökutveckling i rampen. Det är antaget att branden har full effekt (21,6 MW) efter 2 minuter.

Tid, t (min)	Utveckling i rampen
t+2	Fullt utvecklade effekt, 21,6 MW. Under de första två minuterna, då branden växer till, har röken spridits 150 meter från elden. Temperaturen i tunneltaket nära branden är 200 °C.
t+5	Temperaturen nära elden är 300 °C och röken har spridits 450 meter. Temperaturen når en kritisk temperatur för människor på ett avstånd av 15 meter nedanför branden.
t+10	Temperaturen nära elden överskrider 325 °C. Röken har spridits 750 meter. Temperaturen når en kritisk temperatur för människor på ett avstånd av 100 meter nedanför branden.
t+20	Ingen signifikant skillnad i taktemperatur. Röken når den övre brandcellsörren, omkring 950 meter från branden. Temperaturen når en kritisk temperatur för människor på ett avstånd av 300 meter nedanför branden.
t+30	Temperaturen är omkring 360 °C vid taket, nära elden. Ingen förändring i rökspridning eller temperatur nedströms.
t+40	Inga signifikanta förändringar.
t+50	Inga signifikanta förändringar.
t+60	Inga signifikanta förändringar.

För bedömning av bergförstärkningens beständighet, är temperaturutvecklingen viktig och det visar sig att temperaturen i tunnelns tak inom tre meter nedanför branden snabbt når upp till 300–350 °C och sedan efter 30 minuter långsamt sjunker ner mot 250 °C. Rökspridning sker med hastigheten 1,2 m/s, vilket är i samma storleksordning som för gående personer i rampen vid utrymning.

Den högsta flamtemperaturen som i beräkningarna är 1 083 °C och ligger därmed inom intervallet för verkligt uppmätta flamtemperaturer, 800–1 300 °C. Det är antaget att rampen ventileras med 8 m³/s och denna mängd syre är tillräcklig för att underhålla en brand upp till 24 MW.

Bedömningar för konsekvenser av brand i en ramp

På basis av de gjorda beräkningarna av brand- och rökutveckling görs följande bedömningar:

Personal

Den relativt höga takhöjden i rampen bidrar till säker utrymning. Röken sprids uppåt med hastigheten 1,2 m/s och är därmed i liknande storlek som gånghastighet uppför rampen. Med avstånd större än 300 meter från branden, är inte heller temperaturen ett problem.

Inredning och installationer

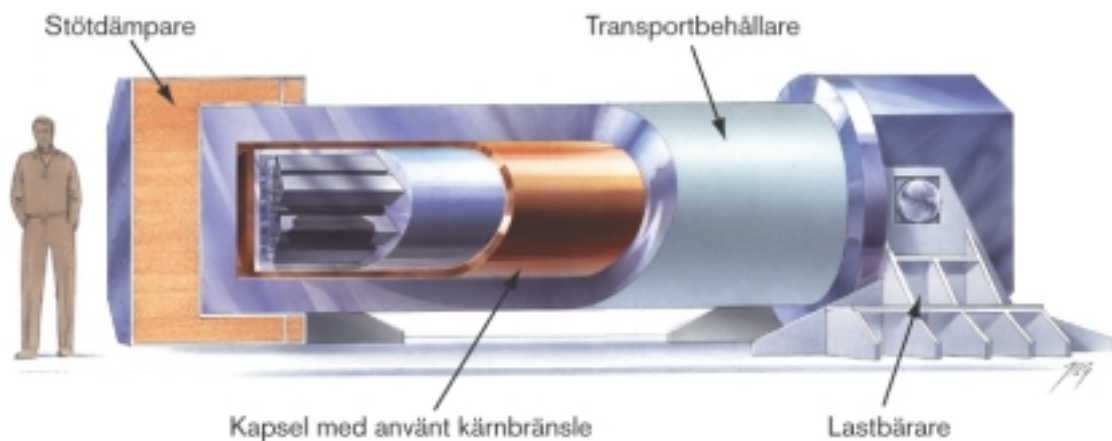
Rampen är klädd med betong eller sprutbetong. Betong är ett ej brännbart material och har bra beständighet vid brand upp till 500 °C, utan att förlora sin hållfasthet; över dessa temperaturer sker spjälkning. Med hänsyn till beräkningsresultaten är det möjligt att mindre spjälkningar kan inträffa mycket nära elden. Installationer är framförallt elkablage, som självantänder vid 300 °C; det är bara mycket nära elden – ett tiotal meter – som de brandresistenta kablarna 4,5 meter från rampgolvet antänds.

Transportbehållare för använt kärnbränsle

Kapseln transporteras i en behållare som uppfyller fordringar för transportbehållare enligt /IAEA, 1985/, se figur 7-4. När det gäller brand, är kraven att behållaren är dimensionerad för att tåla en flamtemperatur om 800 °C under 30 minuter. Denna studie redovisar flamtemperaturer av som högst 1 083 °C och att branden har en varaktighet av upp till 60 minuter. Utformning av transportfordon sker senare i SKB:s program och man har då att ta ställning till hur fordon utformas så att transportbehållare inte utsätts för direkta flammor, alternativt att behållarens egenskaper testas vid högre temperaturer. Det förutses att mer detaljerad brandanalys är en delaktivitet vid projektering av transportfordonet.

Bedömningar

Eldrift av truckar har vissa fördelar gentemot dieseldrift ur brandsynpunkt, eftersom avsaknad av diesel minskar risk för allvarlig brand och ger en mindre intensiv brand med kortare varaktighet.



Figur 7-4. Transportbehållare med kapsel. Efter /SKB, 2001b/.

Ur brandsynpunkt finns det smärre fördelar med en spiralramp, eftersom det torde minska risken för bränder orsakade av kollisioner på grund av tappad kontroll av fordonet. Spiralrampen underlättar också evakuering, eftersom utrymningsvägar finns vid varje stannplan.

Skillnader mellan eldrift och dieseldrift eller mellan rak ramp och spiralramp är inte betydande och har därmed begränsad inverkan på den övergripande optimeringen.

För att minska risken för bränder är det behov av åtgärder som:

- alla fordon förses med brandsläckare,
- truckar förses med sprinkler i motorrummet,
- rampen förses med brandvarnare och indelas i brandceller,
- styrd ventilation installeras för att underlätta eventuell brandbekämpning.

Den inledande analysen pekar på att sannolikhet för brand är låg. Spiralramp har en viss fördel, eftersom alternativet ger kortare utrymningsvägar. Ett rampalternativ medför i allmänhet fler fordon under jord och det ökar generellt brandrisken. Risk för brand i schaktet är mycket låg, eftersom schaktet inte innehåller brännbart material.

7.2.4 Förslutning

Skillnaden mellan att återfylla och försluta ett ramp- eller ett schaktalternativ är måttlig. Djupförvaret innehåller transport-, stam- och deponeringstunnlar med den totala längden 30–40 km som ska återfyllas och förslutas varför den adderade risken med ytterligare 5 km ramptunnel är måttlig. Både rampalternativ och schaktalternativ innehåller vertikala schakt som därvidlag är principiellt lika ur perspektivet arbetarskydd.

7.3 Omgivningspåverkan

Många påverkansfrågor är i princip likartade för djupförvaret, oavsett tillträdet byggs med ett schakt eller med en ramp. Tabell 7-6 visar särskiljande faktorer för val av tillfartsväg. Övriga faktorer som påverkar omgivningen (se avsnitt 6.2.3) bedöms inte vara särskiljande och hanteras därför inte närmare.

Frågan om omgivningspåverkan av schakt alternativt påverkan av en ramp är i huvudsak en fråga om i vad grad respektive alternativ kan platsanpassas. Påverkan på grundvatten kommer att ske i någon grad. Risken för påverkan är relativt sett störst med rak ramp, eftersom den varianten på tillfart har störst utbredning i plan. De större mängder massor som behöver hanteras i rampalternativet kan ha en stor påverkan på omgivningen, om transporter måste göras nära boendemiljö. Detta kan lösas genom olika åtgärder, t ex restriktioner i trafik, vägomläggningar etc.

Tabell 7-6. Särskiljande faktorer vid val av schakt eller ramp.

Faktor	Schakt	Ramp
Grundvattenpåverkan	En signifikant "brunn" med tydlig men relativt begränsad avsänkningstratt.	Beroende på utformning kommer rampen att påverka en större eller mindre bergvolym (rak ramp eller spiral). För minskad grundvattenpåverkan krävs tätning med injektering som ökar mängden främmande ämnen i berget och påverkar tid och kostnad.
Landskapsbild	Alternativet medför ökade byggnadshöjder, maximala höjden är omkring 30 meter över markytan för skipens hisstorn och omkring 40 meter för drifhissens torn.	Ökad mängd bergmassor för eventuell deponi.
Masshantering	Minsta volymen massor att hantera.	Större volym och större årlig maximal produktion. Ökad mängd transporter med eventuella störningar.
Buller och vibrationer	I schaktalternativet sker omlastningar ovan jord med eventuellt buller.	Större mängd massor som hanteras medför ökad risk för buller och vibrationer av trafik och masshantering. I rampalternativet så sker stor del av omlastningar vid drift under jord.

7.4 Hushållning med naturresurser

Som framkommer i avsnitt 6.2.4, är skillnaden mellan ramp och schakt omkring 200 000 m³ (12 %) i bergmassor och återfyllningsmassor. Skillnaden i det totala bergguttaget motsvarar det årliga bergguttaget i en liten gruva. Skillnaden i mängd bentonit för återfyllning mellan alternativen motsvarar cirka 1,5 % av den årliga världsförbrukning av bentonit och motsvarande leror som används för kattsand, 3,6 miljoner ton/år.

7.5 Totalkostnad, räknat som nuvärde

Kostnadsberäkning för olika alternativ utgår från SKB:s planrapport för år 2001, /SKB, 2001c/. Eftersom vissa kostnader, speciellt kostnad för återfyllning och förslutning, uppstår cirka 40 år efter drifttagning av anläggningen är samtliga investerings- och vissa driftskostnader nuvärdesberäknade till tidpunkten för planerad byggstart 1 januari 2009; se avsnitt 4.7 för räntenivåer. Tabell 7-7 är en sammanställning av särskiljande kostnadsposter för de olika alternativen.

Kostnadsöversikten innehåller stora osäkerheter. När det gäller investeringskostnad, så är kostnad för att projektera och visa funktion för en stötdämpare i kapselschaktet mycket osäker. När det gäller driftskostnader, så råder stor osäkerhet rörande skillnader i logistikkostnader mellan alternativen; här finns endast fördyringar på grund av bergtransporter i ramp medtagna.

Det billigaste alternativet är schaktalternativet. En ramp med sänkschakt får högre investeringskostnad och ger nuvärdet +100 miljoner kronor relativt schaktalternativet men med samma byggtid som för ett schakt. Ramp utan sänkschakt, sparar in kostnaden av ett schakt (200 miljoner kronor); å andra sidan är driftskostnader högre, eftersom allt berg körs upp till markytan. Vid jämförelse mellan tidsplaner, se vidare kapitel 7.6, behöver spiralramp omkring två års längre byggtid än för bygge av ett schakt eller bygge av ramp med ett sänkschakt. Vid skillnader i tidsplaner, antas att kostnaden för ett års extra byggtid är 500 miljoner kronor. Den diskonterade kostnaden för spiralramp utan sänkschakt är +725 miljoner kronor relativt det billigaste schaktalternativet.

Tabell 7-7. Sammanställning av särskiljande kostnadsposter vid jämförelse av tre alternativ, se tabell 2-1.

Typ av kostnad	Kostnad för alternativ (miljoner kronor) (se tabell 2-1)		
	Ramp alternativ U2, U3	Ramp + sänkschakt alternativ U4	Schakt alternativ U5
Investeringskostnad	670	870	550
Driftskostnad	180	0	0
Skillnad i SKB:s fasta kostnader genom olika byggtid	1 000	0	0
Totalt	1 850	870	550
Diskontering	-685	-330	-110
NUVÄRDE (MSEK)	1 165	540	440
Differens till alternativ med lägst pris	725	100	0

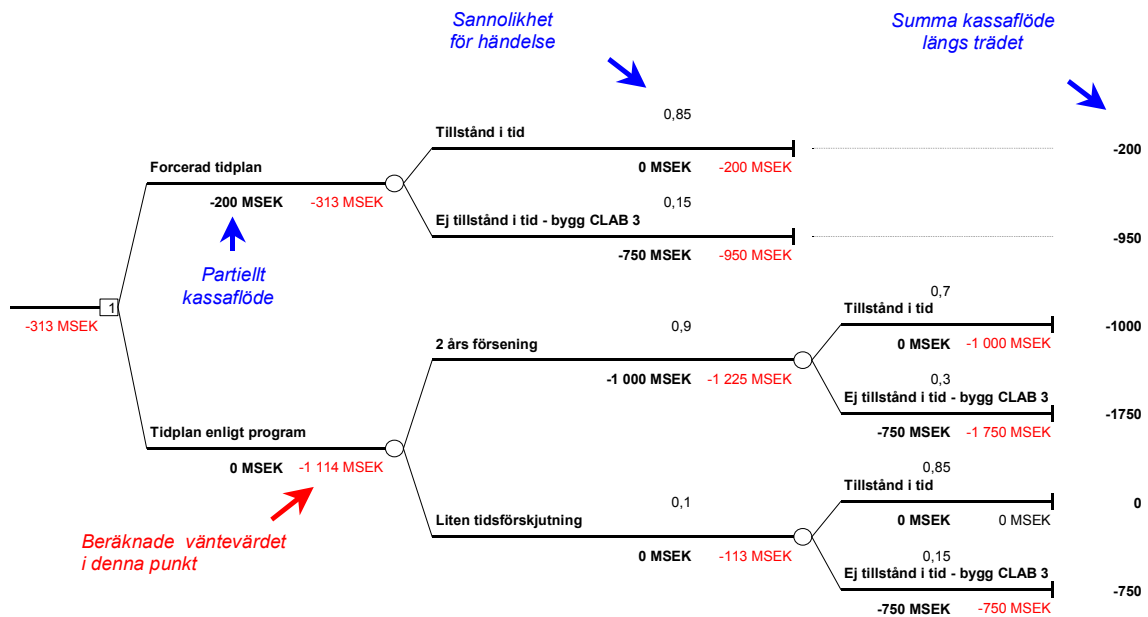
Med denna beräkningsprincip är schakt och ramp med sänkschakt relativt likvärdiga, jämfört med ett långsammare utbyggnadsalternativ. Kostnadsjämförelsen tar inte hänsyn till den högre flexibiliteten, eller lägre förmodade logistikkostnader i ett rampalternativ. Om dessa kostnader värderas till fem miljoner kronor/år, så blir nuvärdet ungefär lika för båda alternativen. I alternativet ramp med sänkschakt, torde det också vara möjligt att minska rampens tvärsnittsarea; de enda tunga transporter som kommer att förekomma i rampen är transport av kapsel och bentonitblock, vilket troligen gör det mindre intressant med eldrivna fordon, både med hänsyn till arbetsmiljö som kostnad. Rampens tvärsnittsarea kan då minskas från 47 m² till cirka 30 m², vilket kan innebära en kostnadsbesparing på upp till 250 miljoner kronor.

Till den totala kostnadsbilden hör också risken att CLAB behöver byggas ut om tidsplanen är för utsträckt. Det svenska kärnbränslet mellanlagras vid CLAB. Den första bassängen i CLAB rymmer cirka 5 000 ton och den andra bassängen 3 000 ton använt kärnbränsle. Den andra bassängen kan utökas till 5 000 ton genom byte av kassetter och förutsatt att inga hårdkomponenter fortsättningsvis mellanlagras vid CLAB. Deponering i ett djupförvar bör påbörjas omkring 2020 för att undvika att en tredje bassäng anläggs med investeringskostnaden omkring 750 miljoner kronor.

Genom en förkortad byggtid finns ökad tid att genomföra kompletterande arbeten, och samråd kring djupförvaret, utan ekonomisk risk att behöva bygga ut CLAB med en tredje bassäng. Vidare medför den kortare byggtiden en minskning av SKB:s ”fasta” kostnader att genomföra programmet, som är omkring 500 miljoner kronor per år. Nyttan av två års kortare byggtid genom att parallellt anlägga ramp och sänkschakt kan åskådliggöras i ett så kallat besluts- händelsetråd, se figur 7-5.

Vi antar att sänkschaktet anläggs för kostnaden 200 miljoner kronor och att vi därmed förkortar hela projektet med två år. Trots denna tidsförkortning antas att det finns viss sannolikhet att CLAB 3-utbyggnaden blir försenad. Vi ansätter här ett fiktivt sannolikhetsvärde om 15 % vilket ger väntevärdet –313 miljoner kronor (övre trädet i figur 7-5).

Alternativet att inte korta byggtiden ger två års längre byggtid och en ökning av SKB:s projektkostnad om 1 000 miljoner kronor (undre trädet i figur 7-5). Vi antar att sannolikheten för den längre byggtiden med den högre kostnaden är 90 %, eftersom det inte kan uteslutas att det finns sätt att korta tiden med projekttiden två år och utan kostnad. Med hänsyn till den längre projekttiden, minskar sannolikheten att bli klar i tid och här ansätts fiktivt att det är 30 % sannolikhet att CLAB 3 behöver byggas. Det totala väntevärdet för alternativet att inte bygga ett sänkschakt parallellt med rampdrivning är då –1 114 miljoner kronor; det skiljer således 800 miljoner kronor i väntevärde mellan alternativen.



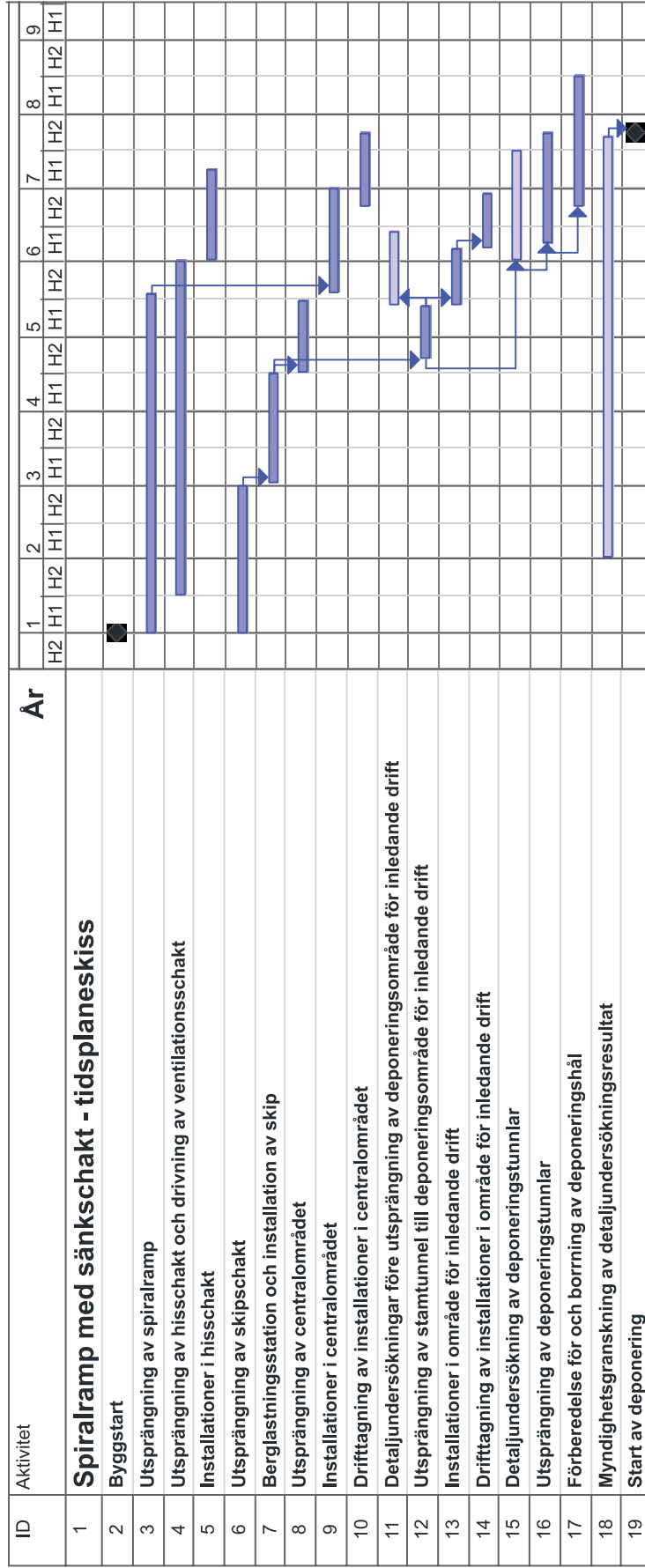
Figur 7-5. Besluts- händelseträd för bedömning av ekonomisk konsekvens genom val av snabbare alternativ. "Tillstånd i tid" avser att man kan påbörja deponering utan att behöva bygga ut mellanlagringutrymmen i CLAB.

7.6 Tider

Olika utformningar ger olika anläggningstider. Tabell 7-8 ger en översikt när deponering kan påbörjas vid olika anläggningsalternativ och skillnader mellan alternativ uppgår som mest till knappt två år. Tidpunkterna bygger på de förutsättningar som framgår ur kapitel 4 med byggstart År 1. Ett preliminärt exempel på tidsplanlogik för alternativet spiralramp med samtidigt byggande av sänkschakt framgår ur figur 7-6.

Tabell 7-8. Jämförelse när deponering av kapslar påbörjas för olika anläggningsalternativ. Byggstart 1 januari 2009.

Alternativ	Tidsomfång (år, mån)
Rak ramp, alternativ U2	8 år, 5 mån
Spiralramp, alternativ U3	8 år
Spiralramp med sänkschakt, alternativ U4 – Skipschakt och ramp byggs samtidigt	6 år, 9 mån
Schakt, alternativ U5 – Skipschakt och driftsschakt byggs samtidigt	6 år, 9 mån



Figur 7-6. Preliminärt exempel på tidsplanlogik för alternativet spiralramp med samtidigt bygge av sänkschakt, alternativ U4.

7.7 Flexibilitet

När det gäller valet av schakt eller ramp är det ett flertal faktorer som bedöms med hänsyn till begreppet flexibilitet. Det allmänna omdömet är att en ramp medger större flexibilitet än ett schakt. I det följande utvecklas detta:

- **Platsanpassning.** En rak ramp kan i markytan anläggas upp till 5 km från själva förvarsplatsen. Det medför stor flexibilitet att anlägga ett byggområde för hantering av massor och tunga transporter som är avskilt från förvarsområdet som väljs ut för sina goda bergegenskaper. Denna flexibilitet är användbar för att i förekommande fall minska omgivningspåverkan vid djupförvarsplatsen. Nackdelen är att alla transporter av berg- och återfyllnadsmassor måste transporteras i rampen.
- **Undersökningar under bygg- och drifttid.** Rampen är en 8–10 gånger längre sträcka i berget än schaktet, vilket medför att rampen har bättre förutsättningar att tidigt ge en representativ, kompletterande bild till platsundersökningarna. Rampen ger möjlighet att praktiskt bedöma byggbarhet, injekterbarhet, bergets bergmekaniska respons på ett helt annat sätt än en schaktlösning. Schaktet placeras normalt i bra berg och data från schaktsänkningen ger erfarenheter endast från det goda berget. Rampen kan ge goda möjligheter att nå intressanta sprickzoner för karakterisering till en begränsad anläggningskostnad, om zoner ligger nära där rampen ändå passerar. Om man ska samla motsvarande data i en schaktlösning behövs tunneldrivning från schaktet till det intressanta området, som medför avsevärda kostnader och förlängning av byggtiden. Det är i nuläget inte uppenbart att denna nyttighet behövs på platserna; den kan först bedömas, när man analyserat vilka frågeställningar som kvarstår efter platsundersökningarna.
- **Tunga transporter.** Dimensionering av tunga transporter sker utifrån gällande krav och leder fram till en bestämmande sektion, lutning och en maximal vikt. Om krav på tunga transporter med tiden förändras, så kan vid ramplösningen transportfordon anpassas. Om krav på bestämmande sektion utökas, kan rampen, dock med möda, utökas. Vid schaktet föreligger inte samma flexibilitet att ta hänsyn till förändrade krav. Om vikten ökar, kan det vara behov av att bygga ett helt nytt spel med ny schaktinredning. Det är inte möjligt att öka arean utan att bygga om schaktet helt och hållet. En skillnad i lösningarna är att rampen kan användas för sina andra ändamål under ombyggnad. Vid en ren schaktlösning kan inte schaktet användas under ombyggnadsperioden och man behöver alternativa planer. Inte i något fall bedöms att frekvensen av tunga transporter ska öka så kraftigt att kapacitet är underskattad.
- **Servicetransporter.** Ökad frekvens av servicetransporter kan lätt hanteras i rampen. I schaktlösningen är det inte uppenbart att man kan få sitt behov tillfredsställt i rätt tid, eftersom personal för omlastning kan vara upptagen, hiss kan vara låst för andra viktiga transporter av personal eller besökare. Schaktet kräver ständiga omlastningar av material och människor.
- **Personaltransporter.** Det tar längre tid att åka bil från markytan till deponeringsnivån än att åka hiss, även om väntan vid en hiss kan kännas lång. Å andra sidan ska ju personalen kanske ut till ett deponeringsområde någon kilometer från hissen. Vid schaktlösning måste det finnas en väl dimensionerad transportapparat som hanterar

den servicetransporten och transport av personal till arbetsplatsen under jord. Rampen är en mer flexibel, men är inte säkert den billigaste eller effektivaste lösningen för personaltransporter, utan alternativet måste kompletteras med en personhiss.

- **Onormala drifttillstånd.** Onormala tillstånd är till exempel bergras, översvämning, strömavbrott, brand. En ramp ger större flexibilitet att välja utrustning för att hantera bergras, installera tillfälliga pumpsystem, installera alternativ strömförsörjning (t ex via mobila reservaggregat). I nuläget bedöms att rampen ger större möjlighet att göra åtgärder vid onormala tillstånd.
- **Upphandlingar.** Det är få svenska entreprenörer som idag klarar kvalificerade undermarksbyggen. Vid schaktsänkning förmodas utländska underentreprenörer krävas för att göra större delen av arbetet. På grund av svenska, begränsade praktiska erfarenheter från att genomföra schaktsänkningar och utländska entreprenörers begränsade erfarenheter av omfattande och integrerade bergundersökningar i samband med schaktsänkningen, behövs ett väl fungerande konsortium som kan hantera justeringar under arbetets gång. Å andra sidan innebär rampen en större variation i bergförhållanden med tillhörande risker i tid och kostnader.
- **Förändrade krav.** Det förutses att samhällets och kanske också ägarnas krav förändras under den tid som förvaret byggs, drivs och försluts. Faktorer kan t ex vara politiska/legala, sociala/kulturella, tids- eller miljömässiga, ekonomiska och eller tekniska/vetenskapliga och i dessa förändringar ska intressenternas inflytande beaktas. Det går för långt att här i detalj försöka förutspå framtida förändringar, men det är uppenbart att SKB:s ”projekt” spänner över närmare ett sekel och förändringar sker säkerligen i synen på strålskydd, arbetarskydd och omgivningspåverkan. Förändrade krav medför också förändrade lösningar. I perspektivet ramp, schakt ska dessa investeringar successivt kunna anpassas till förändringar i krav. I nuläget är den subjektiva, intuitiva bedömningen att en väl dimensionerad ramp är fördelaktig för möjliga förändringar i ökade strålskyddskrav (större transportbehållare), större och tyngre kapsel, ökade krav på frekventa transporter. En schaktlösning bör vara (kraftigt) överdimensionerad för att kunna möta framtida förändringar i krav.
- **Teknikutveckling.** Under den kommande hundraårsperioden sker troligtvis teknikutveckling på motsvarande sätt som tidigare. I underjordsarbeten har utvecklingen varit från muskelkraft till mekanisering. Under jord är det nu få arbeten som inte är mekaniserade. Trenden nu är att gå från mekanisering till automatisering av arbetet. I detta perspektiv är det förmodligen enklare att hantera transporter i schakt än i ramp. Transporter i ramp kan säkerligen också automatiseras, men då ska man säkerställa att fordon inte slirar eller sladdar. Förutom automatisering är det naturligtvis många andra trender som kan vara gällande i framtiden och det är i nuläget inte möjligt att bedöma om ramp eller schakt i dessa avseenden är det mest flexibla valet.

7.8 Projektrisker

Projektrisker är i allmänhet inarbetade i bedömningar av säkerhet, omgivningspåverkan, teknik, ekonomi och tidsplaner. Det har som nämnts inte genomförts en fullständig och systematisk riskanalys för de olika alternativen inom ramen för denna studie; alternativen diskuteras här endast översiktligt. Transport av kapsel i schakt är mycket säker, liksom transport av kapsel i ramp. Bedömningen är dock att konsekvenser av olyckor i schakt (tappad transportbehållare med kapsel) är allvarigare än risker i ramp (förlorad kontroll av fordonet eller brand i ramp). För schaktalternativet behöver man utveckla och testa anordningar som klarar att relativt mjukt bromsa in en fritt fallande hisskorg med tyngden omkring 143 ton. En annan omständighet är att det endast finns en enda referensanläggning för hisstransporter vid dessa tyngder. Det bedöms behövas betydligt mer omfattande projektering för transport av kapsel i schakt än transport i ramp. Vidare behöver detaljerad schaktprojektering påbörjas tidigare än motsvarande projektering i rampen. Tillgången på inhemsk kompetens att bygga schakt är betydligt mindre än kompetensen att bygga ramp. Schaktet ger mindre frihetsgrader för platsanpassning, eftersom schaktet bör placeras i gott berg, å andra sidan ger placeringen i det goda berget säkerligen också mindre risker för tidsföröningar under byggtiden.

Sammantaget är det inte nu möjligt att i nuläget värdera vilket alternativ som minimerar projektriskerna.

7.9 Sammanfattande bedömning

Den sammanfattande bedömningen här motsvarar steg 6 i tabell 6-1. Som framgår ur tabell 7-9 har alternativen styrkor och svagheter. En viktig slutsats är att man kan bygga och driva ett djupförvar både med schakt och med ramp. Schaktets fördelar är den förhållandevis korta byggtiden och sammanhängande låga totalkostnad. Här har dock inte kostnader för att projektera och testa system för att dämpa fallande hisskorg beräknats. Det är också svårt att uppskatta skillnader i logistikkostnader mellan alternativen. Rampens fördelar är flexibilitet och säkrare arbetsgenomförande. Totalt sett är rampalternativet enklare att projektera, bygga och driva och dess flexibilitet är av mycket stort värde.

Tabell 7-9. Sammanfattande bedömning av alternativ i förhållande till uppsatta mål. ”+” (alternativet ger bättre måluppfyllelse), ”-” (alternativet ger sämre måluppfyllelse), ”0” (alternativet är varken sämre eller bättre för måluppfyllelse).

Mål	Alternativ (se tabell 2-1)					Kommentar
	Rak ramp	Spiralramp	Ramp och sänkschakt	Schakt		
	alternativ U2	alternativ U3	alternativ U4	alternativ U5		
Låg stråldos efter förslutning enligt ALARA-principen	0	0	0	0	0	Placeringen av tillträdet har säkerhetsmässig betydelse om återfyllningens funktion försämras med tiden.
Inga olyckor under bygge och drift	+	+	-	-	-	Schakt kan förmodligen medföra allvarigare olyckor under bygge, men innebär förmodligen säkrare drift. Både schakt- och rampalternativ ger hög säkerhet vid transport av kapsel.
Låg omgivningpåverkan	0	0	0	0	0	Platsspecifika förhållanden är inte bedömda.
Hushållning av resurser	0	0	0	0	0	Skilnaden mellan alternativ små.
Låg totalkostnad	-	-	+	+	+	Bedömningen innehåller diskonterade kostnader för olika anläggningsstid. Skillnader i driftskostnader mellan alternativ är svåruppskattad. Ingen hänsyn här till att olika alternativ ger olika risker för behov av att bygga CLAB, etapp 3.
Kort genomförandetid	-	-	+	+	+	Schakt förutsätter bra berg i schaktläget.
Hög flexibilitet	+	+	+	+	-	Val av ett (spiralramp) eller två driftområden (rak ramp) är en platsspecifik fråga.
Små projektrisker	0	0	0	0	0	Projektrisker analyseras före det platsspecifika valet

8 Motiv för rekommenderad utformning

Med utgångspunkt från SKB:s krav är ett flertal alternativa lösningar för tillfartsvägar från markytan till deponeringsområden studerade, se tabell 2-1. Huvudalternativen är ramp med ett eller två driftområden (alternativ U2 och U3), ramp med parallell drivning av ett sänkschakt (alternativ U4) och ett alternativ med bara schakt (alternativ U5).

Samtliga studerade huvudalternativ är genomförbara och säkra. Vid jämförelser av alternativen sinsemellan, bedöms dock alternativet med ramp och samtidig drivning av ett sänkschakt (alternativ U4) vara det mest fördelaktiga. Alternativet har den högsta flexibiliteten utan påtagliga nackdelar när det gäller långsiktig säkerhet, miljö eller tidsplan. Det är också en mycket stor fördel att fordonstrafiken, med risk för olyckor och brand i ramp, minskar avsevärt då transporter av berg- och återfyllningsmassor sker med hiss istället för att transporteras med fordon i ramp. Den diskonterade totalkostnaden för detta alternativ är visserligen 100 miljoner kronor högre än för det billigaste alternativet med bara schakt, men omkring 600 miljoner kronor billigare än de dyraste alternativen med ramp utan sänkschakt. I de diskonterade kostnaderna är inte värden av skillnader i flexibilitet och logistik medräknade.

Vid valet mellan ett driftområde (spiralramp) eller två driftområden (rak ramp), är ett driftområde att föredra med hänsyn till en rationellare drift av djupförvaret, om inte de platsspecifika förutsättningarna motiverar behov av två driftområden.

Alternativet U5 (bara schakt) och alternativet U1 (dubbeltunnel) bör avföras som alternativ, om inte de platsspecifika förutsättningarna uppenbart föranleder att alternativen bör utredas vidare.

Referensutformningen bygger på att rampen är sprängd. Möjligheten att en rak ramp drivs med TBM utreds vidare. Denna utredning styrker att hjulburen utrustning i ramp är att föredra framför spårbunden, i enlighet med den nuvarande referensutformningen. Transport med spårbunden utrustning eller transportband bör avföras som alternativ, om inte teknisk utveckling senare, uppenbart ger skäl för andra alternativ.

9 Diskussion

Denna rapport redovisar resultat från SKB:s projekt *Tillträde till djupförvarets deponeringsområden* som jämför olika möjligheter och lämnar rekommendationer för principiella lösningar för tillträdet.

Målen för projektet har bland annat varit att ta fram underlag för, och jämföra principiella lösningar för tillträde till djupförvaret som grund för den fortsatta platsspecifika utformningen på de tänkta förvarsplatserna. Ytterligare ett mål med studien var att närmare beskriva och exemplifiera systematik och metodik för optimering av utformningen av djupförvaret. SKB använder denna studie som ett delunderlag i den fortsatta, platsspecifika projekteringen.

En utgångspunkt för studien är de övergripande konstruktionsförutsättningar som redovisats i /SKB, 2002a/. Förutsättningarna har tillämpats inom ramen för detta projekt och de har befunnits vara ändamålsenliga.

Det framtagna underlaget för rekommenderade utformningar skiftar i omfattning beroende på frågornas karaktär och tillgång till data och erfarenheter. Det är mycket värdefullt för denna studie, att påverkan på den långsiktiga säkerheten är bedömd för de olika alternativen. Användning av förenklade, analytiska värderingsmetoder är i det avseendet av stor praktisk betydelse. De preliminära analyserna och slutsatserna underbyggs naturligtvis senare i den omfattande säkerhetsredovisningen i samband med tillståndsprovningar.

När det gäller frågor om säkerhet under byggande och drift har samarbetet mellan ANDRA (Frankrike), Posiva (Finland) och SKB (Sverige) varit utomordentligt betydelsefullt och stimulerande och inneburit ett väsentligt bredare underlag för bedömningarna. Kostnadsbedömningar är behäftade med stora osäkerheter, då framförallt när det gäller att bedöma de framtida logistiska kostnaderna för de olika alternativen.

En viss systematik vid optimering är lämplig. De väsentliga elementen i metodiken som används i detta projekt är att upprätta mål för projekteringen och därefter systematiskt värdera alternativen i förhållande till de uppsatta målen. De mål som ska uppnås i projekteringen, torde vara av relativt lika för alla projekteringsfrågor. Metodiken kan säkerligen tillämpas för andra projekteringsfrågor, som val av horisontell eller vertikal deponering.

10 Referenser

Axelsson C-L, Follin S, 2000. Grundvattensänkning och dess effekter vid byggnation och drift av ett djupförvar, SKB R-00-21. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Branteryd T, 1985. Risker vid användande av elektriskt drivna lastmaskiner under jord. Stockholm: Svenska Gruvföreningen, Gruvföreningen serie B, nr 275.

DOE, 2001. Waste Isolation Pilot Plant. Safety Analysis Report. Contact-Handled Transuranic Waste Disposal Operations. DOE/WIPP-95-2065, July 31, 2001. Rev 5.

Follin S, 1995. Geohydrological simulation of a deep coastal repository, SKB TR 95-33. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Guimerà J, Duro L, Jordana S, Bruno J, 1999. Effects of ice melting and redox front migration in fractured rocks of low permeability. SKB TR-99-19. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Hane K, Okutsu K, Matsui N, Kosugi S, 2002. Applicability for pneumatic capsule pipeline system to radioactive waste disposal facility. Waste Management'02, February 24–28, Tuzcon, Arizona.

Hazelrigg G A, 1996. Systems engineering: An approach to information-based design. Prentice Hall, USA, ISBN 0-13-461344-9. 469 p.

Hedin A, 2002. Integrated analytic radionuclide transport model for a spent nuclear fuel repository in saturated, fractured rock. Nuclear Technology Vol. 138, May 2002, 179–205.

IAEA, 1985. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Materials, 1985. IAEA Safety Series No 6 (as amended 1990).

IAEA, 2002. Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure. Safety Report Series No 21. 66 p. ISBN 92-0-110302-6.

Larsson O, 1984. Fordonsbränder i gruvor och andra underjordsanläggningar. Stockholm: Svenska Gruvföreningen, Gruvföreningen serie B, nr 271.

McGrattan K, 2002. Fire Dynamic Simulator (Version 2) – technical reference guide, NISTIR 6783, National Institute of Standards and Technology, USA.

Meech J, Ulansky, 2002. Development of a magnetically levitated skip to hoist ore. CIM Vancouver 2002. 104th Annual General Meeting. Paper TUAM-393. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, Montreal, Quebec.

Nirex, 2001. Report 278: The feasibility of tunnelled link and drift access to the Sellafield; Report 292: Options study on access drifts and shafts; Report 358: Pre-public inquiry. Nirex deep waste repository underground rock characterisation facility. Feasibility Study; Report 600: Rock Characterisation Facility Environment Statement; Report 601, RCF, Planning application. Report No. N/030 Generic Repository Studies. Generic Operational Safety Assessment: Operational Safety Report.

NWTRB, 1990. First report to the U.S. Congress and the U.S. Secretary of Energy. Nuclear Waste Technical Review Board. Washington D.C.

Outters N, Shuttle D, 2000. Sensitivity analysis of a discrete fracture network model for performance assessment of Aberg, SKB R-00-48. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Posiva, 2000. Disposal of spent fuel in Olkiluoto bedrock. Programme for research, development and technical design for the pre-construction phase. Posiva 2000-14. ISBN 951-652-100-2.

SKB, 2000. Samlad redovisning av metod, platsval och program för platsundersökningsskedet. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISBN 91-973987-0-5

SKB, 2000b. Förstudie Östhammar. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISBN 91-972810-4-2.

SKB, 2001a. FUD-program 2001. Program för forskning, utveckling och demonstration av metoder för hantering och slutförvaring av avfall. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISSN 1104-8395.

SKB, 2001b. Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E. Rak ramp med två driftområden. SKB R-01-57. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISSN 1402-3091.

SKB, 2001c. Plan 2001. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISSN 1402-3091.

SKB, 2002a. Övergripande konstruktionsförutsättningar för djupförvaret i KBS-3-systemet. SKB R-02-44. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISSN 1402-3091.

SKB, 2002b. Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E. Spiralramp med ett driftområde. SKB R-02-18. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISSN 1402-3091.

SKB, 2002c. Djupförvar för använt kärnbränsle. Anläggningsbeskrivning – Layout E. Schaktalternativ med ett driftområde. SKB R-02-19. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISSN 1402-3091.

SKB, 2002d. Plan 2002. Kostnader för kärnkraftens radioaktiva restprodukter. Svensk Kärnbränslehantering AB. ISSN 1402-3091.