

R-98-16

Nord-syd/Kust-inland

Generella skillnader i förutsättningar för lokalisering av djupförvar mellan olika delar av Sverige

Bengt Leijon

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 1998

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-98-16

Nord-syd / Kust-inland

Generella skillnader i förutsättningar för lokalisering av djupförvar mellan olika delar av Sverige

Bengt Leijon

Svensk Kärnbränslehantering AB

November 1998

Förord

SKB tar fram omfattande underlag för ett beslut om var i landet djupförvaret för använt kärnbränsle ska lokaliseras. Denna utredning avser att bidra till beslutsunderlaget, genom att belysa hur faktorer som i olika avseenden påverkar förutsättningarna för en sådan lokalisering kan variera mellan de norra- och södra delarna av landet, samt mellan kusttrakter och inland. Intentionen har varit att ge en helhetsbild av vilka dessa faktorer är, hur de kan variera och varför, samt indikera möjliga konsekvenser för djupförvaret.

Utredningen utgör en av huvudreferenserna till SKB:s FUD-program 98. Den har tillkommit bland annat som en följd av påpekanden i ett regeringsbeslut från december 1996, avseende kärnavfallsprogrammet. Beslutet behandlar SKB:s FUD-program 95 och innehåller anvisningar om underlag som bör tas fram i nuvarande skede av lokaliseringsarbetet för djupförvaret.

Innehåll

Förord

Sammanfattning	7
1 Introduktion	9
1.1 Avfallsprogrammet	9
1.2 Lokalisering av djupförvaret	11
1.2.1 Bakgrund	11
1.2.2 Nuläget	11
2 Denna utredning	15
2.1 Bakgrund	15
2.1.1 Översiktsstudie 95	15
2.1.2 Regeringsbeslut, december 1996	16
2.2 Syfte	16
2.3 Omfattning och begränsningar	17
2.3.1 Alternativ	17
2.3.2 Lokaliseringsfaktorer	17
2.3.3 Begreppen ”nord-syd” och ”kust-inland”	18
3 Förutsättningar för långsiktig säkerhet	21
3.1 Principer för säker förvaring	21
3.2 Nord eller syd, kust eller inland?	22
3.2.1 Viktiga faktorer	22
3.2.2 Berggrunden	23
Bergarter och deformationszoner	23
Mekanisk stabilitet	25
Risker för framtida intrång	28
3.2.3 Grundvattnet	28
Grundvattenströmning	29
Grundvattenkemi	31
Salt grundvatten	32
3.2.4 Biosfären	42
3.2.5 Förändringar på lång sikt	43
Strandförskjutning	43
Klimatförändringar och glaciation	51
3.2.6 Förläggning under havet	58
3.3 Sammanfattande bedömning – säkerhet	60

4	Tekniska förutsättningar	63
4.1	Djupförvaret	63
4.1.1	Anläggningar ovan och under jord	63
	Industriområdet	63
	Berganläggningen	63
	Alternativ för utformning	65
4.1.2	Nord eller syd, kust eller inland?	66
	Viktiga faktorer	66
	Bergtemperatur	68
	Underhållsbehov under jord	71
4.1.3	Förläggning under havet	72
4.2	Transporter	74
4.2.1	Befintligt och planerat transportsystem	74
4.2.2	Nord eller syd, kust eller inland?	76
	Viktiga faktorer	76
	Sjötransporter	78
	Landtransporter	80
	Transportsäkerhet	83
	Kostnader	85
	Andra faktorer	88
4.3	Sammanfattande bedömning – teknik	88
5	Mark och miljö	91
5.1	Markanvändning och markskydd	91
5.1.1	Lagar och regler	91
5.1.2	Nord eller syd, kust eller inland?	92
	Viktiga faktorer	92
	Befolkning, mark och industri	93
	Naturvård, friluftsliv och kulturmiljövård	98
	Särskilda hushållningsbestämmelser	101
5.2	Miljöpåverkan	104
5.2.1	Etablering	104
5.2.2	Drift	104
	Utsläpp till luft och vatten	104
	Olycksrisker	105
5.2.3	Avveckling och återställande	105
5.2.4	Nord eller syd, kust eller inland?	106
	Viktiga faktorer	106
	Miljöeffekter av transporter	106
5.2.5	Förläggning under havet	109
5.3	Sammanfattande bedömning – mark och miljö	110
6	Slutsats	111
7	Referenser	113

Sammanfattning

1992 startade SKB ett program som syftar till att ta fram allt underlag som behövs för ett beslut om var i landet djupförvaret för använt kärnbränsle skall lokaliseras. Det närmaste målet är att kunna välja minst två kandidatområden, där förutsättningarna sedan kartläggs genom direkta undersökningar (platsundersökningar). Ett omfattande underlag tas fram för att kunna göra väl underbyggda val. I översiktsstudier av olika slag studeras de generella förutsättningarna, bland annat genom att göra landsomfattande och regionala sammanställningar av bakgrundsdata. I förstudier studeras lokaliseringsförutsättningarna i enskilda kommuner.

Denna utredning ingår i det bakgrundsmaterial som tas fram i nationell skala. Syftet med utredningen har varit att:

- redovisa faktorer som kan utgöra skillnader i lokaliseringsförutsättningar vid en förläggning av djupförvaret i södra Sverige, respektive i norra Sverige,
- redovisa faktorer som kan utgöra skillnader i lokaliseringsförutsättningar vid en förläggning av djupförvaret nära kusten, respektive i inlandet,
- belysa dessa skillnader från lokaliseringssynpunkt.

Behovet av att särskilt utreda lokaliseringsfrågan ur synvinklarna ”nord eller syd” samt ”kust eller inland” påpekades i det regeringsbeslut om kärnavfallsprogrammet som offentliggjordes i december 1996. Liknande synpunkter framfördes också av SKI i samband med den remissgranskning av SKB:s FUD-program 95 som föregick regeringsbeslutet.

Utredningen behandlar ett flertal faktorer av betydelse för lokaliseringsförutsättningarna för djupförvaret samt diskuterar hur och varför dessa faktorer kan variera mellan norra och södra delarna av landet, och/eller mellan kust och inland. Ett viktigt inslag i utredningsarbetet har också varit att bedöma vad sådana generella variationer kan betyda för djupförvaret, i relation till de variationer som för många faktorer uppträder i lokal skala.

Rapporten har disponerats så att:

- kapitel 3 behandlar faktorer av betydelse för djupförvarets säkerhet på lång sikt,
- kapitel 4 behandlar faktorer av betydelse för de tekniska förutsättningarna att bygga och driva djupförvaret,
- kapitel 5 behandlar faktorer relaterade till marktillgång och generell miljöpåverkan.

Vart och ett av dessa kapitel avslutas med en sammanfattande bedömning av faktorer som vid jämförelser ur perspektiven ”nord-syd” respektive ”kust inland” uppvisar potentiellt betydelsefulla skillnader, samt hur dessa skillnader bör värderas ur lokaliseringssynpunkt (avsnitt 3.3, 4.3 respektive 5.3). Även alternativet med en förläggning av djupförvaret under havet beaktas.

Utredningens huvudslutsats är att det, utifrån generella jämförelser och överväganden i översiktlig skala, inte går att prioritera varken den norra eller den södra delen av landet med avseende på förutsättningar för en lokalisering. Bedömningar av lämpligheten måste istället grundas på studier av konkreta områden. Det är en följd av att många viktiga lokaliseringsfaktorer uppvisar stora lokala variationer. Samma slutsats gäller för jämförande värderingar av lokaliseringsförutsättningar i kustområden, respektive i inlandet. En förläggning av djupförvaret under havet kan i sammanhanget ses som en specialvariant av en lokalisering till ett kustläge. Denna variant har för- och nackdelar, men kan varken förordas eller avfärdas på allmänna grunder.

De bästa argumenten för att den generella slutsatsen ovan är riktig kan hämtas från de förstudier av enskilda kommuner som gjorts eller pågår. Förstudierna har i två fall avsett kommuner i Norrlands inland (Storuman och Malå) och i två fall kommuner längs ostkusten i södra delen av landet (Östhammar och Nyköping). I alla dessa kommuner har man, vid en samlad bedömning i den skala som förstudierna representerar, kunnat identifiera områden som framstår som intressanta för vidare lokaliseringsstudier.

1 Introduktion

1.1 Avfallsprogrammet

Det program som finns för att ta hand om radioaktivt avfall som produceras i landet är resultatet av en successiv utveckling och utbyggnad under en 20-årsperiod. Rollfördelningen har enkelt uttryckt varit (och är) den att kraftindustrin – genom Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) – ansvarar för och genomför arbetet, myndigheterna granskar och övervakar, medan statsmakten anger styrande beslut och riktlinjer. Denna rollfördelning har fastlagts av riksdagen i kärntekniklagen.

En komplett hanteringskedja finns för det låg- och medelaktiva, kortlivade avfall som uppkommer vid kärnkraftverken och i mindre utsträckning inom industri och sjukvård. Avfall av denna typ transporteras till Slutförvar för radioaktivt driftavfall (SFR), där det deponeras i berggrum för permanent förvaring. SFR-anläggningen är belägen utanför Forsmark.

Använt kärnbränsle mellanlagras vid Centralt mellanlager för använt kärnbränsle (CLAB), som är en berganläggning belägen nära Oskarshamns kärnkraftverk. Bränslet förs till CLAB i den takt det produceras vid kärnkraftverken och kommer enligt planerna att mellanlagras i ca 30 år. Huvuddelen av de radioaktiva ämnen som bildas i ett kärnkraftverk finns i det använda kärnbränslet. Under perioden i mellanlagret avtar radioaktiviteten med ca 90%, vilket kommer att underlätta efterföljande hantering.

Det pågår planering och utvecklingsarbete inför hanteringen efter mellanlagring. SKB:s huvudinriktning är att det använda kärnbränslet skall kapslas in och därefter deponeras i ett djupförvar, ca 500 meter ner i berggrunden. Figur 1-1 visar de kärntekniska anläggningar som ingår i den planerade hanteringskedjan. De två anläggningar som återstår att bygga är:

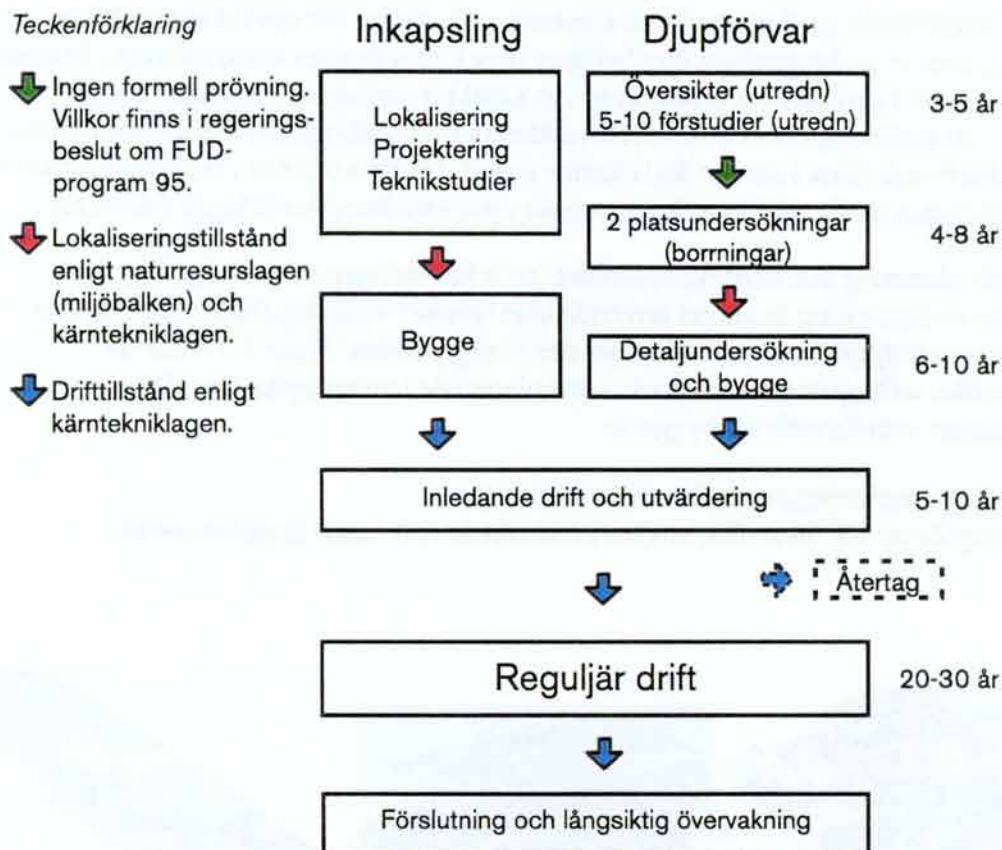
- En inkapslingsanläggning för använt kärnbränsle.
- Ett djupförvar för inkapslat, använt kärnbränsle och annat långlivat avfall.



Figur 1-1. Kärntekniska anläggningar i hanteringssystemet för använt kärnbränsle. Anläggningen för mellanlagring (CLAB) är i drift sedan drygt 10 år. En inkapslingsanläggning och ett djupförvar planeras.

Programmet för att lokalisera, bygga och driva dessa anläggningar visas i Figur 1-2. Det sträcker sig över en lång tidsperiod och syftar till ett genomförande i flera steg, med mellanliggande prövningar och delbeslut. SKB:s mål är att kunna påbörja djupförvaring i en första fas om ca 15 år. Forskning och utveckling bedrivs som omfattar såväl huvudalternativet med djupförvaring som andra metoder av intresse. Detta, tillsammans med det stegvisa genomförandet enligt Figur 1-2 ger möjlighet att anpassa programmet till ny kunskap och successivt vunna erfarenheter. Det är till och med möjligt att återta deponerat avfall om man i framtiden gör andra bedömningar än i dag. Huvudinriktningen är dock att allt använt kärnbränsle deponeras i djupförvaret, som därefter kan förslutas.

För inkapslingsanläggningen är en lokalisering i direkt anslutning till CLAB första handsalternativet. Projektering och utvecklingsarbete pågår. För djupförvaret pågår sedan många år ett omfattande utvecklingsarbete. Processen för att lokalisera djupförvaret befinner sig däremot i ett relativt tidigt skede. Det arbete som pågår för att ta fram beslutsunderlag sammanfattas i nästföljande avsnitt.



Figur 1-2. Programmet för stegvis lokalisering, utbyggnad, drift och förslutning.

1.2 Lokalisering av djupförvaret

1.2.1 Bakgrund

Lokaliseringen av djupförvaret är en nyckelfråga i kärnavfallsprogrammet. Viktigast är att välja en plats där de säkerhetsmässiga förutsättningarna uppfyller mycket höga krav. Förutom de avgörande säkerhetsaspekterna måste också en rad tekniska, miljömässiga och samhällseliga faktorer beaktas.

1992 påbörjade SKB ett program som syftar till att ta fram allt underlag som behövs för att kunna välja en plats för djupförvaret och få tillstånd till att påbörja detaljundersökningar på denna plats. Viktigt underlag att utgå ifrån hämtades från de omfattande vetenskapliga studier och undersökningar som pågått alltsedan 1970-talet, med syfte att bygga upp en allmän kunskap om det svenska urberget och de förhållanden som skulle kunna påverka funktionen av ett djupförvar. Dessa studier, tillsammans med allmän kunskap om geovetenskap och bergbyggnad, erfarenheter av andra lokaliseringar m m visade bland annat att:

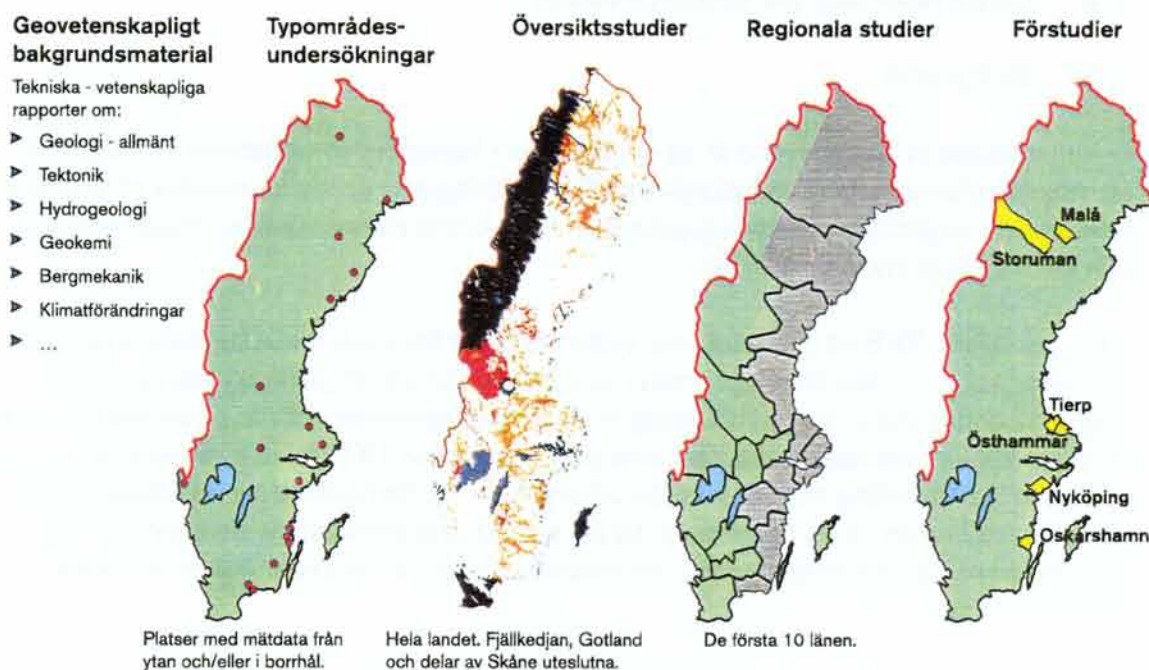
- det finns goda möjligheter att i svenskt urberg hitta platser med förhållanden som är lämpliga för ett djupförvar,
- berggrundens lämplighet är inte tydligt knuten till någon speciell landsdel eller geologisk provins inom urberget. Det viktigaste är istället lokala förhållanden.

Dessa övergripande slutsatser är viktiga utgångspunkter för uppläggningsarbetet i sin helhet, och påverkar också det arbete som pågår för närvarande.

1.2.2 Nuläget

Det lokaliseringsarbete som pågår idag kan sägas motsvara den översta högra rutan i Figur 1-2. Det närmaste målet är att kunna redovisa det underlag som krävs för att välja ut minst två områden i landet för direkta undersökningar (platsundersökningar), samt påbörja dessa undersökningar. De områden som väljs skall, vid en samlad bedömning, ha goda utsikter att uppfylla de krav på säkerhet och miljöskydd som kommer att ställas på lokaliseringen av djupförvaret. Vidare skall de ligga i kommuner som accepterar att medverka i lokaliseringsstudierna.

Figur 1-3 illustrerar det geovetenskapliga lokaliseringsunderlag som nu finns framme i olika skalor. Översiktsstudier är den samlande beteckningen för det omfattande bakgrundsarbete som ger de generella förutsättningarna för en djupförvarsetablering. I översiktsstudierna ingår landsomfattande och regionala sammanställningar av befintliga data av intresse. En samlad redovisning av underlag och bedömningar i nationell skala gavs i "Översiktsstudie 95" (SKB, 1995b). För närvarande pågår systematiska genomgångar av de geologiska förhållandena i samtliga län, med undantag av Gotland. Som komplettering görs länsvisa sammanställningar av underlag om infrastruktur och markanvändning.



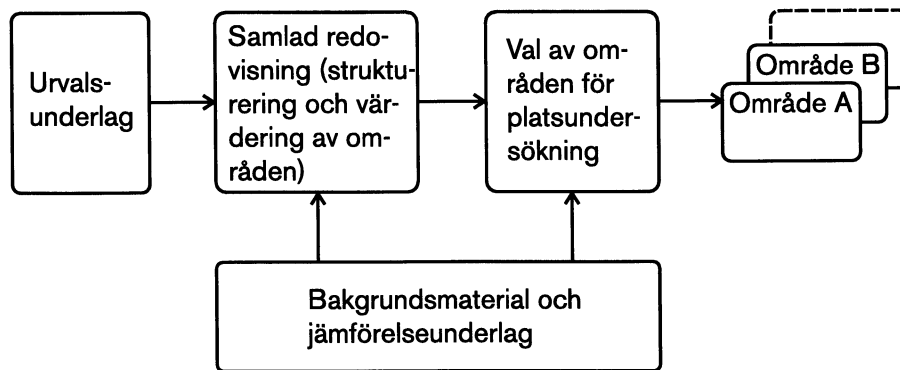
Figur 1-3. Lokaliseringsunderlag i olika skalor.

I förstudierna utvärderas lokaliseringsförutsättningarna i enskilda kommuner. SKB planerar att göra sammanlagt mellan fem och tio förstudier. En förstudie innefattar bland annat sammanställningar av vad som är känt om berggrunden, hur kommunen planerar sin markanvändning, samt miljöaspekter. Vidare studeras lokal infrastruktur och kopplingen mellan det lokala samhället och en eventuell etablering av djupförvaret. Det är i förstudierna som eventuella områden av intresse för vidare studier (platsundersökningar) konkret identifieras. Kartan längst till höger i Figur 1-3 visar de kommuner där förstudier gjorts eller pågår. Förstudier har tidigare genomförts i Storuman och Malå, men dessa kommuner har beslutat att fortsättningsvis inte medverka i lokaliseringsprocessen. I dagsläget pågår förstudier i Östhammars, Nyköpings och Oskarshamns kommuner, och i Tierps kommun har en förstudie just inletts.

SKB planerar att inom en treårsperiod kunna välja områden för platsundersökningar. Figur 1-4 visar mycket schematiskt den procedur som planeras för att så småningom kunna göra väl underbyggda val. Urvalsunderlaget utgörs av områden som i förstudierna konkret identifierats som intressanta för vidare studier. Resultaten från aktuella förstudier sammanställs, struktureras och värderas med avseende på faktorer som är av betydelse för lokaliseringsförutsättningarna.

Informationen om berggrunden i de områden som bedömts som intressanta att ingå i urvalsunderlaget blir med nödvändighet ofullständig, eftersom inga konkreta undersökningar gjorts i detta skede. Bland annat därför är det viktigt att urvalsprocessen sker med stöd av omfattande bakgrundsmaterial och underlag som medger jämförelser. Bakgrundsmaterialet är den allmänna kunskapsbasen som ska ligga till grund för de bedömningar som görs. Översiktsstudierna är viktiga inslag i bakgrundsmaterialet,

i synnerhet som de ger möjlighet att betrakta resultaten från förstudierna i nationella och regionala perspektiv. Jämförelseunderlaget är sammanställningar om lokaliseringsförutsättningar i andra områden. Jämförelseunderlag kan hämtas från exempelvis regionala översiktsstudier, andra förstudier och inte minst från områden som varit föremål för geovetenskapliga undersökningar, i Sverige eller utomlands.



Figur 1-4. *Procedur för att välja områden för platsundersökningar. Urvalsunderlaget hämtas från förstudier. Som bakgrundsmaterial och jämförelseunderlag används bland annat översiktsstudier.*

2 Denna utredning

2.1 Bakgrund

2.1.1 Översiktsstudie 95

I Översiktsstudie 95 (SKB, 1995b) diskuterades vilka möjligheter och begränsningar som finns när det gäller att utifrån underlag i olika skalor bedöma lokaliseringsförutsättningarna. Värderingar i nationell skala presenterades för faktorer av betydelse för såväl säkerhetsmässiga och tekniska förutsättningar som miljö- och samhällsanknutna faktorer. Med hänvisning till i första hand geologiska förhållanden gjorde SKB bedömningen att Fjällkedjan, Gotland och delar av Skåne är olämpliga områden för en lokalisering. I övrigt styrkte studien den tidigare uppfattningen att det finns goda förutsättningar att hitta lämpliga platser på många håll i det svenska urberget. Allmänt underströk Översiktsstudie 95 vikten av att de bedömningar som görs av lokaliseringsförutsättningar anpassas till hur detaljerat det tillgängliga underlaget är, dvs till den skala man arbetar i. Studier i översiktlig skala ger inte underlag för att ange platser med lämpliga förutsättningar. Däremot kan sådana studier indikera förhållanden som särskilt behöver belysas vid studier i mindre skala, liksom områden som bedöms vara olämpliga, respektive intressanta för vidare studier.

I Översiktsstudie 95 konstaterades också att det för vissa lokaliseringsfaktorer finns mer eller mindre systematiska skillnader mellan landets södra- respektive norra delar. Det tydligaste exemplet är skillnaderna i klimat, nu och i framtiden. Detta påverkar faktorer som berggrundens temperatur och omfattningen av framtida istider. Också när det gäller det praktiska genomförandet av djupförvarsprojektet finns det skillnader mellan en lokalisering i norra respektive södra Sverige, främst vad gäller transportbehov och tillgång till infrastruktur. På samma sätt kan man peka på skillnader mellan förhållanden vid eller nära kusten, respektive i inlandet. Det gäller exempelvis förekomsten av salta grundvatten, liksom en rad faktorer relaterade till markanvändningsintressen och naturskydd.

Sedan Översiktsstudie 95 publicerades har en mängd underlag tillkommit. De förstudier som gjorts eller pågår representerar i två fall (Storuman och Malå) lägen i Norrlands inland. Övriga fyra (Oskarshamn, Nyköping, Östhammar och Tierp) motsvarar kustlägen i Syd- och Mellansverige. Denna geografiska spridning gör att förstudierna kan bidra med värdefulla exempel, till stöd för mera generella bedömningar av hur lokaliseringsfaktorer kan variera mellan olika landsdelar. Annat underlag som tillkommit är exempelvis prognoser av framtida klimatvariationer och analyser av de effekter dessa kan få för förvarets långsiktiga funktion.

2.1.2 Regeringsbeslut, december 1996

Det åligger SKB att, vart tredje år, lämna en samlad redovisning av kärnavfallsprogrammet till myndigheterna. Dessa redovisningar granskas av säkerhetsmyndigheterna, som också ombesörjer en omfattande remissbehandling. Denna hantering ligger till grund för de styrande beslut avseende kärnavfallsprogrammet som det åligger regeringen att fatta. Hösten 1995 lämnade SKB en sådan redovisning, benämnd FUD-program 95 (FUD står för Forskning, Utveckling och Demonstration). FUD-program 95 inkluderade bland annat en lägesredovisning av lokaliseringsarbetet för djupförvaret.

I december 1996 tillkännagav regeringen ett beslut avseende kärnavfallsprogrammet, som i huvudsak behandlade SKB:s FUD-program 95. Beslutet föregicks av yttranden till regeringen, avgivna av SKI och KASAM. I beslutet ställde regeringen bland annat krav att SKB skall genomföra system- och säkerhetsanalyser för planerat hanteringssystem, redovisa alternativa handlingsvägar, samt tydligare redovisa faktorer som bör styra lokaliseringen av djupförvaret. I regeringens beslutsskäl angavs riktlinjer för det underlag som SKB bör redovisa inför valet av områden för platsundersökningar. När det gäller behovet av bakgrundsmaterial sades bland annat att *”SKB bör även redovisa konsekvenserna av en kustnära förläggning respektive en inlandsförläggning av förvaret samt konsekvenserna av en förläggning i södra respektive norra Sverige”*.

Liknande synpunkter framfördes av SKI i yttrandet till regeringen. Vidare kan noteras att Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) i sitt remissyttrande angående FUD-program 95 gör bedömningen att *”Från geologisk-hydrogeologisk synpunkt finns det flera omständigheter som kan tala för att förvaret bör förläggas inom de södra delarna av landet, gärna utmed kustområdena”*. Som skäl för en lokalisering till den södra landsdelen angav SGU att belastningarna på berggrunden i samband med framtida glaciationer blir lägre (än i norra Sverige) eftersom glaciationerna blir av mindre omfattning. En kustnära förläggning kunde, enligt SGU, ge fördelar i form av långsam grundvattencirkulation, beroende på låg topografisk relief och därmed låga hydrauliska gradienter.

2.2 Syfte

Syftet med denna utredning har varit att:

- redovisa faktorer som kan utgöra skillnader i lokaliseringsförutsättningar vid en förläggning av djupförvaret i södra Sverige, respektive i norra Sverige,
- redovisa faktorer som kan utgöra skillnader i lokaliseringsförutsättningar vid en förläggning av djupförvaret nära kusten, respektive i inlandet,
- belysa dessa skillnader från lokaliseringssynpunkt.

Utredningen har gjorts med anledning av de beskrivna resultaten från Översiktsstudie 95, tillgången till nytt underlag från bl a förstudier, de synpunkter som framkom under remissgranskningen av FUD-program 95, samt regeringens ovan citerade påpekande. Den ska ses som en komplettering till Översiktsstudie 95 och andra studier som syftar till att ta fram bakgrundsmaterial i översiktliga skalor. Ett viktigt inslag i utredningsarbetet har varit att bedöma betydelsen av de generella variationer som för vissa lokaliseringsfaktorer framträder i "nord-syd/kust-inland-skalan" samt hur dessa skall beaktas i relation till de variationer som man erfarenhetsmässigt vet uppträder i lokal skala.

Utredningen har inte syftat till att peka ut områden som kan vara lämpliga för vidare lokaliseringsstudier. Det kräver studier i mera detaljerade skalor, och görs i regionala översiktsstudier och förstudier. Med den terminologi som används i Figur 1-4 ger alltså denna utredning inga bidrag till urvalsunderlaget för lokaliseringsprocessen, men den bidrar förhoppningsvis till bakgrundsmaterialet.

2.3 Omfattning och begränsningar

2.3.1 Alternativ

Utredningen förutsätter att förvaringen sker enligt det huvudalternativ som beskrivs i avsnitt 1.1. Det innebär bland annat att:

- Djupförvaret förläggs i urberg på ca 500 meters djup.
- Inkapslingsanläggningen byggs i anslutning till CLAB.

De bedömningar som görs kan ändå till stora delar antas gälla även för andra alternativ. En annan lokalisering av inkapslingsanläggningen förändrar exempelvis förutsättningarna vad gäller transportbehov, men har ingen koppling till faktorer som rör djupförvarets långsiktiga säkerhet.

2.3.2 Lokaliseringsfaktorer

Generellt kan de faktorer som beaktas i lokaliseringsarbetet inordnas under följande huvudrubriker:

Säkerhet	Faktorer av betydelse för djupförvarets långsiktiga säkerhet.
Teknik	Faktorer av betydelse för byggnation, funktion och säker drift av djupförvaret och transportsystemet till djupförvaret.
Mark och miljö	Faktorer av betydelse för markanvändning och generell miljöpåverkan.
Samhällsaspekter	Faktorer kopplade till samhällsförutsättningar och samhällspåverkan.

Utredningen ansluter till denna indelning, och behandlar i tur och ordning faktorer kopplade till säkerhet, teknik samt mark och miljö. För varje kategori behandlas lokaliseringsfaktorer för vilka det bedömts meningsfullt att föra en diskussion utifrån perspektiven nord-syd, och/eller kust-inland. Andra faktorer behandlas inte. För vissa faktorer diskuteras även det fall att förvaret placeras under havet.

Den översiktliga skalan innebär med nödvändighet att de bedömningar som kan göras blir allmänna och väsentligen kvalitativa. Det gäller särskilt för faktorer som är kopplade till djupförvarets långsiktiga säkerhet. En regelrätt analys av säkerheten måste baseras på data om geovetenskapliga förhållanden på förvarsdjup och på den plats som analysen avser. Analysen måste alltså beakta de lokala variationer i berggrunds-förhållanden som inte framkommer i den skala som denna utredning avser. I det sammanhanget bör det nämnas att SKB för närvarande utarbetar en uppdaterad säkerhetsanalys för djupförvaret. Denna analys, benämnd "SR 97" bygger på beräkningsexempel där ingångsdata hämtas från platser som varit föremål för ingående undersökningar, och som ligger på olika håll i landet. SR 97 kan därför i en del avseenden ge konkreta exempel på vad geografiskt betingade skillnader i förutsättningarna betyder för slutresultatet.

2.3.3 Begreppen "nord-syd" och "kust-inland"

Begrepp som "norra Sverige", "kust", "kustnära" och "inland" är vanligt förekommande, men vad man egentligen menar beror på sammanhanget. Exempelvis lägger en person som sysslar med regionalekonomisk utveckling uppenbarligen en annan mening i begreppet "kust" än befälhavaren på ett fartyg.

Det förhåller sig på ungefär samma sätt när lokaliseringsförutsättningar för ett djupförvar ska bedömas. Är syftet att värdera vilka konsekvenser djupförvarets lokalisering kan få för samhällsutvecklingen kan man för stora delar av landet tala om en kustregion som på många sätt ger andra förutsättningar än inlandet. Det gäller exempelvis befolkningsstruktur, marktillgång och kommunikationer. Norrlandslänen erbjuder kanske de tydligaste exemplen på sådana skillnader mellan kustregion och inland. Här innebär alltså begreppet "kustlokalisering" snarast en lokalisering i en jämförelsevis tätbefolkad kustregion. Förvarets exakta läge i förhållande till själva kustlinjen har däremot knappast någon betydelse, sett ur samhällssynpunkt.

Gäller diskussionen å andra sidan parametrar som har betydelse för förvarets långsiktiga funktion eller driften av anläggningen krävs andra och exaktare definitioner av begreppen. Exempelvis kan man för en lokalisering vid havet se betydande skillnader mellan en utformning där djupförvarets underjordsdelar placeras ett stycke ut under havet, relativt en utformning där hela anläggningen finns på och under land.

Till det skall läggas att man vid de säkerhetsmässiga värderingarna måste beakta naturliga förändringar på lång sikt. Den tydligaste är den pågående landhöjningen, som sakta men säkert förskjuter gränsen mellan land och hav.

Det är alltså inte möjligt att definiera begreppen "kust" och "inland" på något sätt som dels är generellt, dels meningsfullt med avseende på berörda lokaliseringsfaktorer. Detsamma gäller gränsdragningen mellan "södra" och "norra" Sverige.

I det följande har därför begreppen ovan, utan närmare definitioner, använts på de sätt som förefallit rimligt med hänsyn till sammanhanget. I vissa avseenden har fallet med en lokalisering under havet behandlats för sig.

3 Förutsättningar för långsiktig säkerhet

Förutsättningarna för att åstadkomma ett säkert djupförvar styrs av förhållandena i berggrunden och den tekniska utformningen av förvaret. I detta kapitel behandlas faktorer kopplade till berggrunden och grundvattnet som är viktiga för säkerheten, samt möjliga effekter av långsiktiga, naturliga förändringar i berggrunden och biosfären.

3.1 Principer för säker förvaring

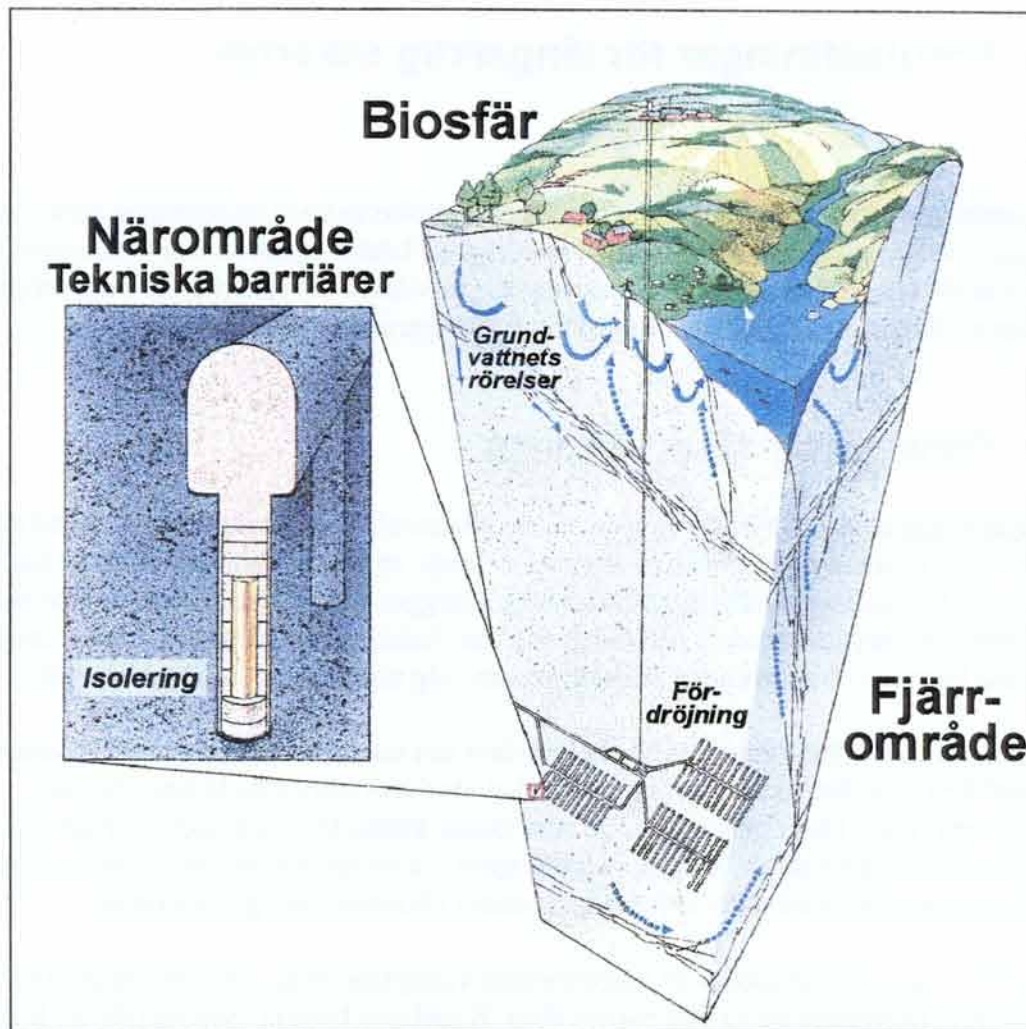
Den grundläggande säkerhetsprincipen för det planerade djupförvaret är att fullständigt innesluta och isolera de radioaktiva ämnena så länge att dessa ämnen inte längre utgör någon risk för människa eller miljö. Isoleringen bygger på kombinationen av tekniska (konstruerade) skyddsbarriärer och berggrundens funktion som långsiktigt stabil miljö för dessa barriärer. Berggrunden skall dessutom i sig utgöra en extra skyddsbarriär.

Om den isolerande funktionen ändå skulle brista ska transporten av radioaktiva ämnen till biosfären försvåras och fördröjas så mycket att dessa ämnen ändå inte når oss i skadliga mängder. Den enda mekanism som skulle kunna föra radioaktiva ämnen från förvaret till biosfären är upplösning och transport via rörligt grundvatten. För att detta ska kunna inträffa måste först avfallet ha kommit i kontakt med grundvattnet.

Figur 3-1 visar en principskiss av djupförvarets viktigaste delar. Avfallet innesluts i täta kapslar som deponeras på ca 500 meters djup. Kapslarna hindrar avfallet från att komma i kontakt med grundvatten och har en beräknad livslängd som med god marginal överskrider den tid som avfallet måste isoleras. Kapseln omges av bentonitlera som fyller ut deponeringsutrymmet. Bentoniten tar upp vatten, sväller och bildar en mycket tät barriär. Denna barriär motverkar grundvattenrörelser och ger samtidigt mekaniskt skydd för kapseln.

Av dessa grundprinciper för att uppnå säker förvaring följer grundkrav på såväl de konstruerade barriärerna som på berget. Egenskaperna hos de konstruerade barriärerna – kapsel och bentonitbuffert – kan påverkas genom materialval, konstruktion och tillverkningsprocesser. Så är inte fallet med berget. Av det skälet blir tillvägagångssättet för att möta kraven på berggrunden principiellt annorlunda än för övriga komponenter. Principen är att, med hjälp av successivt allt mer detaljerade undersökningar, välja en plats där berggrunden uppfyller de grundläggande kraven och ger gynnsamma förutsättningar i övrigt, samt att anpassa förvarets utformning till förhållandena på den platsen.

De data om berggrunden som krävs för att göra en helhetsbedömning av säkerheten på en specifik plats kan bara fås genom direkta undersökningar på den platsen. Bedömningar som görs i tidigare stadier måste baseras på ofullständigt underlag i kombination med generell erfarenhet om berggrundsförhållanden på djupet, och blir därför preliminära.



Figur 3-1. Djupförvarets viktigaste säkerhetsfunktioner.

3.2 Nord eller syd, kust eller inland?

3.2.1 Viktiga faktorer

Kraven på berggrunden leder till att bland annat följande faktorer måste beaktas:

- Kemisk miljö för kapsel, bentonitlera och bränsle.
- Mekanisk stabilitet hos berget.
- Förutsättningar för transport av korrosiva och radioaktiva ämnen i berget.
- Risker för framtida intrång och alternativ användning av berget (t ex gruvdrift).

Dessa grundfaktorer är i sin tur sammansatta av en mängd parametrar relaterade till berggrunden och grundvattnet. Exempelvis påverkas förutsättningarna för mekanisk stabilitet av bland annat av bergarter och deras mekaniska egenskaper, förekomsten av sprickzoner samt belastningarna.

I det följande diskuteras viktiga faktorer kopplade till berggrund, grundvatten och biosfär, med avseende på hur dessa faktorer kan påverka lokaliseringsförutsättningarna i norr respektive söder, samt kust respektive inland.

3.2.2 Berggrunden

Bergarter och deformationszoner

För att en bergart ska bedömas som lämplig för ett djupförvar bör den finnas i stora volymer. Bergarter som är eller kan tänkas bli av intresse för exploatering till större djup är olämpliga. Områden som har potential för mineralprospektering och gruvbrytning bör därför undvikas. Det är en fördel om berggrunden är homogen över stora områden. Det förbättrar förutsättningarna att rätt bedöma förhållandena på förvarsdjup utifrån den information som kan fås innan undersökningsborrningar görs, samtidigt som det ger flexibilitet i detaljlokalisering och utformning av anläggningen.

Berggrunden har deformerats i flera faser under den geologiska utvecklingen, vilket har resulterat i deformationszoner av olika slag (plastiska deformationszoner, sprickzoner, förkastningar). Deformationszoner finns i alla storlekar från enskilda sprickor till sprickzoner som sträcker tiotals mil eller mera. Zonerna utgör försvagningar i berggrunden och eventuella framtida berggrörelser kan därför förväntas ske i redan existerande sprickzoner och förkastningar. Vidare sker merparten av grundvattencirkulationen på större djup i sprickzoner, eftersom dessa ofta är betydligt mera vattengenomsläppliga än bergmassan i övrigt. Beroende på storlek och egenskaper i övrigt kan deformationszonerna påverka lokaliseringsförutsättningarna på flera sätt. Större sprickzoner bör helt undvikas. Mindre sprickzoner inom den aktuella bergvolymen kan i regel accepteras, men kan då påverka utformningen av anläggningen.

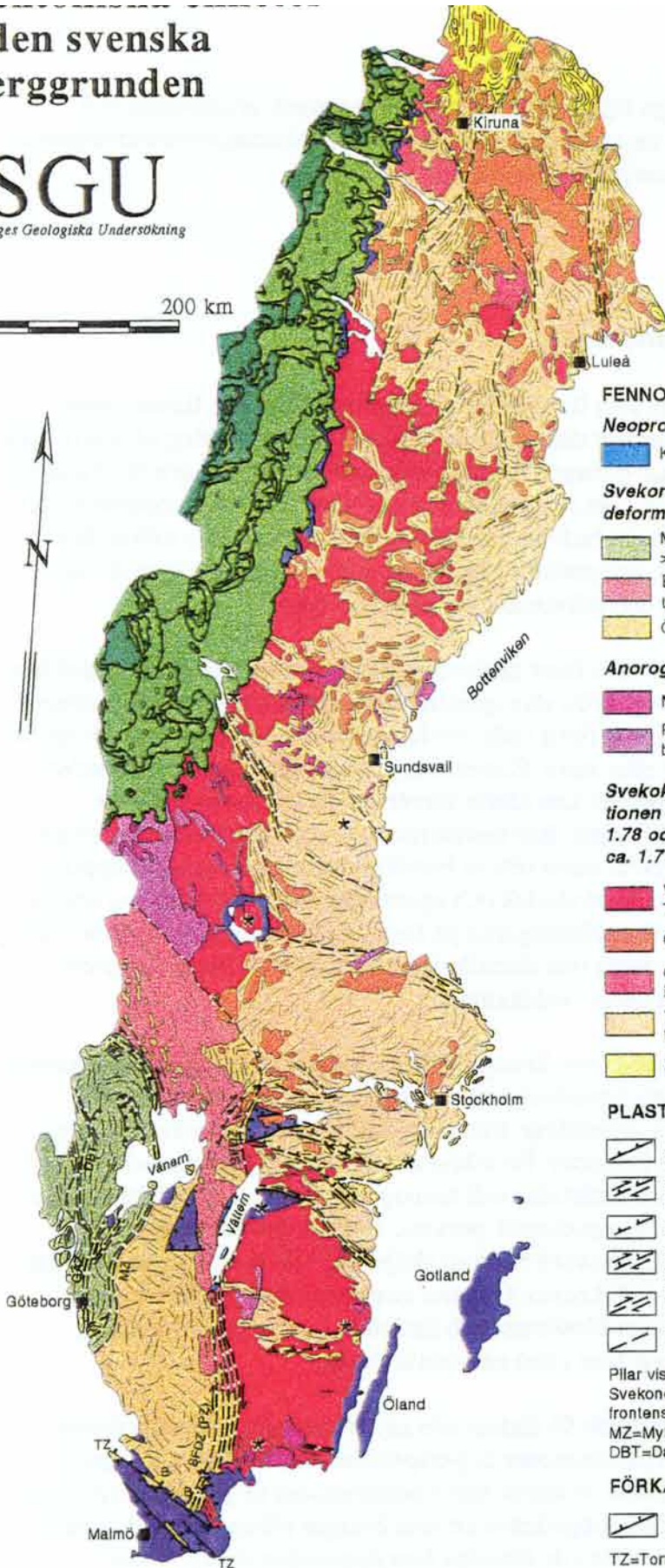
Figur 3-2 visar en geologisk karta över Sverige. I denna skala kan berggrunden indelas i mer eller mindre tydligt åtskilda huvudenheter eller geologiska provinser, alltefter bildningshistoria och tektonisk utveckling. Inom varje enhet som framträder på kartan kan det finnas en mängd olika bergarter. En viktig slutsats från Översiktsstudie 95 var att det med avseende på bergartsfördelning och homogenitet, med några undantag, inte går att förorda eller utesluta någon geologisk provins. Undantagen är större områden som kan uteslutas därför att berggrunden radikalt skiljer sig från den urbergsmiljö som förutsätts. Så är fallet för hela Fjällkedjan, Gotland samt stora delar av Skåne. Slutsatserna är likartade när det gäller förekomst och fördelning av deformationszoner, i det storleksintervall som framträder i den nationella skalan.

Dessa slutsatser från Översiktsstudie 95 ändras inte av att man söker betrakta fördelningen av bergarter eller deformationszoner ur perspektiven ”nord-syd” eller ”kust-inland”. För att få en tydligare bild av var de finns områden som ur geologisk synvinkel kan vara lämpliga respektive olämpliga krävs att man övergår till en mera detaljerad skala än den nationella. Så sker dels i de länsvisa översiktsstudier som är under genomförande, dels i förstudierna.

i den svenska berggrunden

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

0 200 km



plastiska deformationer ca. 0,10–0,05 Ma

- Främmande terränger
- Tektoniskt ihoptryckt randzon till kontinenten Baltica. E=Eklogit, D=Diabas

FANEROZOISKA SEDIMENTÄRA OCH MAGMATISKA BERGARTER SAMT IMPAKTSTRUKTURER

- Fanerozoiska sedimentära bergarter och diabas
- B Jurassiska och kretaceiska basaltkupper
- A Underkambriskt alkalint magmatiskt komplex (Alnö)
- ★ Impaktstruktur

FENNOSKANDISKA SKÖLDEN

Neoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter

- Klastiska sedimentära bergarter

Svekonorvegiska orogenen (senaste plastiska deformationen ca. 1,10–0,90 Ga)

- Mellersta och västra segmentet (Inkluderande >ca. 1,56 Ga främmande terränger?)
- Paleoproterozoiska vulkaniska och intrusiva bergarter tillhörande TMB* i östra segmentet
- Östra segmentet exklusive TMB*

Anorogena intrusioner och suprakrustala bergarter

- Mesoproterozoiska intrusiva bergarter
- Paleo- till Mesoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter och basalt

Svekokarelska orogenen (senaste plastiska deformationen efter ca. 1,80 Ga i norra Sverige, mellan ca. 1,78 och 1,56 Ga i centrala södra Sverige, och mellan ca. 1,77 och 1,40 Ga i sydöstligaste Sverige)

- Vulkaniska och intrusiva bergarter tillhörande TMB* och Revsund-Sorsele-sviten (ca. 1,85–1,65 Ga)
- Granit och pegmatit (ca. 1,85–1,75 Ga)
- Granit, monzonit och underordnade mafiska intrusioner (ca. 1,88–1,86 Ga)
- Vulkaniska och sedimentära bergarter samt kalkalkalina intrusioner (c. 2,7–1,85 Ga)
- Arkeiska bergarter

PLASTISKA STRUKTURER

- Kaledonisk överskjutning
- Svekonorvegisk deformationszon, horisontell och revers rörelse
- Svekonorvegisk överskjutning
- Svekokarelsk deformationszon, horisontell och "norra-sidan-ner" rörelse
- Svekokarelsk deformationszon med horisontell rörelse
- Deformationszon, rörelse okänd

Pilar visar den horisontella rörelsekomponenten. Svekonorvegiska orogenen, SFDZ (PZ)=Svekonorvegiska frontens deformationszon, delvis samma som Protoginjonen, MZ=Mylonitzonen, GÄZ=Göta Älvzonen och DBT=Dalslandszonen

FÖRKASTNINGAR

- Normalförkastning

TZ=Tornquistzonen

TMB*=Transskandinaviska magmatiska bältet
1 Ma=1 miljon år, 1 Ga=1000 miljoner år

Sammanställt av Michael B. Stephens, Carl-Henric Wahlgrén och Pär Weihed, 1994

Figur 3-2. Berggrunden i Sverige. I denna skala framträder geologiska huvudenheter och bergartskategorier.

I de länsvisa studierna sammanställs geologisk information för samtliga Sveriges län utom Gotland. Detta ligger till grund för översiktliga bedömningar av berggrundens potentiella lämplighet för ett djupförvar. Områden inom varje län som bedöms intressanta respektive inte intressanta för vidare lokaliseringsstudier anges.

I förstudierna görs mera ingående studier av befintliga geologiska data från de aktuella kommunerna. Ett huvudsyfte är att identifiera eventuella områden som ur geologisk synvinkel är av intresse för vidare lokaliseringsstudier. De förstudier som slutförts alternativt hunnit så långt att resultat finns framme avser två kommuner i Norrlands inland (Storuman och Malå) och två efter ostkusten (Östhammar, Nyköping). I alla fyra kommuner har det visat sig finnas större eller mindre områden där berggrunden bedömts vara potentiellt gynnsam för ett djupförvar (SKB, 1995c; 1996; 1997a; 1997b).

Mekanisk stabilitet

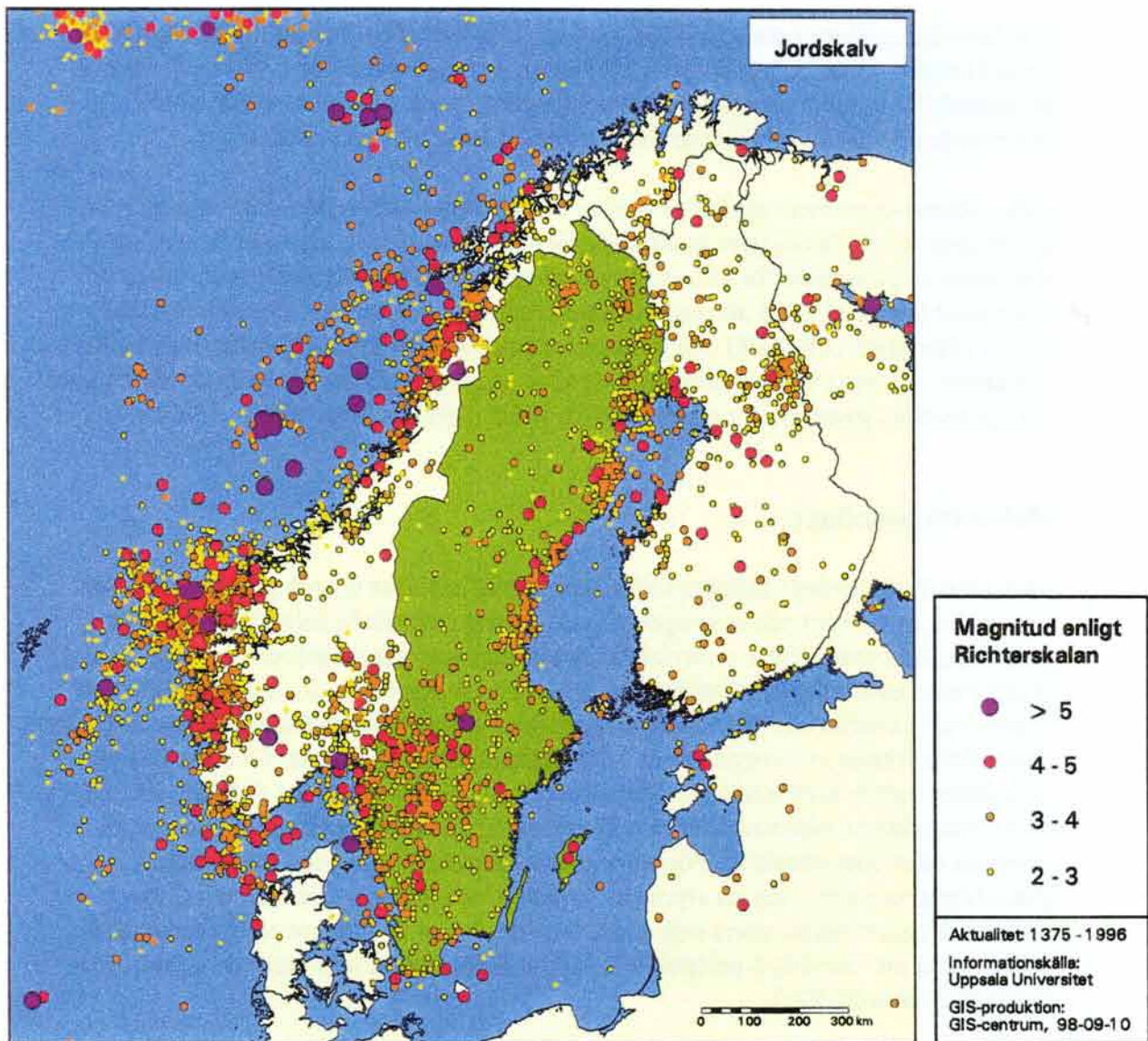
Stabilitetsförhållandena i berggrunden kan ytterst hänföras till två grundparametrar; materialet, dvs berget och dess egenskaper, samt de verkande belastningarna. När belastningarna överskrider materialets bärförmåga uppstår bergrörelser av något slag, under vissa omständigheter åtföljda av jordskalv. Sverige är i sin helhet beläget i en region med gammal och mycket stabil berggrund. Inga bergartsbildande processer eller andra förändringar av berggrundens uppbyggnad pågår, eller är att förvänta i de tidsperspektiv som är intressanta för djupförvaret. Med belastningarna förhåller det sig delvis annorlunda, eftersom man kan förvänta sig förändringar inom tidrymder på tusentals eller tiotusentals år. Förändringarna sammanhänger med förväntade glaciationsprocesser, i sin tur styrda av klimatets utveckling. Givet att det finns klimatskillnader mellan norra och södra Sverige är det av intresse att diskutera dessa processer ur ett ”nord-syd-perspektiv”. Klimatförändringar och deras möjliga effekter behandlas i avsnitt 3.2.5.

Jordskalv

Geografisk fördelning

Mer än 95% av alla jordskalv i världen sker längs kontinentalplattornas gränser, alltså på stort avstånd från Sverige. Figur 3-3 visar ungefärliga platser och magnituder för skalv registrerade i Nordeuropa fram till 1996. Dokumentationen (i en eller annan form) av jordskalv i Sverige sträcker sig åtskilliga hundra år bakåt i tiden. Per år registreras i landet endast ett tiotal skalv med magnitud över 2 på Richterskalan. Djupen till skalvpunkterna är svåra att bestämma, men det flesta inträffar inom djupintervallet 10–20 km.

Av kartan i Figur 3-3 framgår att skalven är ojämnt fördelade över landet. En zon med förhöjd frekvens av skalv kan tydligt urskiljas längs Norrlandskusten, med en mera diffus fortsättning upp mot Tornedalen. Också Västsverige, upp till Värmlandsregionen, är tydligt överrepresenterat på kartan. De mera skalvbenägna stråken kan till viss del



Figur 3-3. Jordskalv som registrerats i Nordeuropa fram till 1996. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala Universitet.

korreleras med storskaliga geologiska strukturer, men man kan inte säga att mekanismerna bakom den registrerade fördelningen har kunnat förklaras. Osäkerheten gäller bl a huruvida skalven är effekter av tektoniska processer i global skala, eller av berggrundens successiva "återhämtning" efter belastningarna under den senaste istiden, dvs den process som också orsakar landhöjningen (Muir Wood, 1993).

Ett jordskalv uppkommer till följd av en plötslig förskjutning i berggrunden, vanligen i en befintlig spricka eller förkastning. Rörelser i mindre skala kan samtidigt induceras i den närmast omgivande berggrunden. De jordskalv som registreras i Sverige motsvarar förskjutningsbelopp upp till millimeter- eller centimeterskalan. När rörelserna sker utlöses upplagrad energi som genererar de vågrörelser i berggrunden som vi märker på ytan.

I nordligaste Sverige har man i kunnat fastlägga några fall där stora bergrörelser skett efter den senaste istiden, sannolikt i samband med att inlandsisen avsmälte (Lagerbäck, 1990; Stanfors och Ericsson, 1993). I betydligt flera fall har man dokumenterat mer eller mindre tydliga indikationer på sådana så rörelser. Av allt att döma har de inträffat till följd av de stora och snabba belastningsändringar som följde isranden under deglaciationen. Rörelserna brukar därför betecknas som "sen- eller postglaciala", och är alltså väsentligt yngre än deformationen av berggrunden i övrigt. Forskningen på området är ofullständig men mycket tyder på att fenomenet är vanligare än vad man tidigare trott. Inga fall av sen- eller postglaciala rörelser har kunnat beläggas i södra Sverige, vilket dock inte utesluter att sådana förekommit.

Samtidigt finns det mycket som tyder på att sentida tektonisk påverkan på djupet är ytterligt ovanligt. Exempelvis har man ingenstans i svenska gruvor eller berganläggningar observerat någon mekanisk påverkan på berggrunden, relaterad till istiden eller tiden efteråt, till större djup än några tiotals meter. Sammanfattningsvis råder alltså viss osäkerhet om såväl frekvens som geografisk fördelning av unga bergrörelser.

Konsekvenser för djupförvar

Principiellt kan en berganläggning påverkas på två sätt av ett jordskalv. Det ena är direkt påverkan av själva bergrörelsen, vilket kräver att anläggningen råkar ligga "i vägen" i den förkastning där rörelsen sker, eller inom den mycket begränsade volym som kan påverkas av sekundära rörelser. Rörelsernas belopp kan korreleras till utbredningen på den struktur där rörelsen sker (La Pointe et al., 1997). Detta är ett av skälen varför stora sprickzoner bör undvikas vid lokaliseringen av djupförvaret. Vidare konstrueras djupförvarets tekniska barriärer (buffert och kapsel) för att klara avsevärda bergrörelser.

Den andra typen av påverkan på en anläggning är de effekter som vågutbredningen från ett skalv ger. Till skillnad från de direkta bergrörelserna inverkar vågrörelserna även på stora avstånd. Det finns omfattande erfarenhet av hur berganläggningar påverkas av vågor från jordskalv. Allmänt är konsekvenserna under jord avsevärt mindre än på ytan. Det är svårt att se att de vågrörelser som skalv av den dignitet som förekommer i Sverige skulle kunna ge annat än försumbara effekter på ett djupförvar.

Sammanfattningsvis konstateras att det med avseende på jordskalv finns vissa skillnader mellan kust och inland (frekvensen av registrerade skalv) liksom mellan nord och syd (observationer av unga bergrörelser). Bedömningen är dock att detta inte ger anledning att varken undvika eller särskilt förordna landsdelar ur lokaliseringssynpunkt. Viktiga skäl är att varken risken för att ett skalv ska inträffa nära djupförvaret eller de konsekvenser detta skulle kunna medföra motiverar prioriteringar i en alltför generell skala. Däremot bör självfallet risken för bergrörelser noga beaktas i det fortsatta lokaliseringsarbetet och i säkerhetsanalysen. En viktig åtgärd är att i detaljlokaliseringen undvika sprickzoner eller förkastningar som bedöms kunna ha potential för större bergrörelser.

Risker för framtida intrång

Strävan efter att utvinna metaller eller andra mineral är det som i första hand skulle kunna föranleda ofrivilligt framtida intrång i djupförvaret. Genom att vid lokaliseringen undvika berggrund som innehåller åtråvärda eller sällsynta mineral minimeras den risken. Malmer och mineraliseringar finns på många håll i landet. Exploateringsintresset är dock främst knutet till landets tre stora och välkända malmfält: Bergslagen i Mellansverige, Skelleftefältet i Västerbotten och de norrbottniska malmfälten. Fyra kommuner som varit föremål för förstudier berörs av malmfält. De gäller Storuman och Malå som till delar täcks av berggrund tillhörande Skelleftefältet, samt Östhammar och Nyköping som båda hyser förgreningar av Bergslagens malmfält. I samtliga fyra fall har förstudierna visat att malmpotentialen gör delar av kommunernas berggrund olämplig, medan andra delar inte berörs. Detta visar att exploateringsintresset för berggrunden, i likhet med bergartsfördelningen generellt sett, måste utvärderas i en mera lokal skala än den nationella.

En annan orsak till intrång skulle kunna vara borring för vattenförsörjning. Det betydande djupet gör emellertid detta osannolikt, eftersom grundvattenföringen normalt är betydligt rikligare på mindre djup. I kusttrakter kan dessutom grundvattnet på förvarsdjup vara för salt för att lämpa sig som dricksvatten, något som möjligen kan ses som en potentiell fördel med ett kustläge.

Förutom av tillgången på resurser i berggrunden styrs risken för framtida intrång självfallet också av förhållanden på ytan, särskilt art och omfattning av mänsklig aktivitet. Borring efter dricksvatten kan uteslutas om förvaret förläggs under havet. Närvaron av en inlandsis utesluter rimligen risken för mänskligt intrång överhuvudtaget. Det finns alltså ur intrångssynpunkt skillnader mellan kust och inland och, i ett längre tidsperspektiv, också mellan nord och syd. Skillnaderna är kopplade till framtida klimatförhållanden, vilket behandlas i avsnitt 3.2.5.

3.2.3 Grundvattnet

Grundvattenrörelser i berggrunden och grundvattnets kemiska sammansättning har betydelse för såväl de konstruerade barriärerna som för barriäregenskaperna hos berget självt. Om de konstruerade barriärerna – kapsel och buffert – skulle brista i funktion så är upplösning av avfallet i grundvatten och därefter transport via grundvatten-cirkulationen den enda mekanism som skulle kunna transportera radionuklider från förvaret och upp till biosfären. Låg grundvattenomsättning med långsamma flöden och långa transportvägar för grundvattnet är därför faktorer som bidrar till att försvåra och fördröja denna process. Den kemiska sammansättningen hos grundvattnet kan också ha betydelse för transporten av radionuklider, eftersom sammansättningen påverkar växelverkan mellan ämnen i vattnet och berget.

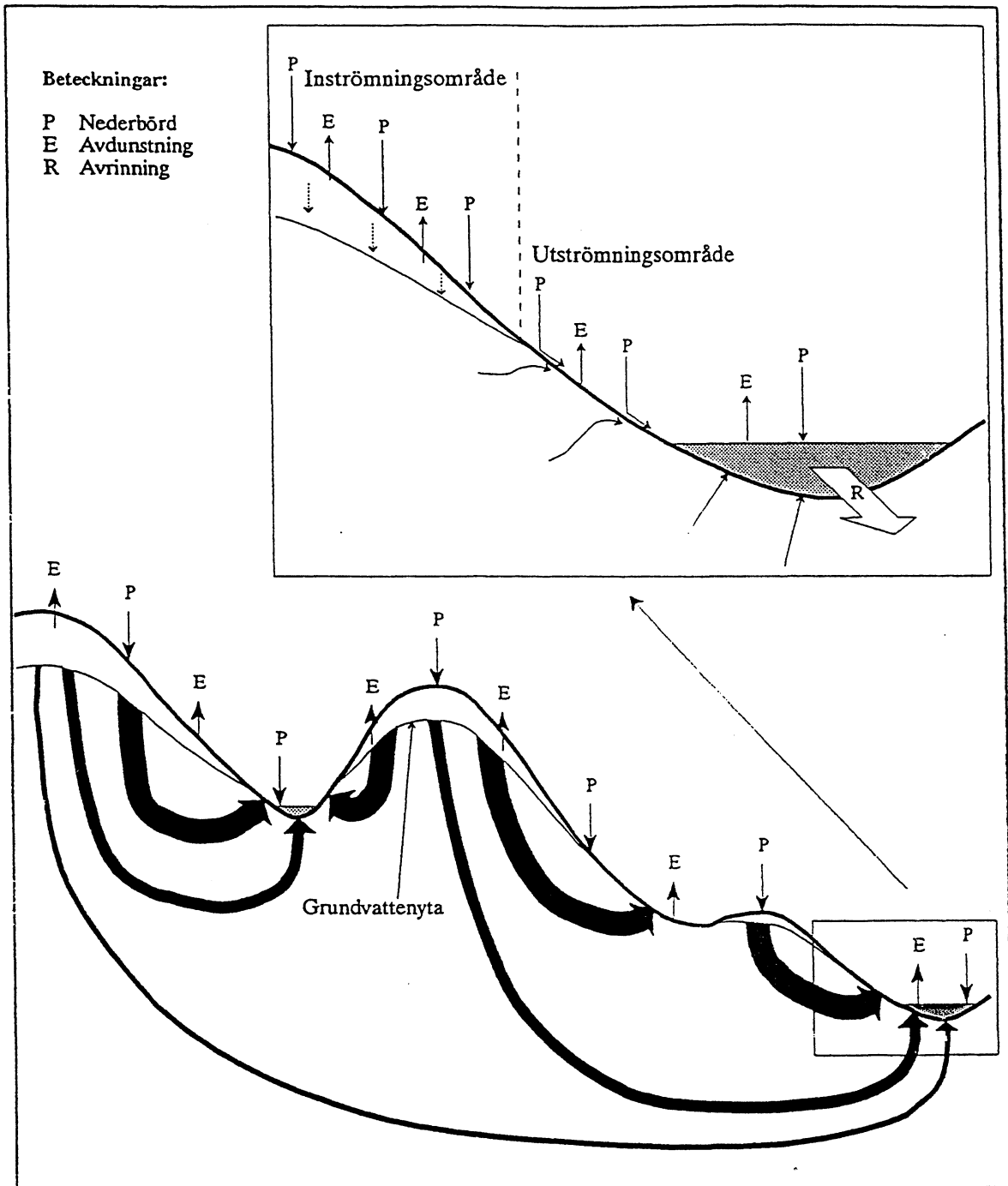
Funktion och beständighet hos de konstruerade barriärerna påverkas främst av grundvattnets kemiska status. En mängd faktorer som definierar grundvattenkemin måste beaktas. Den kanske viktigaste parametern är redox-potentialen. För att undvika att kopparmaterialet i kapseln korroderar bör reducerande förhållanden råda. Så är normalt också fallet på de djup som är aktuella. En annan parameter som kan ha betydelse för såväl buffert som kapsel är grundvattnets salthalt, som kan variera inom vida gränser. Indirekt påverkas grundvattenkemin i förvaret även av grundvattenströmningen, eftersom det är strömningen som avgör tillförseln i tid och rum av ämnen som transporteras med grundvattnet.

Grundvattenströmning

Strömningen av grundvatten i berget är ett resultat av två grundparametrar: tryckskillnader (gradienter) och genomsläpplighet (konduktivitet). I Översiktsstudie 95 studerades hur båda dessa parametrar varierar i nationell skala. Uppgifter om konduktivitet hämtades från databaser över bergboreade brunnar. Vissa regionala skillnader kunde anas, men huvudslutsatsen var att konduktiviteten är en parameter som inte är utslagsgivande i den nationella skalan. Detta är inte förvånande, eftersom konduktiviteten är en materialparameter som styrs direkt av geologin, framförallt förekomsten av sprickor och sprickzoner. Dessa parametrar måste som nämnts utvärderas i lokal skala.

De gradienter som driver grundvattenflöden skapas väsentligen av grundvattenytans höjdvariationer. I Sverige ligger grundvattenytan vanligen i eller strax under marknivån. Tryckgradienterna beror därför av topografin. Detta illustreras i Figur 3-4. Tryckskillnaderna driver tillfört grundvatten att strömma från höjder, som är inströmningsområden, mot dalar och vattendrag, som är utströmningsområden. Strömningen påverkas av gradienter i olika skalor, som överlagrar varandra. Nära ytan sker strömningen lokalt och styrs av lokal topografi. Med ökande djup minskar inverkan av lokal topografi och ersätts (åtminstone i relativ mening) av gradienter kopplade till topografin i större skala.

Allmänt svarar alltså flack topografi mot låga gradienter, vilket kan ge fördelar ur lokaliseringssynpunkt eftersom det bidrar till låga grundvattenflöden. I ett riksgenomsnitt har kusttrakter flackare topografi än inland. Den större andelen slättbygder i söder ger ett likartat förhållande om man jämför södra och norra Sverige. Detta skulle alltså tala för en lokalisering vid kust och/eller i ett område med flack topografi. Å andra sidan måste man väga in det faktum att kuster och lågland är regionala utströmningsområden i större utsträckning än inland/höjdområden. Det beror på att det i den regionala skalan sker en strömning från inland (högland) mot kust (lågland). Utströmningsområden ger potentiella nackdelar i form av kortare strömningsvägar för grundvatten från försvarsnivån upp till biosfären.



Figur 3-4. En illustration av grundvattencirkulation i olika skalor (efter Grip och Rodhe, 1985).

Slutsatsen är att de generella topografiska skillnaderna mellan kust och inland i sig inte ger anledning att särskilt förorda varken kust- eller inlandslägen för lokalisering av djupförvaret. Huvudskälet är att lokala omständigheter har långt större betydelse för grundvattenströmningen. Det gäller framförallt de lokala variationerna i bergets vattengenomsläpplighet. Alltmer tyder också på att grundvattenströmning i regional skala kan ha mindre betydelse för situationen på förvarsdjup än vad man tidigare trott.

En lokalisering under havet utgör i sammanhanget ett specialfall. Här är den topografiskt betingade gradienten i teorin noll, vilket skulle innebära stagnanta grundvattenförhållanden. I avsaknad av lokala tryckgradienter kan dock regional grundvattenströmning från fastlandet innebära att även det kustnära havet utgör utströmningsområde.

Grundvattenkemi

Grundvattnets kemiska sammansättning på en specifik plats återspeglar den sammantagna effekten av vattnets ursprung och växelverkan med omgivningen under "vandringen" genom jord och berg. Grundvattnets historia blir komplex genom att vatten med olika ålder och ursprung kan blandas. Det har t ex visat sig att vattenprover kan vara blandningar av olika komponenter med åldrar som varierar från tiotals år till miljontals år.

Data från bergborrhade brunnar i landet ger en relativt heltäckande bild av grundvattnets sammansättning nära ytan. Vidare har SKB i olika sammanhang undersökt de grundvattenkemiska förhållandena på större djup, och på olika håll i landet. Någon betydelsefull skillnad i kemisk sammansättning kopplad till breddgrad har inte framkommit. Möjligen kan man nämna grundvattnets innehåll av löst natrium, kalcium och magnesium som en faktor som kan vara av betydelse i sammanhanget. Mycket låga halter av dessa ämnen i grundvattnet kring förvaret kan vara ogynnsamt för bentonitbuffertens stabilitet på lång sikt. Låga temperaturer hos berggrund och grundvatten liksom utpräglade inströmningsförhållanden kan bidra till att sådana "jonfattiga" grundvatten uppkommer. Detta kan därför behöva uppmärksammas särskilt i nordliga inlandslägen, men bedöms inte vara en faktor som i någon generell mening påverkar jämförelsen "nord-syd".

Jämför man prover tagna vid eller nära kusterna med prover från inlandslägen framkommer i en del fall skillnader i ett viktigt avseende, nämligen grundvattnets salthalt. Det är sedan länge känt att grundvatten med betydande salthalter förekommer på ringa djup längs kusterna och i låglänta områden. Som nämnts kan salthalten i grundvattnet ha betydelse djupförvarets funktion. Det gäller främst återfyllnadsmaterial för tunnlar, men mycket höga salthalter kan även påverka skyddsbarriärerna (kapsel och buffert). Därutöver kan höga salthalter ge problem med korrosiv miljö under bygge och drift av djupförvaret. Förekomsten av salt grundvatten är alltså generellt viktig ur perspektivet kust-inland, och behandlas därför närmare i nästföljande avsnitt.

Salt grundvatten

Att grundvattnets salthalt kan variera från plats till plats och ofta ökar med djupet är sedan länge känt från vattenförsörjningen. Problem med alltför höga salthalter i brunnar är relativt vanligt i låglänta områden, särskilt vid kusttrakter och kring de stora insjöarna i södra Sverige (Lindewald, 1985). I mycket kustnära lägen förekommer inbrott av havsvatten i brunnar.

Grundvatten brukar betecknas som "sötwater" så länge kloridhalten inte överstiger 0,05 gram per liter (g/l). Redan vid halter över kring 0,3 g/l börjar vattnet smaka salt. Kloridhalterna i Östersjön är i genomsnitt ca 3,5 g/l (högre i söder och successivt avtagande mot norr) och i oceanerna ca 20 g/l.

Salt i grundvatten kan ha olika ursprung:

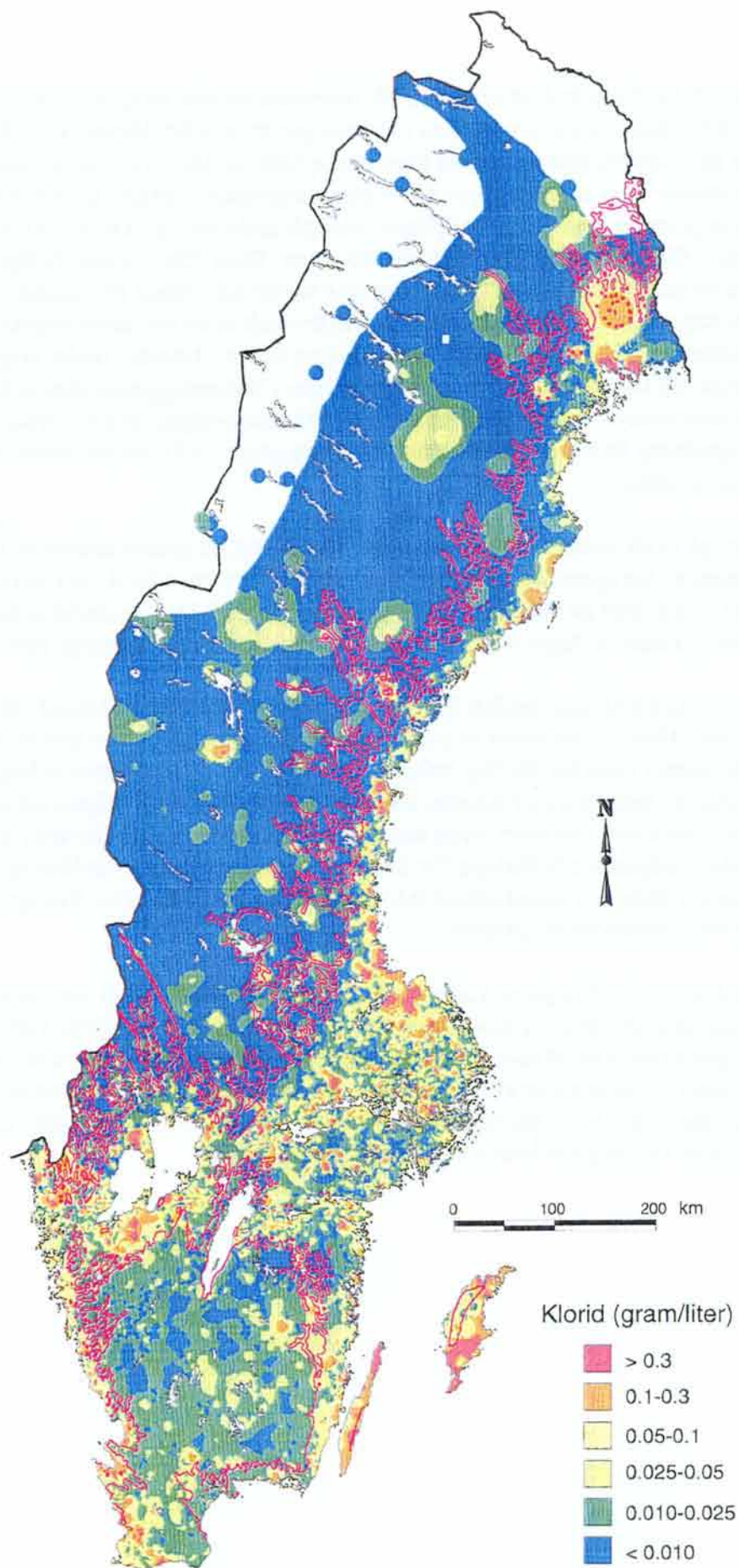
- Relikt havsvatten från de hav som i perioder täckt delar av landet. Detta gäller områden under högsta kustlinjen.
- Havsvatten som trängt in under land.
- Salt som lösts ut från berggrunden.
- Mänsklig aktivitet, framförallt användningen av vägsalt.

Grundvattnets rörlighet gör att vatten av olika ursprung blandas och förflyttas, varför dagens salthalter kan vara summan av bidrag från olika källor och tidsperioder.

Någorlunda heltäckande data om salthalter i grundvatten finns från mätningar i bergborrade brunnar. Dessa data speglar salthalterna relativt nära ytan, eftersom få brunnar är djupare än 150 m. Mätningar på djup motsvarande planerat förvarsdjup och därunder finns bara från några tiotal platser i landet. En allmänt försvårande omständighet är att lokala sprickmönster tillsammans med de störningar som borrning och mätning innebär kan påverka data avsevärt. Ett prov från en brunn kan exempelvis innehålla saltvatten som p.g.a trycksänkning i brunnen strömmat upp från betydligt djupare nivåer via konduktiva sprickor.

Salinitet nära ytan

Figur 3-5 visar i generaliserad form hur kloridhalterna i bergbrunnar fördelar sig över landet. Data har hämtats från SGU:s brunnsarkiv och omfattar analyser från mer än 10 000 brunnar (Müllern och Thunholm, 1998). Även högsta kustlinjen (HK) har markerats på kartan. Ett mönster med högre halter längs kusterna och i låglänta områden framträder tydligt.



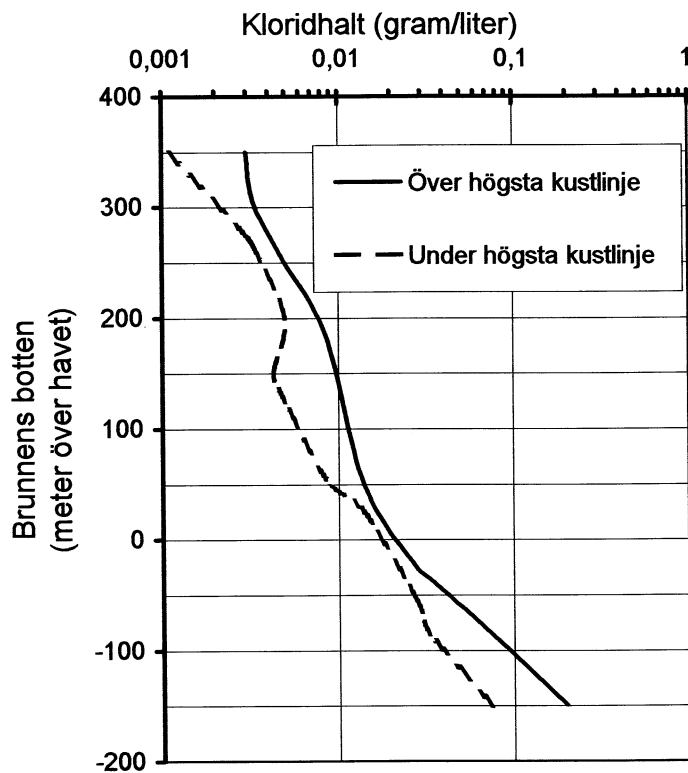
Figur 3-5. Kloridhalter i bergbrunnar i Sverige. Den röda linjen markerar högsta kustlinjen (Aastrup m fl, 1995).

I Figur 3-6 har kloridhalten relaterats till brunnens altitud, uttryckt som brunnsbottens nivå relativt havsnivån. Sambanden i figuren ger en mycket förenklad bild, eftersom de bygger på statistisk analys av data med stor spridning. Det finns alltså enstaka brunnar med salthalter som är långt högre än de som diagrammen anger. En trend med lägre salthalter ju högre brunnarna är belägna framgår ändå tydligt. Grovt sett är förändringen en faktor 100 över ett höjdiintervall på 500 meter. Data från brunnar belägna ovanför, respektive under högsta kustlinjen redovisas varför sig. Något förvånande indikerar figuren inte någon tydlig skillnad i kloridhalter mellan de två kategorierna brunnar. Den lilla skillnad som antyds (med tendens till lägre halter i brunnar under högsta kustlinjen) ryms gott och väl inom den osäkerhet som finns i bakomliggande data och beräkningar. En närmare analys visar också att halterna i brunnar belägna under högsta kustlinjen har större spridning än övriga. Detta kan tyda på en geografiskt ojämnt fördelad påverkan av relikthavsvatten.

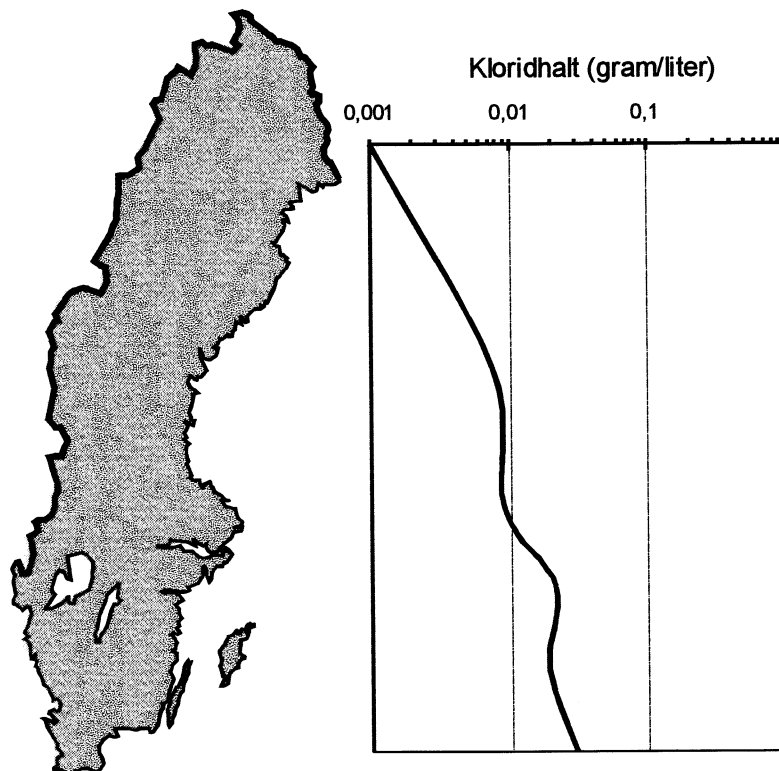
Utan att gå in på orsakerna kan man alltså konstatera att grundvattnets salinitet i den övre delen av berggrunden genomsnittligt sett varierar med höjd över havet, vilket indirekt svarar mot en variation mellan kust och inland. Det förefaller också som att altituden, snarare än läget relativt högsta kustlinjen, är den väsentliga parametern.

Figur 3-7 exemplifierar resultat från en analys med avseende på latitud (Müllern och Thunholm, 1998). Som synes är trenden att kloridhalterna sjunker mot norr. Denna trend är knappt märkbar för lågt belägna brunnar, men blir tydligare ju högre belägna brunnarna är (figuren avser brunnar med botten 20–40 m ö h). Någon entydig förklaring till denna nord-syd-variation tycks inte finnas. Faktorer som kan inverka är bland annat skillnader i tidpunkt och förlopp för den senaste inlandsisens avsmältning, landhöjningen, olikheter i grundvattenbildning mellan norra och södra Sverige samt skillnader i nederbördens salthalt.

Brunnsdata visar alltså på en variation i salthalt med såväl altitud som latitud. Den lokala spridningen är dock stor. Dessa resultat är viktiga för att förstå vattnets ursprung och de processer som påverkar saltfördelningen i grundvattnet. Däremot räcker de inte för att beskriva situationen på förvarsdjup. Erfarenheten visar nämligen att vattenkemiska data från de nivåer som brunnnsdata täcker inte alltid återspeglar grundvattenkemin på större djup (Skårman och Laaksoharju, 1998).



Figur 3-6. Kloridhaltens variation med höjdnivån (altituden), uttryckt som brunnsbottens nivå relativt havsnivån. Data från SGU:s brunnarkiv (hela landet).



Figur 3-7. Kloridhaltens variation med latitud. Data från SGU:s brunnarkiv (hela landet, brunnar med botten 20–40 m ö h).

Salinitet på djupet

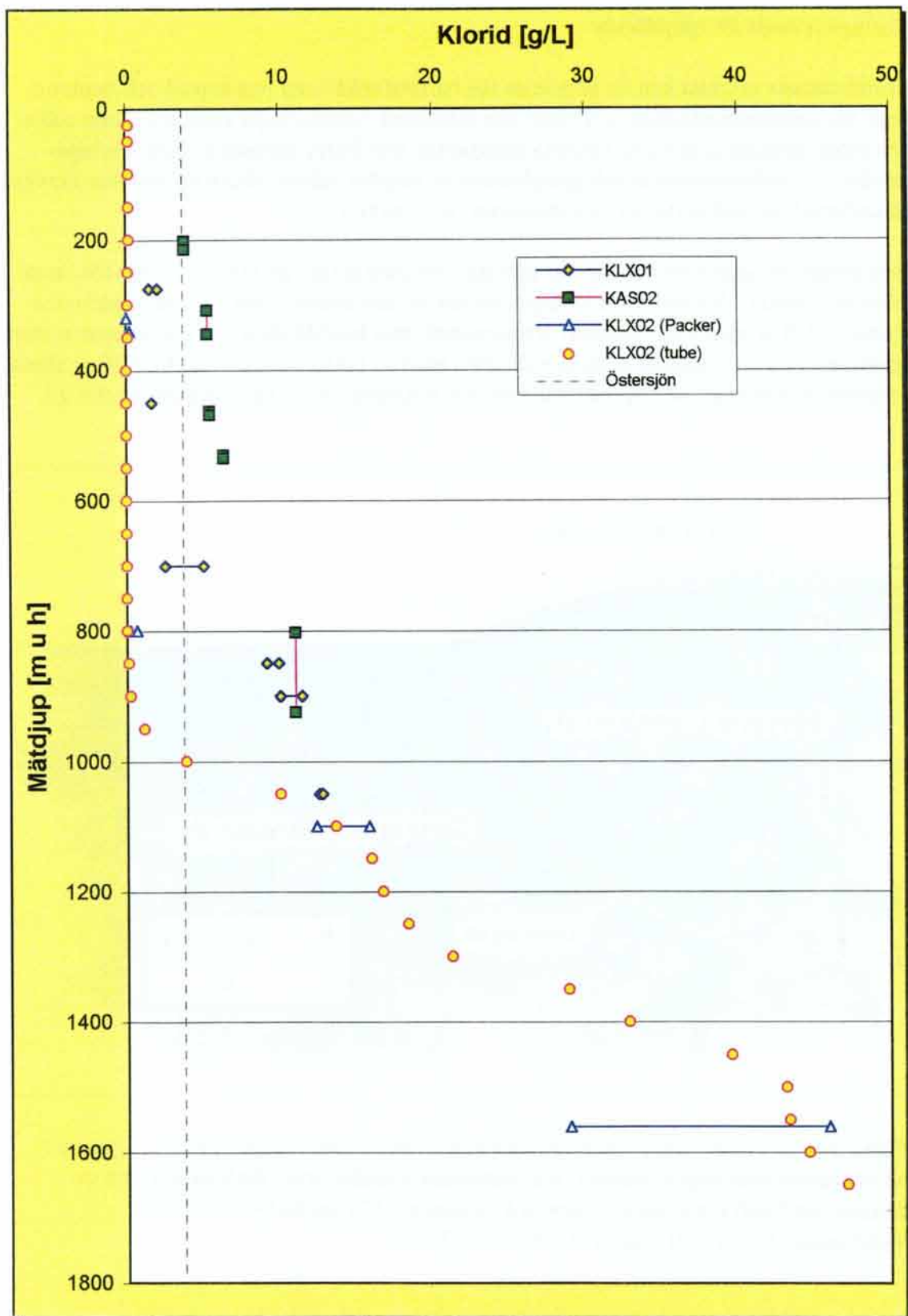
Data från stora djup i flera länder visar i många fall på en tydlig skiktning mellan sött (eller måttligt salt) grundvatten mot ytan och vatten med extremt höga salthalter på stort djup. I Sverige har detta observerats i borrhål vid Laxemar (kustnära läge strax väster om Äspölaboratoriet) och i Gravberg (Siljans-området i Dalarna). Data från Laxemar (och Äspölaboratoriet) redovisas i Figur 3-8. Mätningarna i Laxemar visar att salthalterna ökar drastiskt under 1000 meters djup. I Gravberg påträffades en gränsyta mot mycket salt vatten (över 100 g/l) på drygt 5 000 meters djup. Mätningar i Finland har i några fall indikerat övergång till salt grundvatten (salthalter några tiotals g/l) på djup i det ungefärliga intervallet 400–1000 m.

Allt tyder på att den skiktning som observerats drivs av skillnaden i densitet mellan sött och salt vatten, enligt den princip som illustreras i Figur 3-9. Det innebär att dagens situation är resultatet av en mer eller mindre långt gången process mot ett litostatiskt tillstånd, där lättare sötvatten ”flyter” på tyngre saltvatten. Det djup vid vilket man kan förvänta sig saltvatten står då i direkt proportion till grundvattenytans höjd över havet, som i stort sammanfaller med markytans nivå. Pågående landhöjning liksom kontinuerlig infiltration av sötvatten kan innebära att gränsytan successivt förskjuts nedåt.

Bestämningar av salthalter i grundvatten på förvarsdjup djup finns, förutom från Äspö och Laxemar, från ett tiotal platser som undersökts av SKB (typområden, Stripa gruva) samt ytterligare några platser. Kartan i Figur 3-10 ger en översikt över kloridhalter som uppmätts i borrhål på ca 500 meters djup, på olika platser med urbergsmiljö. Områden under respektive över högsta kustlinjen har också markerats. Det bör tilläggas att kartan visar medelvärden av data som i några fall uppvisar betydande spridning. Vidare kan det finnas skillnader i mätteknik mellan de olika platserna.

Med reservation för dessa osäkerheter kan man konstatera att kloridhalterna, med två distinkta undantag, ligger under 0,1 g/l, d v s i nivå med genomsnittsvärden för ytligare brunnar. De två undantagen är Äspölaboratoriet och typområdet Finnsjön i norra Uppland. De genomsnittliga kloridhalterna är där 7,3 g/l, respektive 5,5 g/l. I fallet Äspö ökar salthalterna successivt med djupet (Figur 3-8). Omfattande undersökningar har visat att mätresultaten kan förklaras av dels infiltration av havsvatten som täckt området under olika epoker (se avsnitt 3.2.5), dels inblandning av mycket gammalt vatten med höga salthalter (Rhén m fl, 1997). I fallet Finnsjön styrs grundvattenförhållandena av en dominerande, nära horisontell sprickzon på ca 300 meters djup, som fungerar som en hydraulisk barriär. Grundvattenomsättningen sker ovanför och i denna zon där vattnet är sött. Under zonen finns mer eller mindre stagnant saltvatten (Ahlbom och Smellie, 1989).

Mätplatserna i Figur 3-10 representerar lägen såväl ovan som under högsta kustlinjen. I Figur 3-11 visas uppmätta halter som funktion av altituden vid mätplatsen. Mätpunkterna är emellertid för få för att avgöra om det finns ett samband liknande det som konstaterats för ytliga brunnar (Figur 3-6).

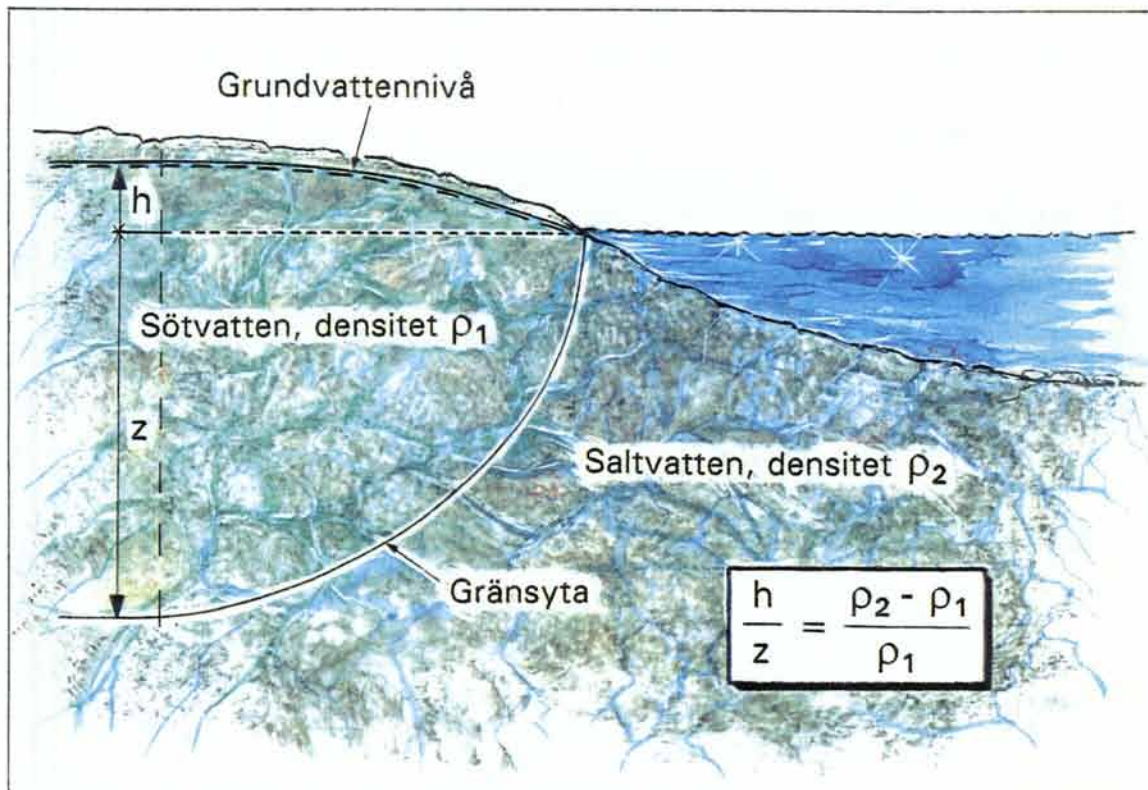


Figur 3-8. Kloridhalter i grundvatten vid Äspölaboratoriet (gröna fyrkanter) och Laxemar (övriga symboler).

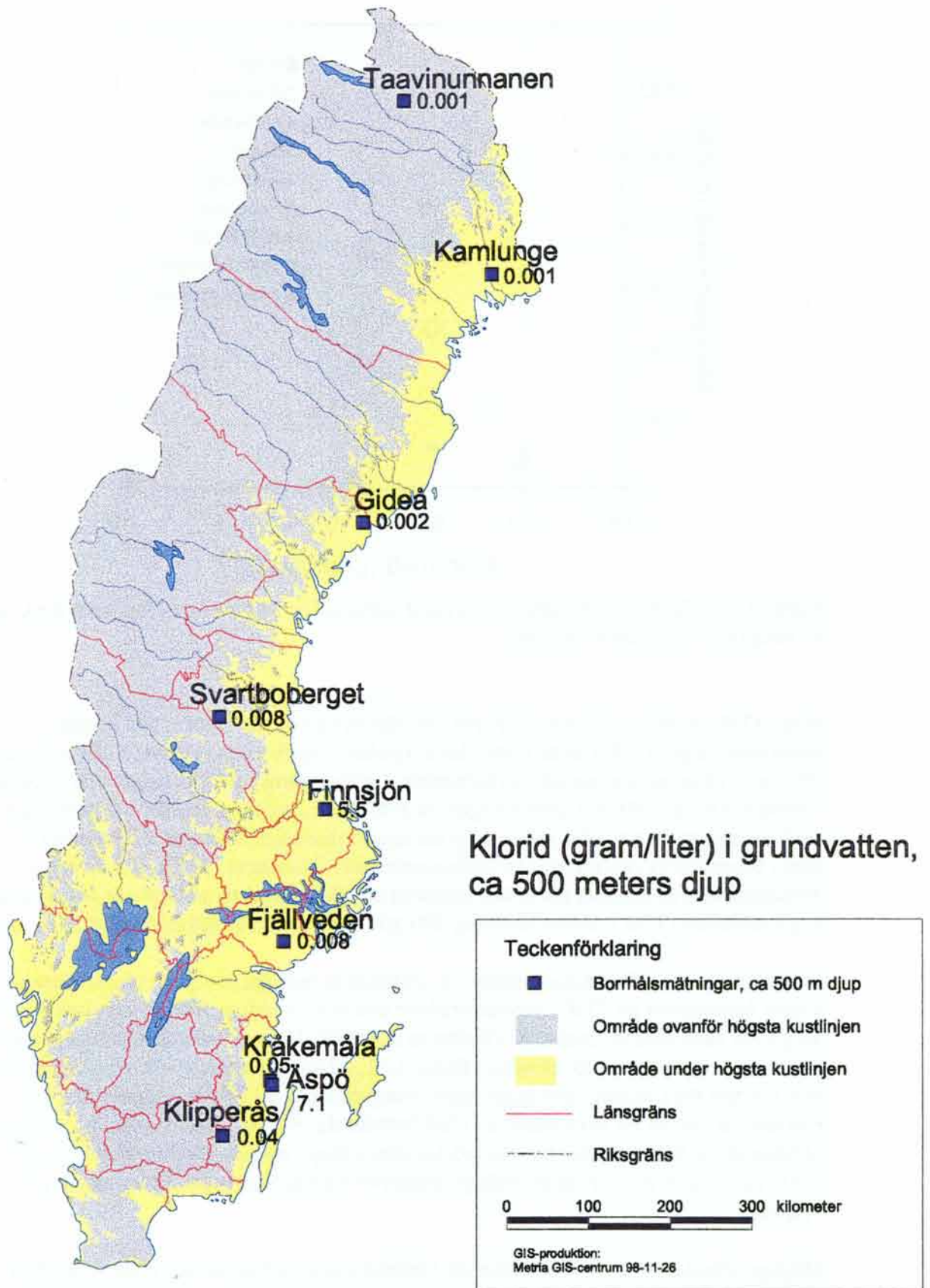
Konsekvenser för djupförvar

Grundvattnets salinitet kan ha betydelse för barriärfunktionen hos kapsel och bentonit samt för sorptionskapaciteten. Vidare kan salthalten, beroende på vilka krav som ställs och vilka material som väljs, påverka funktionen hos återfyllningen av deponerings-tunnlar. Ur driftsynpunkt är salt grundvatten en negativ faktor, eftersom det ökar kraven på underhåll av installationer och maskiner (se avsnitt 4.1.3).

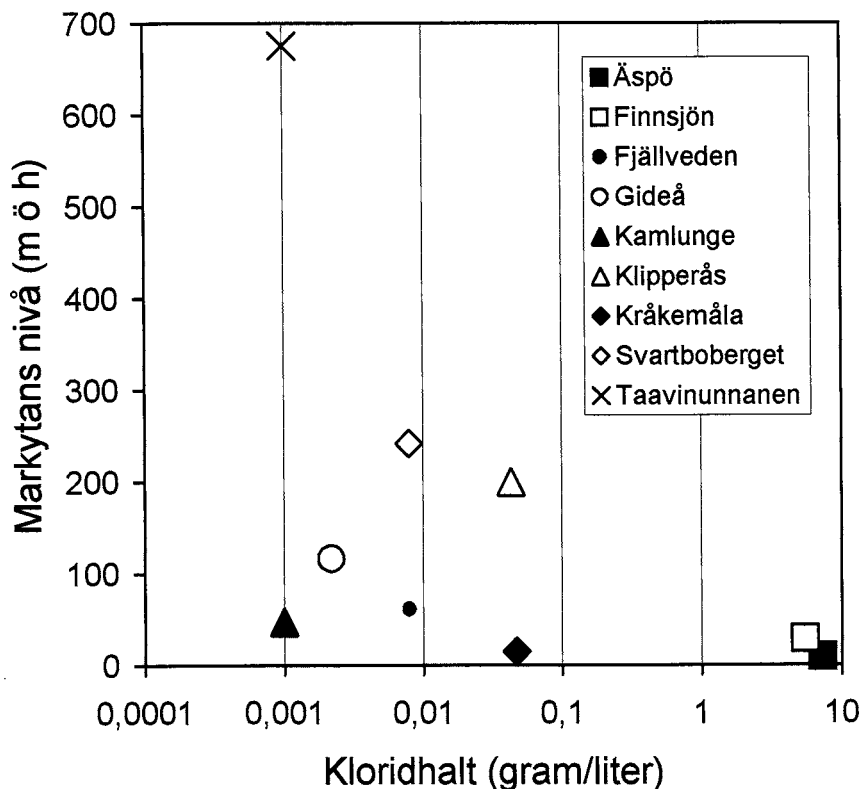
Den parameter som bäst kopplar salthalt till förvaringsfunktion är TDS, som står för "total dissolved solids" dvs den sammanlagda halten av alla ämnen lösta i vattnet (inklusive klorid). TDS är med viss variation proportionell mot kloridhalten och kan approximativt beräknas genom att multiplicera kloridhalten med en faktor 1,7. Uttryckt i TDS är alltså genomsnittshalterna vid Äspölaboratoriet och Finnsjön ca 12,4 g/l, respektive 9,4 g/l.



Figur 3-9. Skiktning mellan sött och salt grundvatten. Det lättare sötvattnet "flyter" på saltvatten med högre densitet. Vid stationärt tillstånd styrs förhållandet h/z av densitetsskillnaden mellan sövatten och saltvatten. Vid salthalten 10 g/l blir förhållandet h/z ca 0,015 och vid 100 g/l ca 0,15.



Figur 3-10. Kloridhalter som uppmätts i grundvatten på ca 500 meters djup.



Figur 3-11. Uppmätta kloridhalter i grundvatten på ca 500 meters djup, som funktion av mätplatsens höjdnivå (altitud).

Höga TDS i kombination med lågt pH kan försämra beständigheten hos kopparmaterialiet i kapseln. För detta krävs dock mycket höga koncentrationer (TDS > 200 g/l). Påverkan på bentonitbaserade buffertmaterial gäller främst svällförmågan när materialet vattenmättas, och därmed utvecklingen av svälltryck. I princip sjunker svällförmågan med ökande salthalter i det vatten som tas upp i materialet. Hur stor effekten blir är starkt beroende av densiteten hos buffertmaterialet (Karlund, 1997). För de höga densiteter som är aktuella för buffertmaterial av högkompakterad bentonit krävs mycket höga salthalter (TDS i storleksordning 200 g/l) innan svällförmågan försämras märkbart.

Med utgångspunkt från kunskaperna om salthaltens möjliga inverkan på barriärerna har kravet formulerats att TDS i förvarsområdet inte ska överstiga 100 g/l, och halter under 50 g/l har satts som ett önskemål (Ström m fl, 1998). Dessa värden ska jämföras med de halter som uppmätts på förvarsdjup, Figur 3-11, alltså som mest 10–20 g/l (Äspö) och i flertalet fall flera storleksordningar lägre. Marginalerna till nivåer där påverkan på barriärerna kan bli ett bekymmer är alltså betydande. För att hitta exempel på salthalter så höga att de bör undvikas får man gå till större djup (mer än 1000 m i Laxemar, ca 5 000 m i Gravberg) och under tydliga gränssytor mot extremt salta grundvatten på djupet.

Möjliga effekter av salt grundvatten på återfyllningen av tunnlars är en speciell fråga i sammanhanget. Kraven på återfyllningsmaterialets mekaniska och hydrauliska egenskaper är inte fastställda och avgörs delvis av platsspecifika bergförhållanden. Av det skälet är inte heller materialets sammansättning fastställd, men huvudalternativet är en blandning av bentonit och bergkross. I en sådan blandning blir bentonitens densitet väsentligt lägre än vad som är fallet i buffertmaterialet. Därmed ökar också känsligheten

för salt i grundvattnet. Redan halter i storleksordningen 10–20 g/l TDS, alltså jämförbara med de som uppmätts vid Äspölaboratoriet, kan försämra svällförmågan och öka konduktiviteten avsevärt i återfyllningsmaterial som innehåller 10–20% bentonit. Effekterna av saltvattnet kan kompenseras genom att öka andelen bentonit, men det kan då krävas en fördubbling eller mera av bentonitinblandningen.

Slutligen bör det observeras att en situation med tydlig skiktning mellan sötvatten och underliggande saltvatten kan innebära fördelar vad gäller strömningsförhållanden. Att skiktning uppkommit indikerar ringa eller inget utbyte mellan de två vattentyperna. Den grundvattenomsättning som berör ytan sker därmed i zonen med sötvatten, medan saltvattnet under gränsytan torde vara nära stagnant (Finnsjön är ett exempel på detta). En omgivning med nära stillastående grundvatten utan förbindelse med ytan reducerar självfallet möjligheterna för transport av eventuella lösta radionuklider i grundvattnet. Med andra ord kan det vara gynnsamt att förlägga djupförvaret under en sådan gränsyta, under förutsättning att salthalterna inte är sådana att de påverkar barriärernas funktion negativt eller förorsakar olägenheter i övrigt.

Slutsatser om salt grundvatten

Förekomsten av salt grundvatten i berggrunden påverkas av flera processer. En mer eller mindre långt gången skiktning driven av densitetsskillnaden mellan salt och sött vatten ger sannolikt upphov till de skarpa gränser mot mycket salta grundvatten som påträffats på stora djup. Nuvarande och forntida infiltration av sötvatten har också betydelse, särskilt högre upp i berggrunden. I områden som varit havstäckta sedan senaste istiden finns påverkan av relik havsvatten.

I högre belägna inlandsområden kan man med stor säkerhet påräkna sött grundvatten ner till djup som med god marginal överskrider förvarsdjup. I kustlägen och i låglänt terräng i övrigt kan det förekomma grundvatten med salthalter som påverkar konstruktionsförutsättningarna för ett djupförvar. Det gäller i första hand återfyllningsmaterialet för deponeringstunnlarna, vars sammansättning kan behöva anpassas för att undvika att saltvattnet försämrar dess långsiktiga egenskaper.

De extremt höga salthalter som krävs för att funktionen hos förvarets skyddsbarriärer (kapsel och bentonitbuffert) ska påverkas i negativ riktning har inte påträffats på förvarsdjup i svensk berggrund. I kustlägen kan det emellertid inte uteslutas att djupen till mycket salta grundvatten är så pass ringa att fenomenet behöver beaktas vid en eventuell lokalisering. Hänsyn måste då tas inte bara till situationen under ostörda förhållanden, utan också till den störning av grundvattensituationen som förvaret i sig ger. Fram till dess att förvaret förslutits och grundvattenytan har återgått till naturlig nivå kommer grundvattnet lokalt att röra sig in mot förvaret, under inverkan av tryckskillnaden mellan det dränerade förvaret och omgivningen. Om marginalen i djupled mellan förvaret och eventuellt saltvatten längre ner då är otillräcklig kan saltvatten underifrån ”dras” upp mot förvaret (Follin, 1995). Tillräckligt avstånd mellan förvarsnivån och eventuellt grundvatten med salthalter höga nog att undvikas måste därför säkerställas.

Sammanfattningsvis visar tillgängliga data om grundvattnets salinitet att det i kustlägen och låglänt terräng i övrigt kan förekomma salthalter som avsevärt påverkar konstruktionsförutsättningarna för ett djupförvar. Det är möjligt att höga salthalter i enskilda fall kan innebära olämpliga förhållanden för ett djupförvar. I speciella fall kan förekomsten av salt grundvatten å andra sidan bidra till gynnsamma förhållanden vad gäller grundvattenströmning. En annan fördel kan vara minskad risk för att grundvattnet i en framtid utnyttjas för dricksvatten. De finns alltså anledning att noga beakta grundvattnets salt-halt som en potentiellt viktig lokaliseringsfaktor, särskilt om kustnära lägen övervägs. Däremot kan man inte generellt varken förorda eller avfärda kustlägen med hänvisning till denna faktor.

3.2.4 Biosfären

I ett scenario där djupförvarets isolerande funktion inte har fungerat som avsett, vatten har kunnat tränga in i kapslarna, bränsle har lösts upp, och radionuklider har transporterats upp till ytan med strömmande grundvatten blir förhållandena i biosfären avgörande för hur dessa radionuklider sprids, omsätts i ekosystemen och eventuellt når människan. I säkerhetsanalysens mening har därför biosfärsförhållandena stor betydelse för dosberäkningar, givet att man utgår från scenarier som de facto ger utsläpp av radionuklider i något skede.

Recipienten till vilken eventuella utsläpp sker är då en nyckelfaktor. Allmänt är det gynnsamt med en stor och "rörlig" recipient, eftersom det ger spridning och utspädning istället för ackumulation. Stora vattensystem ger därför gynnsamma recipientförhållanden. Ur den aspekten är det uppenbart att en förläggning under havet (eller vid kusten så nära havet att detta utgör recipient) är fördelaktig, jämfört med en förläggning under land. Även klimat- och markförhållanden har stor betydelse för hur ämnen sprids i biosfären. Starkt förenklat kan man säga att miljöer med rikt växt- och djurliv och snabb biologisk omsättning ger effektivare spridning än biologiskt "torftiga" miljöer. Detta skulle kunna tala för en lokalisering till kusttrakter och/eller södra Sverige.

Biosfären karaktäriseras av mångsidig förändring i olika tidsskalor, till följd av såväl naturliga processer som mänsklig påverkan. Vissa förändringsprocesser, exempelvis landhöjningen (se avsnitt 3.2.5), kan förutsägas relativt väl, men många är ytterligt svårbedömda. Det gäller särskilt de förändringar av ekosystemen och eventuellt klimatet som människan själv åstadkommer. I jämförelse med förhållandena i berggrunden är därför biosfärsförhållandena svårare att förutsäga, särskilt på längre sikt.

Klimatförändringar kommer självfallet att påverka biosfären i stor utsträckning. En förväntad utveckling med gradvis kallare klimat, permafrost och så småningom glaciation stöper om förutsättningarna på ytan i alla avseenden. Den i sammanhanget viktigaste konsekvensen av en inlandsis är frånvaron av mänsklig aktivitet. Så länge området där djupförvaret finns täcks av en mäktig inlandsis som förhindrar mänsklig närvaro liksom det mesta av växt- och djurliv är det också svårt att se några risker med förvaret.

Som en allmän slutsats konstateras att de allmänna skillnader i biosfärsförhållanden som föreligger mellan olika landsändar, liksom mellan kust- och inlandsregioner, inte ger anledning att förorda eller utesluta något lokaliseringalternativ. Skälen till detta är flera. För det första bör biosfären som säkerhetsrelaterad lokaliseringsfaktor allmänt ses som underordnad faktorer som rör berggrund och grundvatten. För det andra berör biosfären främst säkerheten i ett mycket långsiktigt tidsperspektiv, varför bedömningar av framtida förändringar kan vara viktigare utgångspunkter än dagens tillstånd. För det tredje måste biosfärsförhållandena, i likhet med många andra faktorer, värderas i mer lokal skala.

3.2.5 Förändringar på lång sikt

Genomgången ovan visar att skillnader mellan kust och inland, respektive nord och syd, i många fall är kopplade till långsiktiga, naturliga förändringar. Det gäller i första hand grundvatten- och biosfärsförhållanden, men på längre sikt även berggrundens mekaniska stabilitet. Förändringarna orsakas i huvudsak av två processer:

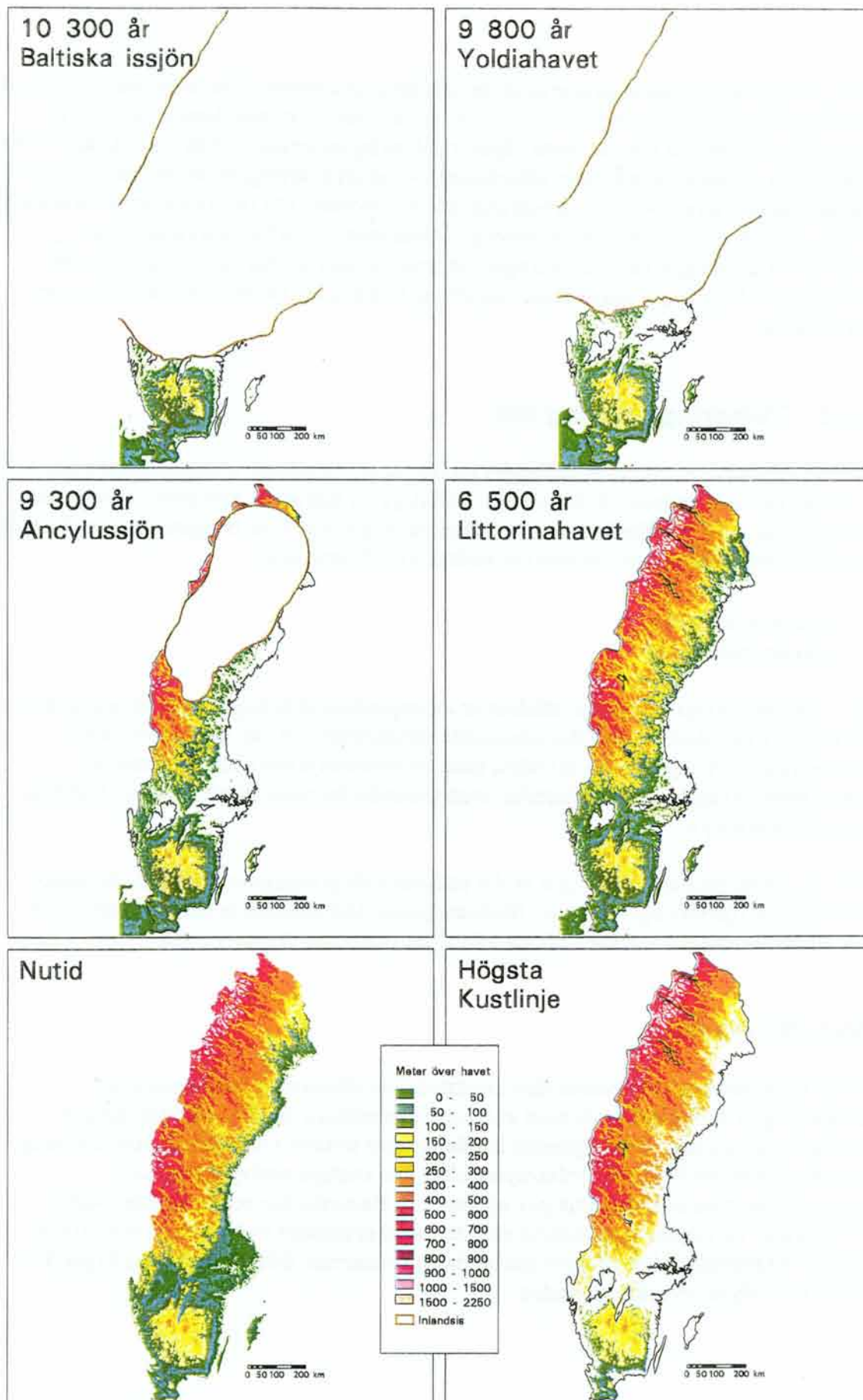
- Strandförskjutning
- Klimatförändringar

Strandförskjutningen och dess effekter är av uppenbara skäl begränsade till kusttrakter. Denna process pågår nu och det intressanta tidsperspektivet kan sägas vara några tusentals år, som längst fram till nästa istid. Strandförskjutning kommer med all sannolikhet att äga rum även därefter, men skeendet kommer då att styras av framtida glaciationsförlopp.

När det gäller klimatförändringar är det just framtida glaciationer som kan förväntas svara för de ojämförligt viktigaste förändringarna. Det intressanta tidsperspektivet är grovt sett från några tusentals till åtskilliga tiotusentals år framåt i tiden.

Strandförskjutning

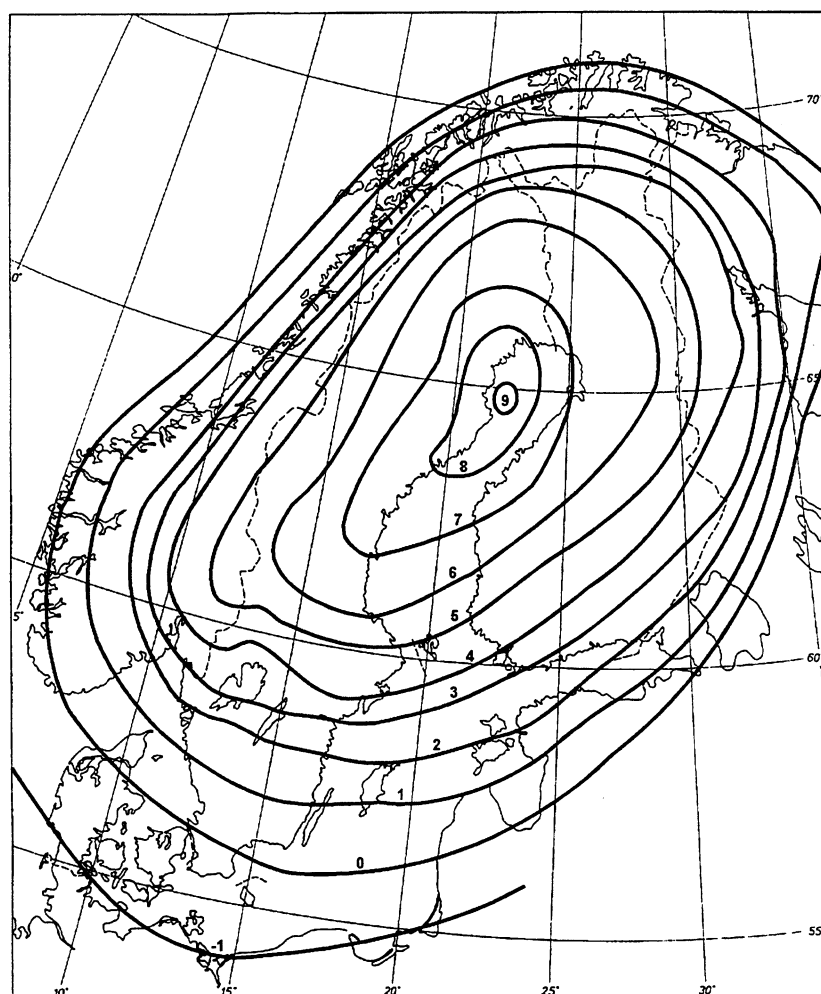
Strandförskjutningen betecknar den sammanlagda effekten av landhöjning och förändring av havsytans nivå, med andra ord den relativa vertikala förskjutningen mellan land och hav. Den pågående landhöjningen tillskrivs en tidsberoende återgång mot ett isostatiskt läge hos jordskorpan, efter den kraftiga nedtryckning som belastningen från inlandsisarna gav upphov till. Havsytan har sedan senaste istiden förändrats i ett ganska komplicerat mönster, med skillnader mellan väst- och östkust eftersom Östersjöns föregångare periodvis varit isolerade från Västerhavet. Figur 3-12 illustrerar några utvecklingsskeden.



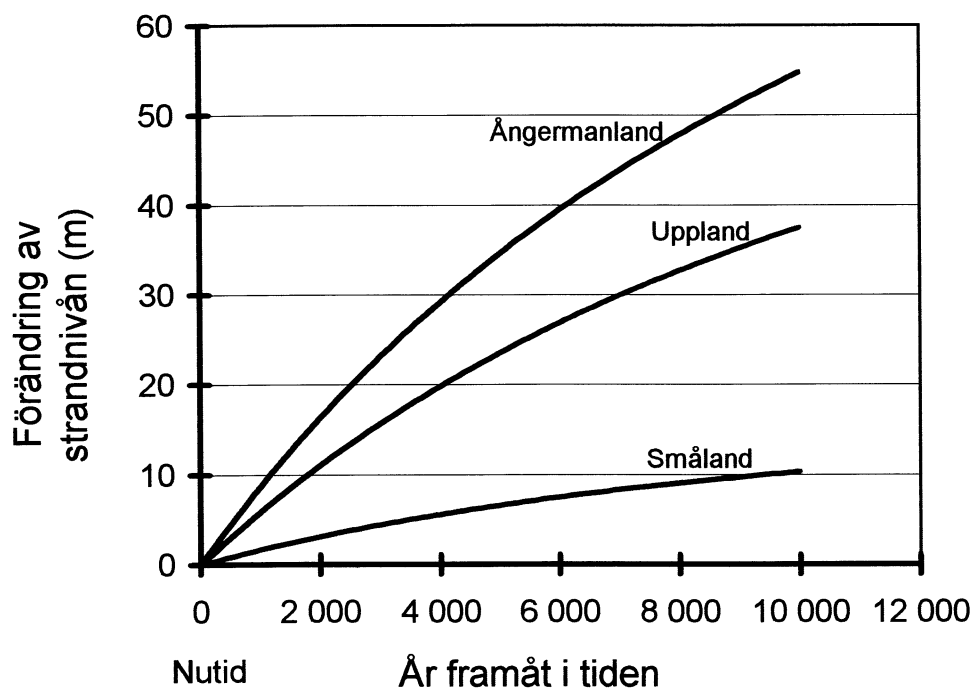
Figur 3-12. Utvecklingsstadier efter den senaste isavsmältningen. Ofärgade partier innanför nuvarande kustlinje var vattentäckta vid de angivna tidpunkterna. Högsta kustlinjen markerar hur högt upp havet nått som längst, men motsvarar inte någon enskild tidpunkt.

Landhöjning, förändringar och havsnivån och därmed strandlinjens utveckling har kunnat rekonstrueras relativt väl på basis av geologiska observationer och direkta mätningar av pågående förändringar. Under förutsättning att framtida förändringar följer hittillsvarande trend är det därmed också möjligt att förutsäga utvecklingen i framtiden, (Påsse, 1997).

Strandförskjutningen varierar över landet. Figur 3-13 visar dagsläget, i form av årlig landhöjning relativt havsnivån. Av figuren kan utläsas att strandförskjutningen är närmare 1 cm/år längs norra Norrlandskusten, avtar successivt mot söder och är närmast obefintlig i sydligaste Sverige. Figur 3-14 visar prognoser utarbetade av Påsse (1996, 1997) för strandförskjutningen i tre ungefärliga lägen längs Ostkusten: Småland, Uppland och Ångermanland. Prognoserna grundar sig på dagens trender vad gäller landhöjning och förändringar av havsytan. De tar inte hänsyn till effekter av eventuella större klimatförändringar (exempelvis en ny istid). Tillförlitligheten blir därmed, som för alla prognoser, sämre ju längre tidsperspektiv som beaktas. I ett tidsperspektiv på några tusen år är det dock svårt att se några faktorer som skulle kunna förändra den pågående landhöjningsprocessen.



Figur 3-13. Nuvarande landhöjning (mm/år) relativt havsnivån (från Påsse, 1997).



Figur 3-14. Prognos för strandförskjutningen 10 000 år framåt i tiden för tre lägen längs östkusten (efter Pässe, 1997).

Enligt prognosen kan man längs Norrlandskusten förvänta sig en strandförskjutning på närmare 10 m under de kommande 1 000 åren, medan det i södra Sverige kommer att röra sig om några få meter. Vad dessa vertikala rörelser kommer att betyda i form av ny landarea styrs självfallet av den lokala topografin.

Konsekvenser för djupförvar

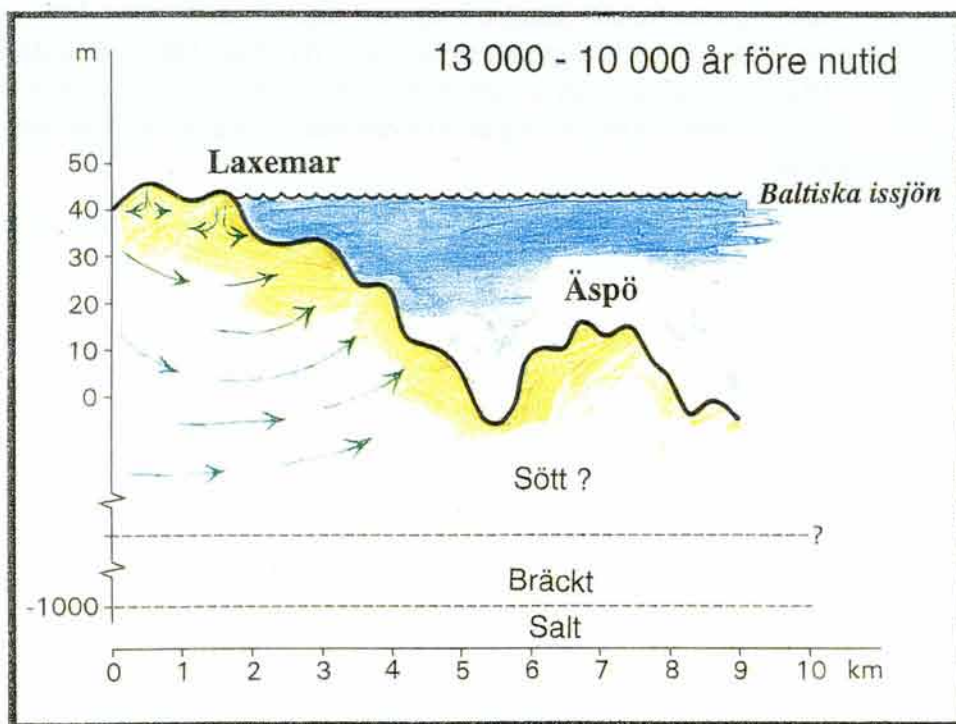
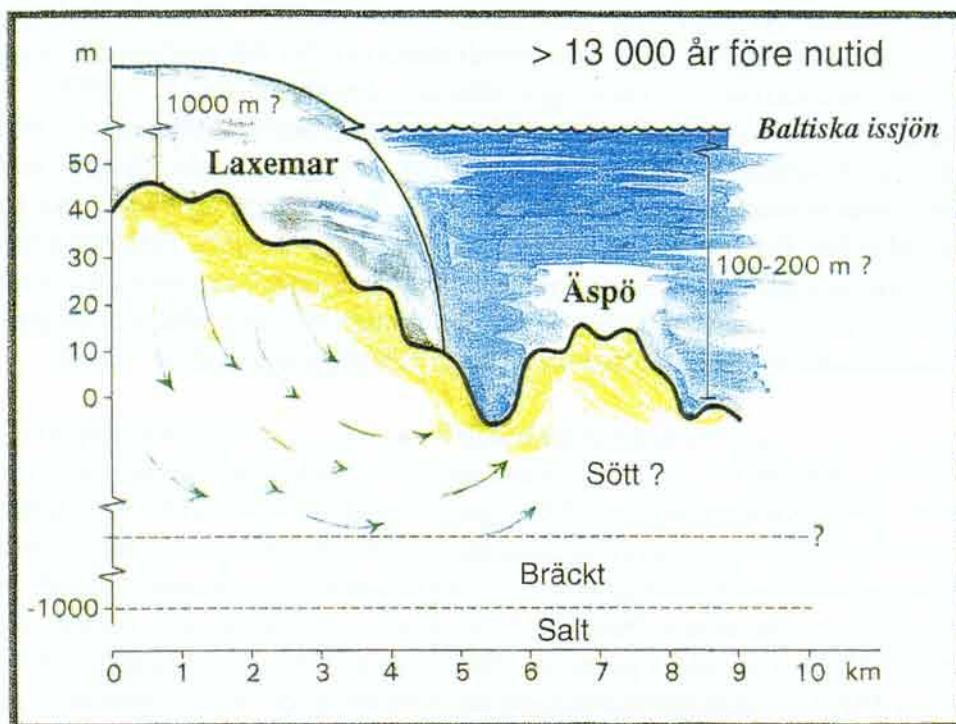
Strandförskjutningen kan påverka grundvatten- och recipientförhållanden. Förutsättningen är förstås att förvaret förläggs under ett terrängavsnitt som antingen övergår från att vara havsbotten till att bli landbacke, eller åtminstone ligger tillräckligt nära för att grundvattenströmningen på förvarsplatsen ska påverkas.

Den uppenbara effekt som kan fås är att recipienten ändras från hav till fastland. Tillförlitligheten i tillgängliga prognoser för strandförskjutning bedöms dock som tillräckligt god för att, om man så önskar, undvika detta genom att helt enkelt att välja en plats där djupet med lämplig marginal överskrider förväntad strandförskjutning. Den längsta tidsperiod som då rimligen kan beaktas är fram till nästa, förväntade istid.

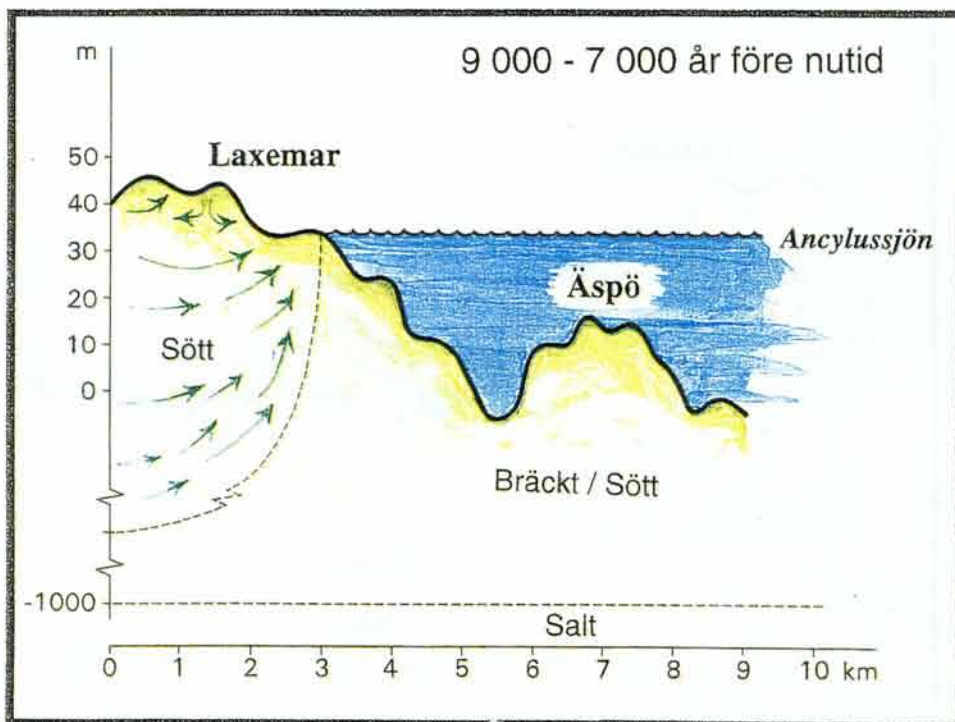
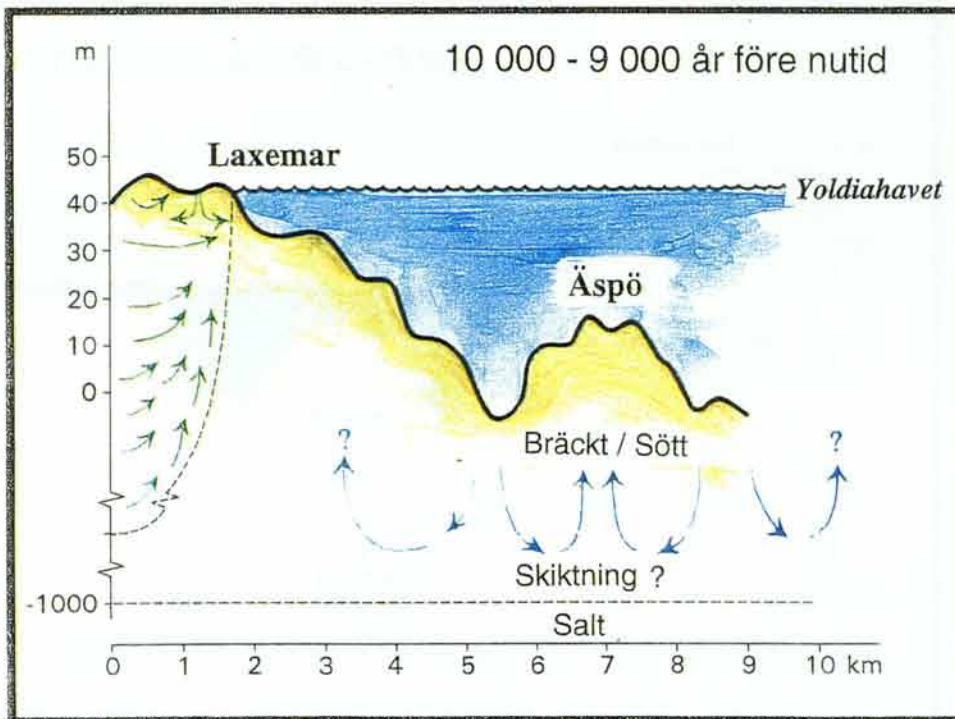
En annan effekt är förändringar av grundvattensituationen. Ett illustrativt exempel på detta kan hämtas från Äspö och kuststräckan väster därom (Laxemar). Omfattande studier av grundvattenströmning och grundvattenkemi har där möjliggjort en konceptuell rekonstruktion av utvecklingen efter den senaste istiden (Rhén m fl, 1997). Figurerna 3-15, 3-16 och 3-17 visar möjliga tillstånd under ett antal epoker, från inlandsisens avsmältning och fram till nutid. Utvecklingen har påverkats av en rad faktorer förutom strandförskjutningen, däribland förändringar i salthalter hos havsvattnet. Man kan ändå se att kustområdet vid Laxemar successivt förändrats från utströmningsområde mot inströmningsområde. För Äspö har en liknande utveckling inletts i sen tid i och med övergången från havsbotten till land. Man kan på goda grunder anta att denna utveckling kommer att fortsätta åtskilliga tusentals år framåt.

Exemplet ovan visar huvudsakligen förhållanden nära ytan. På större djup kan de långsiktiga förändringarna av grundvattensituationen bli både långsammare och mindre drastiska. Strandförskjutningens effekter på förvarsdjup kan ändå bli betydande till både art och omfattning. I en generell mening förskjuts tillståndet mot inströmningsförhållanden och ökande tryckgradienter. Vilka effekterna blir i ett specifikt fall beror dock mest på lokala förhållanden, framförallt topografi och berggrundens konduktivitet. Det är därför svårt att ange några generella effekter med avseende på djupförvarets funktion. En annan effekt av strandförskjutningen kan vara att djupet till en eventuell gränsyta mot salt grundvatten (jfr Figur 3-9) ökar i takt med att grundvattenytans höjd över havet ökar.

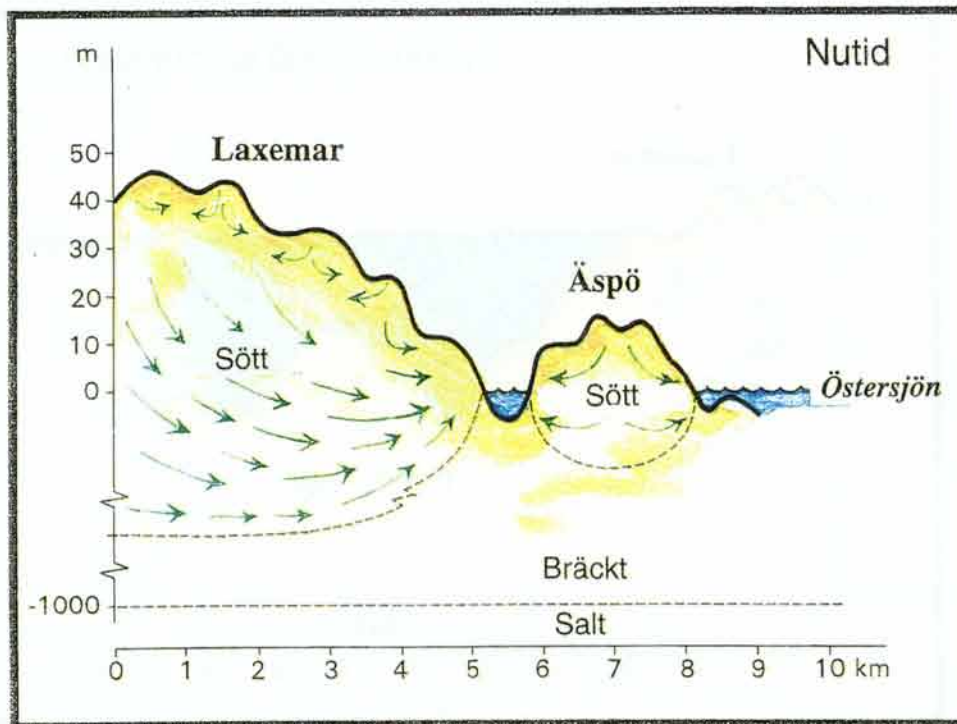
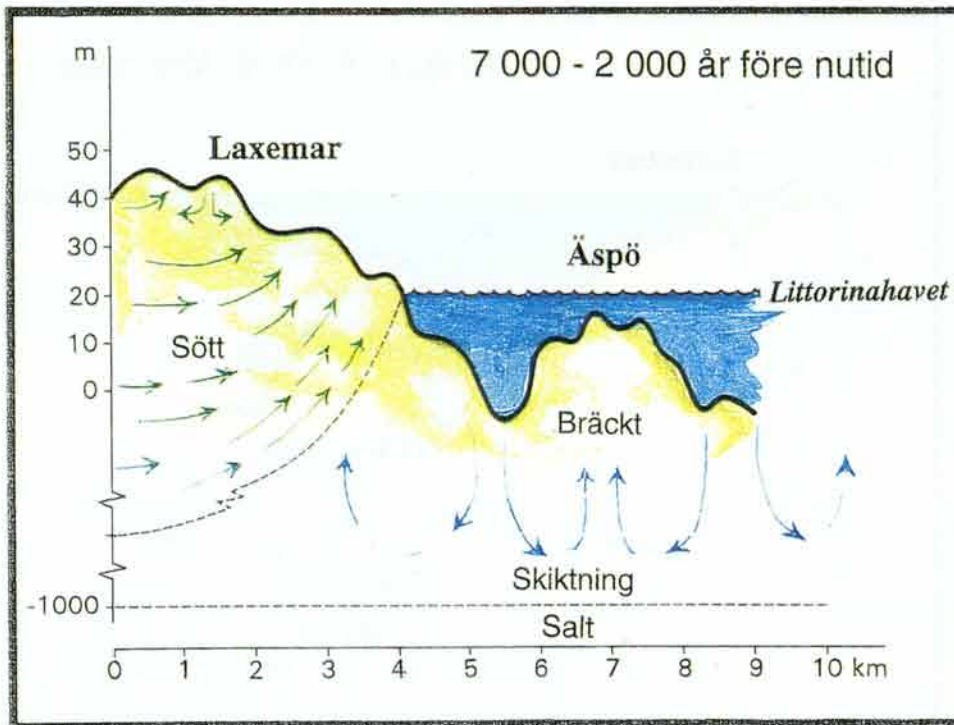
I ett typiskt inlandsläge har landhöjningen knappast några konsekvenser för varken biosfär eller grundvattenförhållanden. En sådan stabil miljö ger bättre möjligheter att förutsäga förhållandena på lång sikt än den mera föränderliga miljön i ett kustläge. I det avseendet är alltså föränderligheten i sig en försvårande omständighet som kan vara till kustlägets nackdel.



Figur 3-15. Ett scenario för utvecklingen i Laxemar-Äspöområdet, från senaste istiden och fram till 10 000 år före nutid. Möjliga strömningslinjer för grundvatten, densitetsdriven skiktning mellan salt och sött vatten, samt gränssytor mellan sött, bräckt och salt vatten.



Figur 3-16. Ett scenario för utvecklingen i Laxemar-Äspöområdet, från 10 000 till 7 000 år före nutid. Möjliga strömningslinjer för grundvatten, densitetsdriven skiktning mellan salt och sött vatten, samt gränssytor mellan sött, bräckt och salt vatten.



Figur 3-17. Ett scenario för utvecklingen i Laxemar-Äspöområdet, från 7 000 år före nutid och fram till i dag. Möjliga strömningslinjer för grundvatten, densitetsdriven skiktning mellan salt och sött vatten, samt gränssytor mellan sött, bräckt och salt vatten.

Klimatförändringar och glaciation

Studier av bland annat djuphavssediment visar att jordens klimat varierat kraftigt genom tiderna. De senaste 700 000 åren har ett mönster med ca 100 000 år långa globala kallperioder (glacialer), abrupt avbrutna av kortare varmperioder (interglacialer), upprepat sig. Klimatets utveckling i Sverige har kunnat kartläggas relativt väl för tidsperioden under och efter den senaste istiden, d v s de senaste 10 å 20 tusen åren (Andersson, 1998; Wallroth, 1997). Längre tillbaka blir klimatväxlingarna svårare att rekonstruera, eftersom inlandsisarna har förstört mycket av de geologiska spåren.

Figur 3-18 visar en rekonstruktion av inlandsisarnas utbredning över landet under de senaste 130 000 åren. För drygt 10 000 år sedan inleddes den globala värmeperiod som fick den senaste inlandsisen att smälta undan relativt snabbt (deglaciation), och som bestämmer klimatet idag. Värmeperiodens maximum anses ha inträffat för ca 5 000 år sedan och vi går nu åter mot kallare klimat.

Klimatväxlingarna bakåt i tiden uppvisar en cyklisk regelbundenhet, där cykler med olika magnitud och frekvens överlappar varandra. Detta har kunnat kopplas till förändringar i solinstrålningen, förorsakade av att jordbanans form runt solen samt jordaxelns rotation och lutning varierar (Hays m fl, 1976; Imbrie och Imbrie, 1980). Det finns goda skäl tro att dessa yttre krafter kommer variera på ungefär samma sätt även i framtiden. Variationerna i solinstrålning är därmed förutsägbara, vilket möjliggör prognoser av den framtida klimatutvecklingen. Osäkerheterna i dessa prognoser är ändå mycket stora, eftersom det är svårt att bedöma hur jorden som klimatsystem kommer att reagera på de yttre förändringarna. Osäkerheten gäller särskilt hur kraftiga klimatsvängningarna blir och därmed vilka effekter de får. Det är t ex ovisst om och när den kallperiod som nu nalkas leder till att en ny inlandsis breder ut sig över Skandinavien. Möjlig inverkan av sentida mänsklig aktivitet i form av förstärkning av växthuseffekten har tillkommit som ytterligare en osäker faktor i det korta tidsperspektivet.

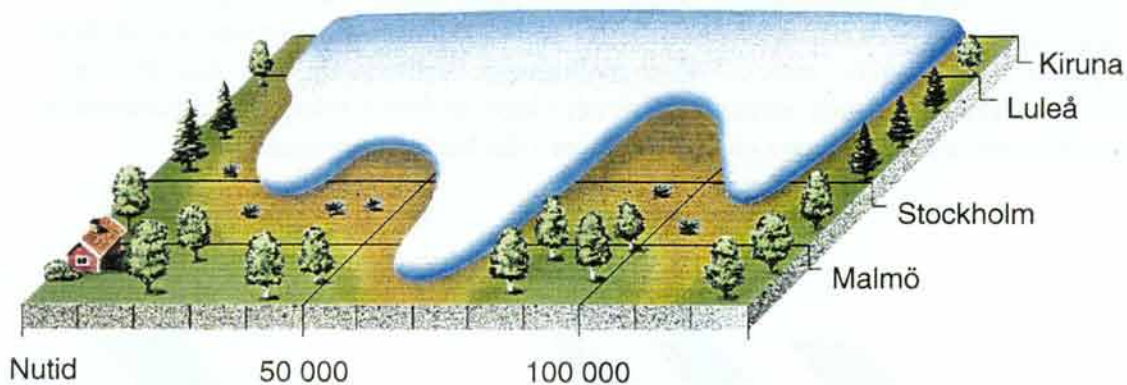


Figur 3-18. En rekonstruktion av inlandsisens utbredning över Sverige under de senaste 130 000 åren (Wallroth, 1997).

Figur 3-19 visar ett scenario för hur inlandsisarna kan förväntas utbreda sig som en följd av klimatväxlingar under de kommande 130 000 åren (Ahlbom m fl, 1991). Scenariot bygger på klimatmodeller presenterade av Imbrie och Imbrie (1980) samt Kukla (1979). Historien antas i detta scenario upprepa sig, och framtida klimatvariationer bedöms leda till glaciationer i en omfattning som i genomsnitt är jämförbar med vad som varit i förfluten tid.

Den nuvarande trenden mot allt kallare klimat kommer med stor sannolikhet att fortsätta. Enligt scenariot i Figur 3-19 tar en global kallperiod sin början om ca 5 000 år. För Skandinavien innebär detta en ny istid, med ett istäcke som breder ut sig med början i fjälltrakterna. Under en stor del av perioden fram till dess kommer det att vara permafrost i norra Sverige. Vidsträckta områden med permafrost kommer också att föregå isens vidare utbredning mot söder. I takt med att polarisarna växer binds stora mängder vatten, varför nivån i världshaven sjunker.

Klimatet förväntas sedan förbli avsevärt kallare än dagens under många tiotusentals år. Troligen dröjer det ca 100 000 år innan en ny värmeperiod liknande den vi har nu inträder. Innan dess förväntas betydande klimatväxlingar i cykler som kan räknas i tiotusentals år. Inlandsisens och permafrostens utbredning förskjuts i motsvarande takt. Var gränserna mera exakt kommer att gå under olika tidsperioder är naturligtvis osäkert.



Figur 3-19. Ett scenario för klimatutvecklingen i Sverige, från nutid och 130 000 år framåt.

Konsekvenser för djupförvar

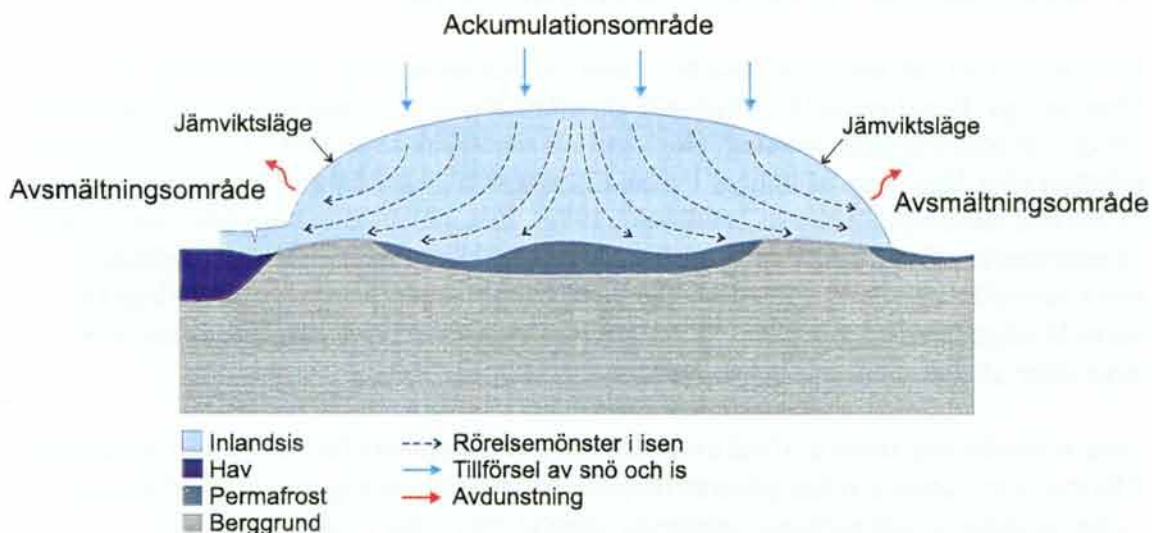
Figur 3-20 visar en principskiss av en inlandsis. Permafrost råder under isens centrala delar (isdelarazonen). Närmare kanterna smälter isen i botten (avsmältningszon). Permafrost kan också finnas i en zon vid och utanför iskanten. Utsträckningen på denna zon beror mycket på nederbörds- och temperaturförhållanden.

Permafrost och, än mer, glaciation inducerar avsevärda förändringar i berggrunden. Påverkan gäller såväl grundvattnets rörelser och sammansättning som bergmekaniska förhållanden. Effekterna avtar med djupet, men kan bli betydande även på förvarsnivå.

Permafrost

Hur djupt permafrosten kan tränga i berggrunden beror av temperatur och nederbörd på ytan, jordlagrens och berggrundens förmåga att magasinera värme, samt värmeflödet från jordens inre (se avsnitt 4.1.3). För svenska förhållanden har djupet beräknats till maximalt ca 300 m. Den värmeutveckling som fås från ett djupförvar bedöms ge endast marginella störningar av permafrostens utveckling lokalt över förvaret (Vallander och Eurenus, 1991).

Den viktigaste effekten av permafrosten är att den frusna horisonten bildar ett mer eller mindre sammanhängande "hydrauliskt lock" över underliggande berggrund. Grundvattenflödet tvingas därmed ner mot större djup, strömningsvägarna blir längre och uppehållstiderna ökar. Detta kan i sin tur påverka grundvattnets sammansättning i riktning mot högre salthalter. Mekaniskt kan frysningen av vatten i sprickor möjligen orsaka bestående deformationer som påverkar vattengenomsläppligheten i senare skeden, när permafrosten upphört. Några förändringar av belastningarna på själva förvaret förorsakade av permafrosten kan knappast förutses.



Figur 3-20. Schematisk bild av en inlandsis.

Utvecklingen av permafrost åtföljs självfallet av omfattande förändringar i biosfären. Med nutidens mått mätt är dock landet fortfarande beboeligt. Den dominerande naturtypen är tundra.

Sammantaget är det svårt att se att ett tillstånd med permafrost skulle påverka djupförvarets isolerande förmåga nämnvärt. Den fördröjande funktionen skulle snarast förbättras som en följd av förändringarna av grundvattnets flöde. Det faktum att övergången till permafrost innebär en betydande förändring kan i sig ses som en negativ faktor, eftersom alla förändringar gör det svårare att förutsäga djupförvarets funktion, jämfört med om randvillkoren förblev konstanta.

Glaciation

Grundvattenförhållandena under de centrala delarna av en inlandsis, där isens botten är "frusen" (se Figur 3-20) och permafrost råder, kan antas vara mer eller mindre stagnanta. Närmare kanterna, där avsmältning sker under isen, kan infiltrationen av smältvatten till berggrunden bli betydande. Vidare kan grundvattentrycken bli kraftigt förhöjda om trycknivåer motsvarande istäckets övre delar förs ner i berggrunden via sprickor i isen och bergets spricksystem. Närmast isränden blir grundvattensituationen än mer dynamisk. Höga grundvattentryck under isen driver där grundvattenflöden under den smala zonen med permafrost, mot fria utströmningspunkter utanför denna. Tillförseln av syrerikt smältvatten kan också förändra grundvattnets sammansättning till betydande djup.

Mekaniskt innebär en glaciation stora tillskottslaster på berggrunden. Tyngden från en upp till flera kilometer mäktig inlandsis innebär belastningsökningar som till belopp motsvarar de belastningar som idag normalt råder på 500 meters djup i svensk berggrund (Leijon och Ljunggren, 1992). Under inlandsisen och på avstånd från isränderna kan de tillkommande belastningarna antas ha en allmänt stabiliserande inverkan på berggrunden som sådan. Effekterna lokalt på själva förvarskonstruktionen styrs av ett komplicerat samspel mellan belastningar, bergegenskaper, förvarsgeometri och den stabiliserande effekten av buffert och återfyllning.

I området kring isfronten blir belastningarna på berggrunden mera komplicerade och föränderliga. Bland annat fås betydande skjuvbelastningar i vissa lägen, vilket generellt verkar i destabiliserande riktning. Höga grundvattentryck i sprickor i kombination med måttliga eller låga bergspänningar i vissa riktningar är också faktorer som kan bidra till försämrade mekanisk stabilitet (Lindblom, 1997). Det gäller främst området strax utanför en retirerande isfront, som därför motsvarar ett läge där berg rörelser och jordskalv är mera sannolika än i övrigt. De sen- eller postglaciala rörelser som kunnat beläggas i norra Sverige har med stor sannolikhet utlösts i ett sådant läge, i samband med eller strax efter att den senaste inlandsisen drog sig tillbaka.

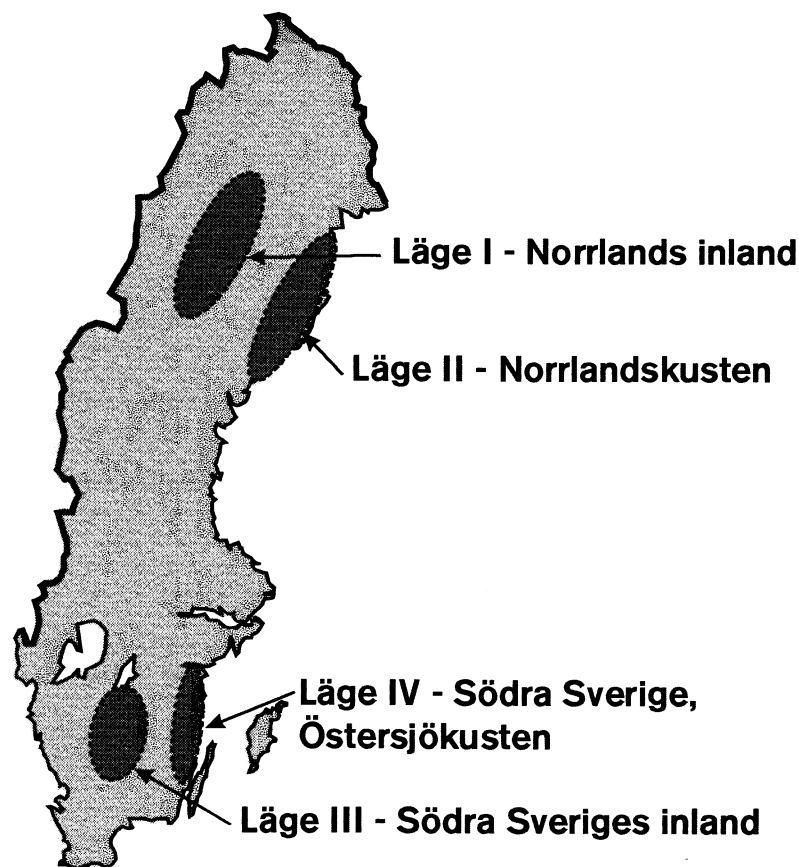
Glaciationsförlopp orsakar alltså avsevärda och svårbedömda förändringar i geosfären. Effekter som potentiellt kan påverka djupförvarets funktion negativt är ökad grundvattenomsättning och möjligen mekanisk instabilitet i olika former under vissa skeden av en glaciationscykel. Omvänt kännetecknas andra skeden av ringa grundvattenomsättning och stabila förhållanden, med potentiellt positiva konsekvenser för

förvarets säkerhet. Den uppenbara och positiva effekten av en istid är emellertid istäckets funktion som extra skyddsbarriär. Denna barriär gör mänsklig närvaro i området extremt osannolik och utesluter rimligen risken för intrång i förvaret.

Geografiska skillnader

Skillnaden i latitud innebär att det med all säkerhet kommer att finnas klimatskillnader mellan norra och södra Sverige även i framtiden. Osäkerheterna när det gäller klimatets utveckling globalt sett gör det emellertid svårt att bedöma hur dessa skillnader kommer att yttra sig. Den bild som ges i Figur 3-19 är ett scenario, men det finns också studier tyder på att nästa nedisning dröjer avsevärt längre än vad som indikeras i figuren (Berger och Loutre, 1996). Detta har självfallet stor betydelse vid en jämförelse av utvecklingen i olika delar av landet. Exempelvis innebär en kallperiod som leder till glaciation i norra landsdelen (men inte i södra) betydligt större kontraster mellan nord och syd än en kallperiod vars effekter begränsas till permafrost även i norr.

Nedan skisseras en *tänkbar* utveckling, ca 100 000 år framåt, för fyra tänkta geografiska lägen enligt Figur 3-21: Norrlands inland, Norrlandskusten, Södra Sveriges inland samt Östersjökusten i Södra Sverige. Utgångspunkten är att det scenario för framtida istider som visas i Figur 3-19 är någorlunda riktigt, d v s att klimatvariationerna i framtiden leder till glaciationer i en omfattning som i genomsnitt är jämförbar med vad som varit i förfluten tid.



Figur 3-21. Fyra hypotetiska lägen valda för att illustrera möjlig klimatutveckling i olika delar av landet.

Läge I, Norrlands inland. Området täcks av inlandsis inom 5 à 10 tusen år, efter en relativt kortvarig period med permafrost. Med stor sannolikhet förblir området därefter istäckt under åtskilliga tiotusentals år, kanske så länge som 100 000 år. Under merparten av glaciationen befinner sig platsen under isdelarزونen, d v s det råder permafrost och berggrunden kännetecknas av stabila hydrauliska och mekaniska förhållanden. Isens mäktighet kan uppgå till ett par kilometer, men ca 1 kilometer är ett troligare medelvärde. Platsen förblir fastland, även under den mycket avlägsna period då en ny värmeperiod inträder.

Läge II, Norrlandskusten. Nedisningen börjar tusentals eller kanske tiotusentals år senare än i läge I, och föregås av en längre period med permafrost. Även här stannar inlandsisen åtskilliga tiotusentals år. Under delar av glaciationsperioden befinner sig området förmodligen i en avsmältningsson, utan permafrost och med hydraulisk kommunikation mellan is och berggrund. Isens mäktighet kan vara något större än i läge I. I samband med att inlandsisen avsmälter hamnar området under havet, utan mellanliggande period med permafrost. En landhöjningsprocess liknande dagens kan så småningom återföra området till fastland.

Läge III, Södra Sveriges inland. Permafrost råder under större delen av den betraktade tidsperioden. I den mån området blir täckt av inlandsis under denna tid dröjer det åtskilliga tiotusentals år innan så sker. Under eventuella glaciationsperioder befinner sig platsen hela tiden i avsmältningssområden. Det är mycket möjligt att inlandsisens randzon passerar platsen vid ett antal tillfällen, varje gång med effekter på berggrunden enligt vad som beskrivits ovan. Om inlandsisen å andra sida aldrig når så långt söderut undslipper platsen givetvis helt de omfattande förändringar av grundvatten- och belastningsförhållanden i berggrunden som ett glaciationsförlopp innebär.

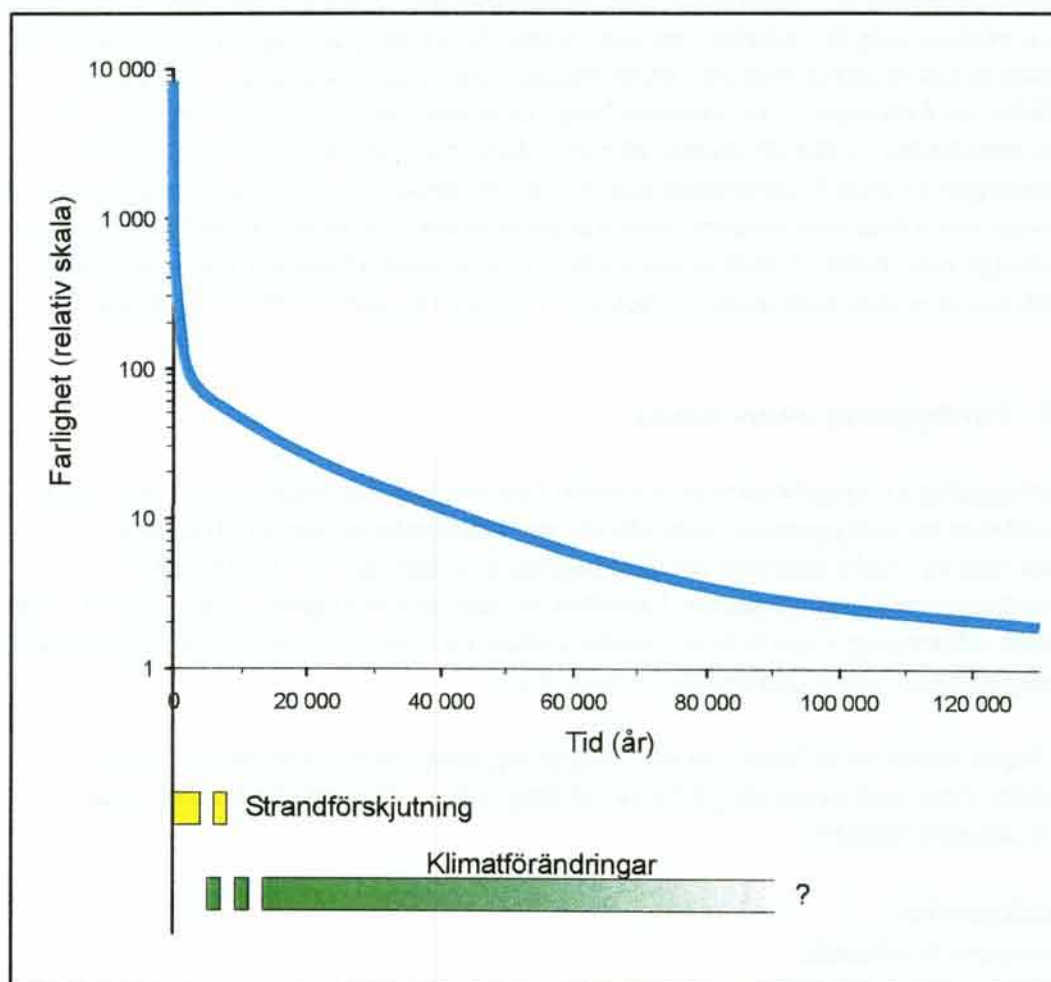
Läge IV, Södra Sverige, Östersjökusten. Scenariot vad gäller permafrost och glaciation är jämförbart med läge III. I ett postglacialt skede kommer platsen att översvämmas av Östersjöns efterföljare.

Med det antagna scenariot för klimatets utveckling blir skillnaderna mellan nord och syd, inte oväntat, betydande. Norra Sverige täcks av inlandsis relativt snabbt, kanske inom 5–10 tusen år, och förblir sedan istäckt under större delen av de kommande 100 000 åren. Södra Sverige förblir däremot isfritt större delen av perioden, och en eventuell glaciation dröjer sannolikt åtskilliga tiotusentals år. Skillnaderna mellan kust och inland är betydligt mindre, särskilt i södra Sverige. På samma sätt som efter den senaste istiden kan man förvänta sig att stora arealer i nuvarande kust- och lågländsområden blir havstäckta i samband med kommande deglaciationer.

Slutsatser om förändringar på lång sikt

Naturliga förändringar på lång sikt och deras eventuella effekter för djupförvarets säkerhet är faktorer som måste beaktas när lokaliseringsförutsättningarna skall bedömas. För berggrunden gäller detta främst förändringar av grundvattenförhållanden, men på längre sikt även mekanisk stabilitet.

De långa tidsperspektiv som måste beaktas (tusentals och tiotusentals år) påverkar dock bedömningsgrunderna i två viktiga avseenden. För det första blir alla prognoser av framtida förhållanden med nödvändighet mera osäkra ju längre tidsperspektivet är. Tydligast är detta för förutsägelser om biosfären men det gäller också berggrunden. För det andra förändras farligheten hos det avfall som djupförvaret avser att isolera väsentligt under motsvarande tidsrymder. Detta illustreras schematiskt i Figur 3-22. Förenklat kan man säga att farligheten minskar med en faktor 10 under de första tusen åren, och ytterligare en faktor 10 under de efterföljande tio tusen åren (Hedin, 1997). Figuren ger också en uppfattning om de tidsperspektiv som är kopplade till förändringar på grund av strandförskjutning och klimatväxlingar.



Figur 3-22. Farligheten hos använt kärnbränsle som funktion av tiden, samt tidsperspektiv kopplade till strandförskjutning respektive klimatförändringar.

Mot denna bakgrund är det rimligt att faktorer som är kopplade till nutid eller en någorlunda nära och beräkningsbar framtid tillmäts större vikt än mera hypotetiska antaganden om skeenden som är mycket avlägsna, även i den tidsskala i vilken man måste mäta farligheten hos avfallet. Värderas möjliga effekter av en glaciationscykel enligt detta synsätt framstår fördelarna med en tidig utveckling av permafrost följt av långvarig och stabil glaciation (låg grundvattenomsättning och framförallt isens funktion som extra skyddsbarriär) som mera väsentliga än möjliga negativa effekter i samband med deglaciation (hög och föränderlig grundvattenomsättning, möjlig mekanisk instabilitet) i ett långt senare skede. Med andra ord kan scenariot för utvecklingen i norr ses som mera gynnsamt än det i söder.

Denna slutsats bygger dock på att antagandena ovan om klimatutvecklingen och dess konsekvenser i olika delar av landet är någorlunda korrekta, även i tidsperspektiv på många tusen och tiotusentals år. I realiteten är osäkerheten på den punkten avsevärd. Det gäller särskilt när och hur framtida glaciationer kommer att utvecklas. Det kan därmed också ifrågasättas om det överhuvudtaget är meningsfullt att i någon generell mening beakta skillnader mellan nord och syd i detta avseende.

Strandförskjutning är, i jämförelse med klimatutveckling och glaciationer, en betydligt mera kortsiktig och förutsägbar process. Strandförskjutningen pågår nu och kan av allt att döma prognostiseras med god tillförlitlighet åtminstone några tusen år framåt. Det går därför att förutsäga vilka områden längs kusterna som kommer att beröras och i vilken omfattning. Vilka effekterna blir för faktorer av betydelse för ett djupförvar (förändringar av grundvattenförhållanden och eventuellt recipient) kan vara svårare att förutsäga och måste som nämnts bedömas på platsspecifik grund. I jämförelse med ett inlandsläge med stabila förhållanden under motsvarande tidsperiod kan svårigheterna att bedöma strandförskjutningens effekter i sig vara till nackdel för ett kustläge.

3.2.6 Förläggning under havet

En förläggning av djupförvaret under havet bedöms vara ett möjligt alternativ, under förutsättning att anläggningen utan allt för stora olägenheter kan nås från land via lutande tunnlar. Anknytningen till land begränsar avståndet från kustlinjen till uppskattningsvis några kilometer. I jämförelse med en förläggning under land innebär en sådan utformning avsevärda skillnader i tekniska förutsättningar för bygge och drift av anläggningen. Detta diskuteras i avsnitt 4.1.3.

Som framkommit ovan finns kan en förläggning under havet innebära för- och nackdelar även med avseende på förvarets långsiktiga säkerhet. Skillnaderna gäller främst följande faktorer:

- Intrångsrisker
- Recipientförhållanden
- Grundvattenströmning
- Grundvattenkemi

Intrångsrisker: Den tydligaste fördelen med en placering under havet är att det rimligen utesluter risken för oavsiktligt intrång i förvaret på grund av djupborrning för vattenförsörjning. Detta gäller även på mycket lång sikt (fram till nästa istid), under förutsättning att vattendjupet är tillräckligt för att inte området ovanför förvaret skall förvandlas till fastland på grund av strandförskjutningen. Att undvika risken för intrång genom borrning var ett viktigt argument när man valde att förlägga SFR-anläggningen under havet utanför Forsmark.

Recipientförhållanden: Bottensediment och andra lokala faktorer har stor betydelse för hur havet fungerar som recipient. Man kan ändå säga att havet utgör en gynnsam recipient, i jämförelse med recipienter på land.

Grundvattenströmning: I berggrunden under havet är den hydrauliska gradienten i teorin noll, eftersom grundvattenytan (havsytan) är plan. Därmed finns inga krafter som kan driva ett grundvattenflöde, d v s stagnanta grundvattenförhållanden råder vilket är fördelaktigt för djupförvarets funktion. Å andra sidan kan havet nära kusten påverkas av grundvattenströmning i regional skala, från högre belägna inlandsområden och ut mot kustområdet. Havsbotten nära kusten kan då utgöra ett utströmningsområde, vilket kan vara ofördelaktigt.

Grundvattenkemi: Grundvattnets kemiska sammansättning i berggrunden under det kustnära havet är av förklarliga skäl dåligt känd. En osäker och potentiellt viktig faktor är grundvattnets salthalt. Förhållanden jämförbara med de som observerats vid Äspö-laboratoriet (se Figur 3-8) är ett troligt scenario. Låg grundvattenomsättning och avsaknad av sötvatteninfiltration kan emellertid också ha lett till en situation med väsentligt högre salthalter i grundvattnet. Som beskrivs i avsnitt 3.2.3 kan detta innebära ogynnsamma eller direkt olämpliga förhållanden för ett djupförvar.

Med avseende på djupförvarets långsiktiga funktion finns det alltså både fördelar och nackdelar med en förläggning under havet. Sammantaget kan alternativet varken förordas eller avfärdas på basis av allmänna överväganden. En annan viktig fråga är möjligheterna att i lokaliseringsfasen skaffa sig den information om platsspecifika geovetenskapliga förhållanden som behövs, bland annat för att göra analyser av djupförvarets säkerhet. De tekniska möjligheter och begränsningar som undersökningar till havs innebär diskuteras i avsnitt 4.1.3. Det faktum att inga geologiska observationer kan göras från ytan innebär allmänt betydande inskränkningar i tidiga undersökningsskeden, jämfört med vad som normalt är fallet på land. De bedömningar som kan göras blir då mera osäkra, och det kan krävas omfattande undersökningar i senare skeden innan det kan avgöras om en havstäckt plats överhuvudtaget är lämplig eller ej.

3.3 Sammanfattande bedömning – säkerhet

Viktiga lokaliseringsfaktorer relaterade till berggrunden är bland annat bergartsfördelning och homogenitet, förekomsten av deformationszoner, var det kan finnas malmgeologiskt intressant berggrund samt berggrundens vattengenomsläpplighet. Generella jämförelser ur perspektiven ”nord-syd” respektive ”kust-inland” ger inte underlag för att prioritera eller utesluta någon landsdel, med avseende på dessa faktorer. Skälet är att lokaliseringsförutsättningarna styrs mera av lokala variationer än generella trender. Enda undantaget är de större områden som kan uteslutas därför att berggrunden radikalt skiljer sig från den urbergsmiljö som förutsätts (Fjällkedjan, Gotland, delar av Skåne). Denna slutsats framkom i Översiktsstudie 95, och har inte ändrats av föreliggande utredning.

Vid en jämförelse mellan de norra och södra delarna av landet framstår skillnaderna i klimat som den faktor som indirekt ger upphov till generella skillnader som kan vara av betydelse för djupförvarets funktion på lång sikt. En trolig utveckling mot kallare klimat, med permafrost och så småningom glaciation (nedisning) kommer, förutom att helt förändra betingelserna på ytan, att ha avsevärd påverkan på berggrunden. En glaciation kan ha såväl positiva som negativa effekter ur säkerhetssynpunkt. Å ena sidan utgör en inlandsis i sig en effektiv, extra skyddsbarriär som skärmar av berggrunden från biosfären, gör mänsklig närvaro extremt osannolik och rimligen utesluter risken för mänskligt intrång i ett förvar. Å andra sidan orsakar en glaciationscykel omfattande och potentiellt betydelsefulla mekaniska och hydrauliska förändringar i berggrunden. Det gäller särskilt i samband med deglaciation (avsmältning av en inlandsis) då en hög och föränderlig grundvattenomsättning liksom ogynnsamma mekaniska belastningar kan uppträda. De postglaciala förkastningsrörelser som dokumenterats på olika håll i Norrland är av allt att döma effekter av belastningsändringar i berggrunden i samband med att den senaste inlandsisen avsmälte.

Värderingen ur lokaliseringssynpunkt av glaciationer och andra climateffekter försvåras av den betydande osäkerhet som råder om den framtida klimatutvecklingen, särskilt i de långa tidsperspektiv som förväntade klimatväxlingar måste betraktas (tusentals och tiotusentals år). Under motsvarande tidsrymder minskar också farligheten hos det radioaktiva avfallet avsevärt. En rimlig utgångspunkt är därför att lägga större vikt vid någorlunda förutsägbara effekter i ett kortare tidsperspektiv, än vid mera osäkra antaganden om förändringar på mycket lång sikt. Med det synsättet framstår fördelarna med en nedisning (extra skyddsbarriär, låg grundvattenomsättning) som mera väsentliga än de potentiella nackdelarna i samband med att inlandsisen avsmälter (hög grundvattenomsättning, möjlig mekanisk instabilitet), sannolikt många tiotusentals år senare. Detta skulle då tala för norra Sverige, eftersom nedisningen där förväntas komma avsevärt tidigare och vara längre än i söder. Det är dock tveksamt om skillnader mellan nord och syd överhuvudtaget kan beaktas i detta sammanhang, eftersom osäkerheterna om klimatets utveckling generellt sett gör såväl tidpunkt för som omfattning av framtida glaciationer svårbedömda.

En jämförelse av förhållandena i kustlägen och inlandslägen visar att betydelsefulla skillnader främst rör grundvattnet. I en genomsnittlig bemärkelse har kustområden flackare topografi än inlandsområden. Detta motsvarar lägre hydrauliska gradienter och

därmed lägre grundvattenflöden, vilket kan vara en fördel. En nackdel kan vara kortare strömningsvägar för grundvattnet, beroende på att kustlägen är utströmningsområden i större utsträckning än inlandsområden. Mer avgörande för grundvattenströmningen än dessa generella aspekter är emellertid lokala faktorer, särskilt topografin och berggrundens vattengenomsläpplighet.

En allmänt försvårande faktor i kustlägen är att grundvattensituationen är mera föränderlig än i inlandslägen, varför förvarsmiljön på lång sikt blir mera svårbedömd. Förändringarna beror huvudsakligen på pågående strandförskjutning. I jämförelse med klimatförändringar kan denna process förutsägas ganska väl, men dess effekter på grundvattenförhållandena kan vara svårbedömda. Möjliga konsekvenser är att strömningsmönstret ändras (utströmningsområden blir inströmningsområden och tvärtom) samt radikalt förändrade recipientförhållanden, t ex från marin miljö till fastland.

När det gäller grundvattnets kemiska sammansättning är förekomsten av salta grundvatten den faktor som i första hand kan ge skillnader mellan kust och inland. I kustlägen och i låglänt terräng i övrigt kan salthalter i grundvattnet på 10–20 g/l (TDS) påträffas på förvarsdjup. Vid dessa salthalter påverkas konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret. Det gäller i första hand de material som diskuteras för återfyllning av deponeringstunnlarna men också installationer av olika slag. Effekterna av saltvattnet kan kompenseras genom att anpassa förvarets konstruktion, men kan då medföra tekniska komplikationer och fördyringar. Samtidigt kan salt grundvatten relativt nära ytan ge fördelar i form av låg grundvattenomsättning och mindre risk för att grundvattnet nyttjas till dricksvatten. Mycket höga salthalter (>100 g/l TDS) bör dock helt undvikas eftersom de kan skada bentonitbuffertens och kapseln långsiktiga funktion. I urberg har så höga salthalter hittills inte påträffats på de djup som är aktuella för ett djupförvar, men de kan inte uteslutas i lägen vid kusten eller under havet.

Sammanfattningsvis kännetecknas kustlägen av jämförelsevis mera föränderliga grundvattenförhållanden och möjlig förekomst av salt grundvatten. Detta kan ge för- och nackdelar, i relation till inlandslägen med mera stabila förhållanden, och med stor säkerhet sött grundvatten. I enskilda fall kan dessa skillnader vara viktiga ur lokaliseringssynpunkt, men de utgör inte grund för att generellt prioritera varken kust- eller inlandslägen.

En *förläggning under havet* kan ses som en variant av en kustförläggning, men ger i vissa avseenden andra förutsättningar. Uppenbara fördelar med en placering under havet är att det utesluter risken för djupborrning för vattenförsörjning, samt att det ger gynnsamma recipientförhållanden. Grundvattensituationen under havet är dåligt känd. Det är möjligt att det finns salt grundvatten i större omfattning, och på mindre djup, under det kustnära havet än under land. Den bristande kunskapen om grundvattenförhållanden till havs pekar på en potentiellt viktig nackdel, nämligen svårigheterna att undersöka och tolka berggrunden till havs. Detta ökar risken för felbedömningar, särskilt i tidiga undersökningsskeden.

4 Tekniska förutsättningar

I detta kapitel behandlas faktorer relaterade till byggande och drift av djupförvarets anläggningar ovan och under jord, samt till transporterna av avfall och annat gods till djupförvaret.

4.1 Djupförvaret

4.1.1 Anläggningar ovan och under jord

Industriområdet

Figur 4-1 visar en principskiss av det planerade djupförvaret samt allmänna data om anläggningarna ovan och under jord. Ovanjordsdelen (längst bort i bilden) kan ifråga om storlek liknas vid en medelstor industri. Utrymmesbehovet är 0,1–0,3 km², beroende på lokala förhållanden, behov av upplag för bergmassor, eventuell bangård m m. Avfall som skall deponeras anländer till anläggningen inneslutet i transportbehållare som transporteras på järnväg eller väg. På det industriområde som anläggs finns lokaler och utrustning för mottagning, hantering och kontroll av transportbehållare. Avfallet tas inte ut ur transportbehållarna. Det sker först under jord, dit behållarna transporteras på speciella fordon.

Till djupförvaret transporteras också bentonitlera i pulverform, att används som buffertmaterial kring deponerade kapslar. Efter mottagning skall bentoniten behandlas, kontrolleras och pressas till block. Detta sker i särskilda lokaler på industriområdet. Vidare hanteras bergmassor från tunneldrivningen under jord och material för återfyllnad av tunnlar efter deponering.

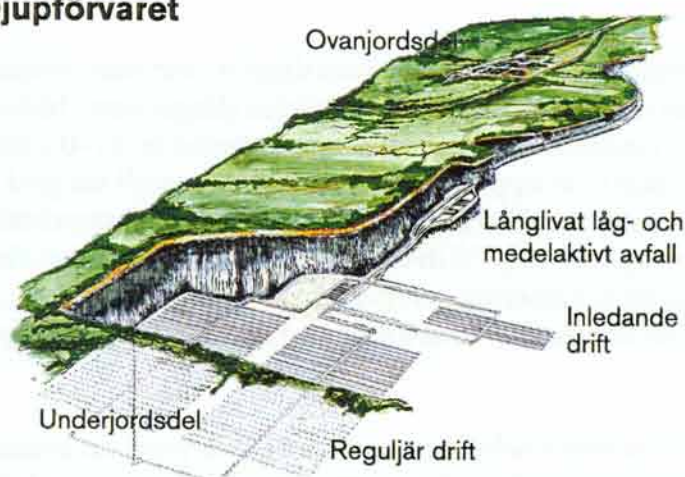
Uppförandet av industrianläggningen ovan jord är konventionell bygg- och anläggningsverksamhet. Kraven på den plats som väljs vad gäller terrängförhållanden, markens bärighet m m är de gängse för sådan verksamhet. Även driften är jämförbar med annan industriverksamhet. Närhet till befintlig infrastruktur med allmänna kommunikationer och samhällsservice ger fördelar. Närhet till andra industrier kan också innebära fördelar genom att service och försörjningssystem kan samutnyttjas, samt att påverkan på omgivningen blir mindre.

Berganläggningen

Anläggningarna under jord – själva förvaret – förläggs på ca 500 meters djup och består till största delen av horisontella tunnelsystem för deponeringsområden, transporttunnlar, förrådsutrymmen m m. Därtill finns schakt och tunnlar för försörjning och kommunikation med anläggningarna på ytan. Fullt utbyggt täcker anläggningarna under jord en yta på någon kvadratkilometer.

Berggrunden på den plats som väljs måste ha sådana egenskaper att anläggningarna kan byggas och drivas med betryggande säkerhet och känd teknik. Det innebär bland annat att stabila bergutrymmen skall kunna konstrueras, och att driften skall kunna ske med god kontroll på stabilitet och vatteninläckning. Viktiga parametrar är belastningar (bergspänningar) bergets hållfasthet, sprickighet och vattenföring. De bergförhållanden som är önskvärda ur byggsynpunkt sammanfaller väl med vad som eftersträvas ur säkerhetsmässig synpunkt. Homogen och lättolkad berggrund, med få större sprickzoner och låg vattenföring är alltså fördelaktigt också ur anläggningsteknisk synvinkel.

Djupförvaret



Under jord

Områden för deponering av inkapslat bränsle och annat långlivat avfall, tunnlar och schakt för kommunikation och ventilation.

Djup: 400–700 m

Utrymmesbehov: 1–2 km²

Tunnlar: ca 15 km vid inledande drift
ca 45 km fullt utbyggt

Bergvolym: ca 0,5 milj m³ vid inledande drift
ca 1,3 milj m³ fullt utbyggt

Personalbehov: Ca 150 personer vid inledande drift, ca 220 personer vid full drift.

Kostnad: Totalt ca 13 miljarder kronor, varav ca hälften för bygge och inledande drift.

Ovan jord

Godsterminal, byggnader för hantering av transportbehållare, bentonit och återfyllnadsmaterial, nedfarter till anläggningar under jord, verkstäder, kontor, restaurang och besöksmottagning.

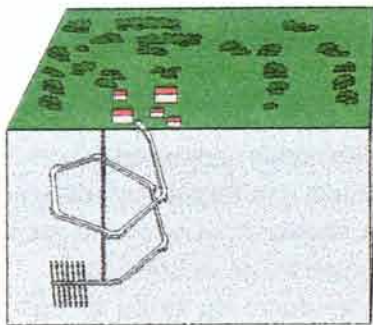
Utrymmesbehov: 0,1–0,3 km²

Byggnadsvolym: ca 100 000 m³

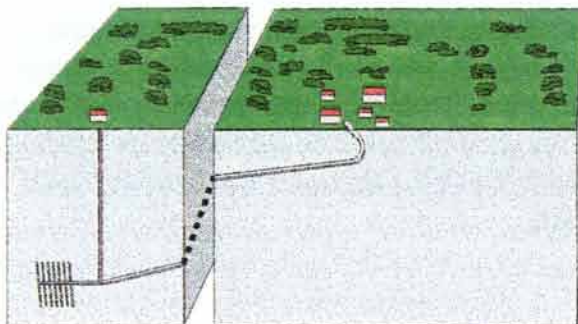
Figur 4-1. Djupförvaret.

Alternativ för utformning

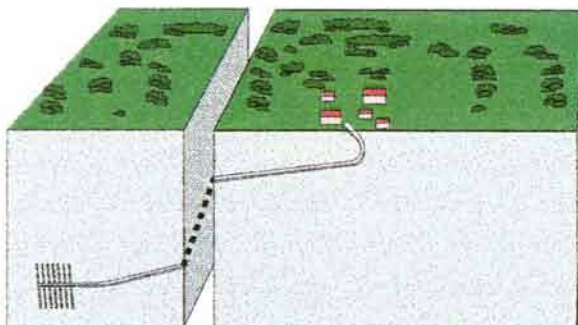
I Figur 4-1 ligger förvaret sidoförskjutet i förhållande till anläggningarna ovan jord. Tunneln och schakt förbinder förvaret med ytan. Detta är en av flera möjliga utformningar av systemet. Figur 4-2 visar olika principlösningar vad gäller inbördes läge och förbindelse mellan anläggningarna ovan och under jord. Om det är möjligt att placera industriområdet mer eller mindre rakt ovanför förvaret så kan kommunikationen ske med spiralformad tunnel, schakt eller både och. Om anläggningarna sidoförskjuts byggs en lutande tunnel mellan ovan- och underjordsdelarna. Om möjligt byggs då schakt för ventilation som mynnar ovanför förvaret, d v s utanför industriområdet. Sannolikt byggs också ett schakt för persontransporter, anslutet till en särskild, mindre anläggning på ytan. Ett tredje alternativ är att all kommunikation ombesörjs via tunnel (en eller flera). Om förvaret skulle förläggas under havet är detta det alternativ som står till buds.



Förvaret rakt under industriområdet ovan jord. Kommunikation via lutande tunnel och schakt.



Förvaret sidoförskjutet i förhållande till industriområdet. Kommunikation via lutande tunnel samt schakt från en särskild anläggning ovanför förvaret.



Förvaret sidoförskjutet i förhållande till industriområdet. Kommunikation endast via lutande tunnel.

Figur 4.2. Alternativ för inbördes placering av djupförvarets anläggningar ovan och under jord.

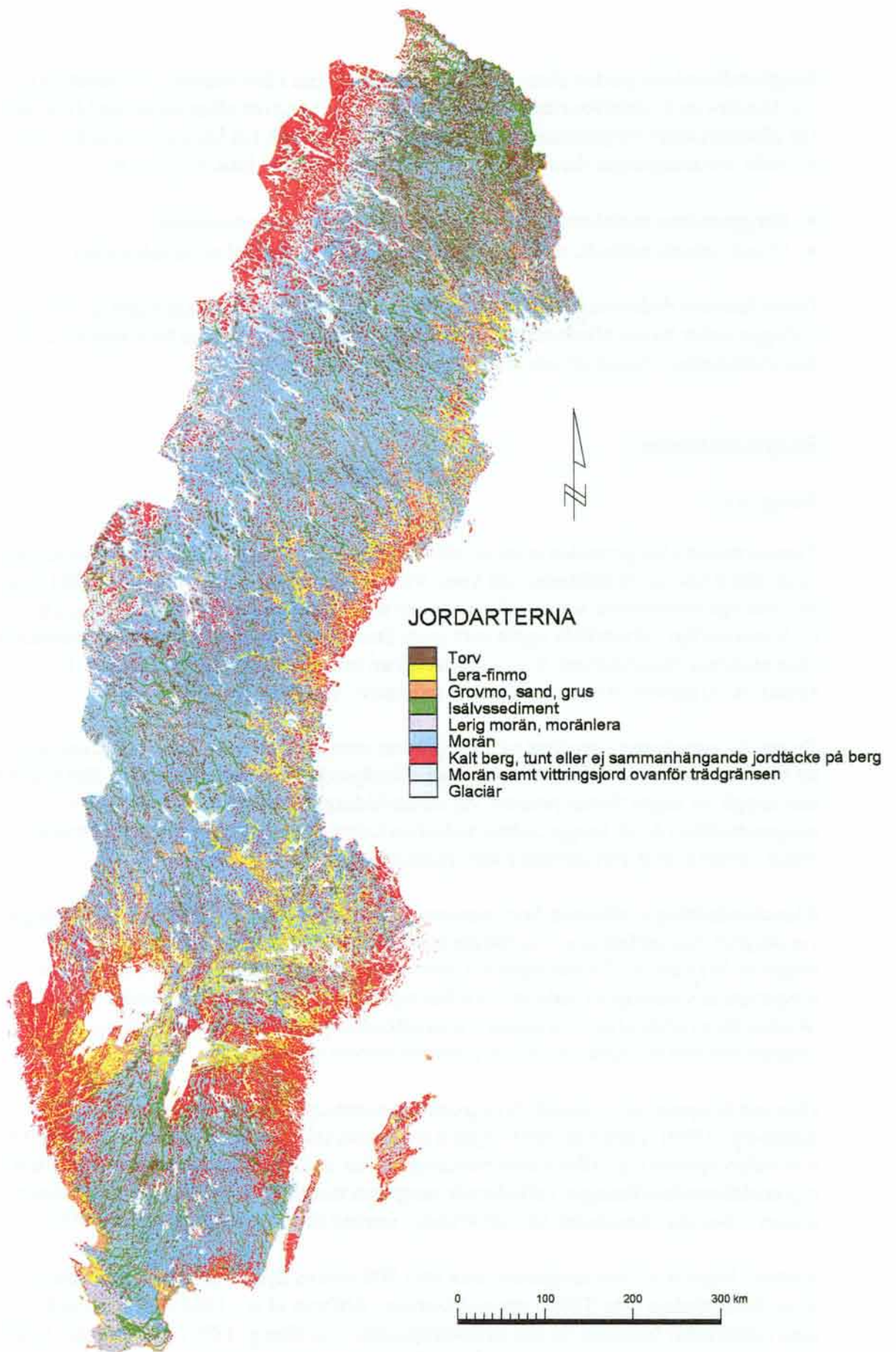
4.1.2 Nord eller syd, kust eller inland?

Viktiga faktorer

Sammanställning av praktiska erfarenheter från byggande och drift av berganläggningar har ingått i såväl Översiktsstudie 95 som de förstudier som gjorts eller pågår. Den värdering som gjordes i Översiktsstudie 95 visade att lokaliseringsfaktorer som är kopplade till de bergbyggnadstekniska förutsättningarna inte är utslagsgivande i nationell skala. Slutsatserna från förstudierna är likartade.

Det betyder inte att de faktorer som styr förutsättningarna för bergbyggande är oväsentliga, men de måste i huvudsak bestämmas lokalt. Det är knappast förvånande, eftersom de aktuella parametrarna väsentligen beskriver berggrunden med alla dess lokala variationer, om än uttryckt i byggtekniska termer som materialegenskaper och belastningar. Jämförelser utifrån det översiktliga perspektiven ”nord-syd” och ”kust-inland” är av dessa skäl inte meningsfulla för flertalet av de bergbyggnadstekniska faktorerna. Det gäller exempelvis nyckelparametrar som bergkvalitet och bergspänningar.

För andra parametrar som påverkar byggförutsättningarna kan man i genomsnittlig bemärkelse se regionala skillnader, men dessa är underordnade den lokala variationen. Jordartsfördelningen är ett exempel på detta. Jordarter som morän, grus och sand ger i allmänhet bättre bärighet, och därmed bättre villkor för byggande, än finkorniga sediment och lerjordar. Jordartskartan i Figur 4-3 visar att de senare har större utbredning i södra Sverige än i norra. På samma sätt förhåller det sig med andelen kalt berg (blottningsgraden). En stor andel kalt berg (hög blottningsgrad) ger fördelar vid geologiska bedömningar av förhållanden på djupet. Jordartskartan visar att blottningsgraden i genomsnitt är klart högre i södra Sverige än i norra. I södra Sverige är blottat berg därtill vanligare utmed kusterna än i inlandet. Trots detta kan man knappast hävda att faktorerna jordartsfördelning och blottningsgrad påverkar en jämförelse av lokaliseringsförutsättningarna i norra respektive södra Sverige, eftersom variationerna i lokal skala är långt viktigare än de i nationell skala.



Figur 4-3. Jordartsfördelning i Sverige-skala.

Bergförhållandena på den plats som väljs ger detaljerna i konstruktionsförutsättningarna för djupförvaret. Detaljkonstruktion och utformning behöver alltså anpassas till en lång rad platsberoende bergparametrar. En genomgång visar på två sådana parametrar som indirekt sammanhänger med latitud respektive läge relativt kust, nämligen:

- Berggrundens initialtemperatur, som påverkar förvarets utformning.
- Grundvattnets salthalt, som kan påverka drift och underhåll av installationer.

Dessa faktorer diskuteras i det följande. Vidare kommenteras särskilt fallet att förvaret förläggs under havet, eftersom detta fall i flera avseenden ger andra förutsättningar för undersökningar, byggande och drift än en förläggning på land.

Bergtemperatur

Bakgrund

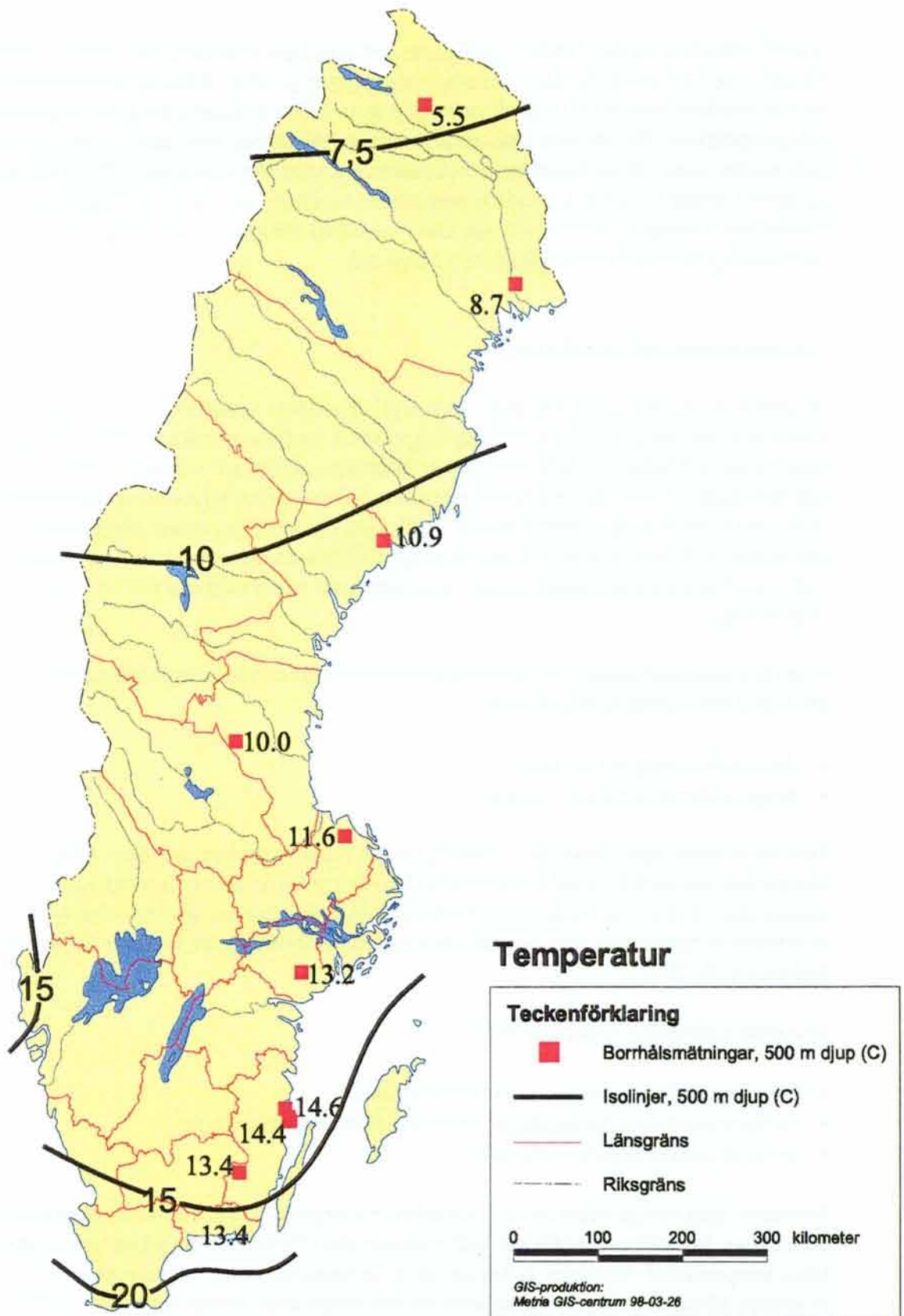
Temperaturen i berggrunden styrs av värmeflödet, ett antal materialparametrar samt randvillkor såsom förhållanden vid ytan. Värme tillförs dels från jordens inre, dels från de naturliga radioaktiva sönderfallsprocesser som ständigt pågår i berggrunden. Det sker ett kontinuerligt värmefflöde uppåt mot ytan. Den huvudsakliga transportmekanismen är värmeledning (konduktion). Som resultat fås en temperaturökning mot djupet. I kristallin berggrund är ökningstakten (gradienten) vanligen 10–15 °C/km.

De lokala variationer i gradient och temperatur som förekommer beror bland annat på att olika bergarter har olika värmeledningsförmåga (termisk konduktivitet). Skillnaderna kan uppgå till några tiotals procent. En annan bidragande orsak till variationer i temperaturfältet är att berggrundens naturliga halter av radioaktiva material varierar, vilket påverkar den värmemängd som genereras.

Klimatförändringar påverkar bergtemperaturen i större eller mindre grad, beroende på varaktighet och omfattning. Varaktigheten har stor betydelse eftersom berggrunden reagerar långsamt på förändringar vid ytan. Inverkan av kortvariga fluktuationer som temperatursäsongsvariationer sträcker sig högst tio-talet meter ner under ytan. Mycket långvariga klimatvariationer som glaciationscykler påverkar däremot temperaturförhållandena ner till flera hundra meters djup.

Data om temperaturer i svensk berggrund har sammanställts och redovisats av bl a Sundberg (1995). Data från större djup har hämtats från borrhål, flertalet relaterade till mineralprospektering, SKB:s undersökningar eller studier av geotermisk energi. SKB:s typområdesundersökningar inkluderade temperaturmätningar på olika djup på tio-talet platser i Sverige. Resultaten har redovisats i samlad form av Ahlbom et al. (1995).

Kartan i Figur 4-4 visar temperaturdata från 500 meters djup. Angivna punktvärden avser borrhålsdata från SKB:s undersökningar (Ahlbom et al., 1995). Isolinjerna är generaliseringar baserade på alla tillgängliga data (Sundberg, 1995). Det framgår tydligt att temperaturen varierar systematiskt med latitud, med sjunkande temperaturer mot



Figur 4-4. Bergtemperatur på 500 meters djup, borrhålsmätningar och generaliserade iso-linjer.

norr. Skillnaden mellan landets sydligaste och nordligaste delar är åtminstone 10 °C. Orsaken anses vara skillnader i årsmedeltemperatur på ytan, alltså en climateffekt. Att en climateffekt kan avläsas på så stort djup som 500 m förklaras av det mycket långa tidsperspektivet. Det innebär inte att årsmedeltemperaturen varit stabil över långa tidsrymder, men väl att temperaturen konsekvent varit lägre mot norr. Överlagrat på den generella trenden med avtagande temperaturer mot norr visar kartan också på lokala variationer i temperaturfältet. Dessa kan i huvudsak förklaras med skillnader i nämnda termiska egenskaper hos uppträdande bergarter.

Konsekvenser för djupförvar

Resteffekter medför att det bränsle som skall deponeras genererar värme. Effekten avtar med tiden och för planerad mellanlagringstid blir värmeavgivningen från en kapsel vid deponeringstillfället ca 1800 W. 1000 år efter deponering har värmeproduktionen upphört nästan helt. Värmeutbredningen sker till en början lokalt kring varje kapsel. Efter en tid möts temperaturfälten från olika kapslar och samverkar, temperaturgradienter utjämnas och temperaturökningen involverar successivt allt större bergvolymer. I närområdet uppnås maximitemperaturer inom några tiotals år efter deponering.

Uppvärmningsförloppet i berget styrs av en rad berg- och konstruktionsparametrar. De viktigaste bergparametrarna är:

- det initiella temperaturfältet,
- bergets värmeledningsförmåga.

Den inducerade uppvärmningen överlagrar det initiella temperaturfältet. Högre initialtemperatur ger därför ungefär motsvarande höjning av de absoluta temperaturerna efter deponering. Vidare, ju bättre bergets värmeledningsförmågan är, desto lägre blir de maximala temperaturer som uppnås för en given utformning av förvaret (Thunvik, 1995; Hakami m fl, 1998).

Styrande konstruktionsparametrar är:

- kapslarnas dimensioner och värmeproduktion,
- buffertmaterialets dimensioner och värmeledningsegenskaper,
- avstånd mellan kapslar i förvaret.

Förvarets långsiktiga funktion och säkerhet ger begränsningar i tillåten temperaturbelastning. Det gäller framförallt buffertmaterialets funktion som påverkas negativt vid höga temperaturer. Styrande kriterium är att temperaturen vid kapselytan inte skall överstiga 80-90 °C. Även med hänsyn till det omgivande berget finns det anledning att begränsa det tillskott av mekanisk belastning som följer av temperaturförhöjning.

Förvaret måste alltså konstrueras så att tillåtna maximitemperaturer inte överskrids. Den konstruktionsparameter som ligger närmast till hands att justera är de horisontella avstånden mellan kapselpositionerna. Högre initialtemperatur i berget kan kompenseras

med längre avstånd mellan kapslarna, alltså en ”glesare” deponering. Med ökande kapselavstånd ökar också förvarets yta, liksom de totala tunnellingder och bergvolymen som behöver tas ut.

Omfattande parameterstudier har gjorts för att kartlägga hur temperaturutbredningen varierar med aktuella berg- och konstruktionsparametrar (Ageskog och Renström, 1997). Som exempel kan man anta en ökning av initialtemperaturen med 7 °C, vilket ungefär motsvarar skillnaden mellan platser i norra och södra Sverige. Detta skulle enligt beräkningarna svara mot en ökning av deponeringsområdenas storlek med 15–20%. Uttryckt i kostnader motsvarar det en fördyring av djupförvarsprojektet på ca 2%.

Som jämförelse kan man ta de likartade anpassningar av utformningen som lokala variationer i bergets värmeledningsförmåga kan föranleda. De variationer i storleksordning 10-tals procent som kan förekomma för denna parameter har ungefär motsvarande effekt på erforderlig deponeringsarea som skillnaden i bergtemperatur mellan norra och södra Sverige.

Slutsatserna blir alltså att:

- lägre bergtemperaturer i norra Sverige ger fördelar i form av mindre utrymmesbehov under jord och därmed lägre anläggningskostnader,
- den möjliga besparingen inskränker sig till ett par procent av totalkostnaden för djupförvaret. Detta är jämförbart med de effekter som platsanpassning av förvaret till lokala variationer i bergets värmeledningsförmåga kan ge,
- förutom kostnadsfaktorn är det svårt att se några väsentliga effekter av variationer i initialtemperaturen, möjligen med undantag av speciella fall där tillgängligt utrymme under jord av något skäl är begränsat.

Underhållsbehov under jord

Bakgrund

Underjordsmiljö innebär speciella beständighetsproblem för byggnader och installationer, vilket ställer särskilda krav på konstruktioner och underhåll. En viktig faktor är den kemiska sammansättningen på inläckande grundvatten. Låga pH-värden liksom höga salthalter bidrar till korrosion av metallkonstruktioner och kan också öka påfrestningarna på andra material. Exempel på installationer som påverkas är bergförstärkning, hissanordningar i schakt och elektrisk utrustning.

Problemet är inte obekant i bergbranschen. Korrosivt grundvatten förekommer i såväl gruvor som andra berganläggningar. Speciellt utsatta är vissa sulfidmalmsgruvor, där svavelföreningar kan ge extremt snabba korrosionsförlopp på framförallt stålkonstruktioner. Erfarenheterna från Äspölaboratoriet är att de salthalter hos grundvattnet som förekommer (se Figur 3-8) har märkbar påverkan på underhållsbehovet, om än inte alls i samma omfattning som i vissa gruvor.

Korrosionsrisken kan minskas genom god tätning mot grundvatteninflöde samt ventilation som motverkar kondensbildning på installationer. Ofta krävs speciella materialval för installationerna och intensifierat underhåll. Allt detta medför extra kostnader, men man kan inte säga att korrosionsproblem i underjordsanläggningar innebär några oöverstigliga tekniska hinder. Väl etablerad teknik finns sedan länge att tillgå för att hantera problemet. En allmän erfarenhet är att det extra underhåll som krävs ofta upplevs som en större störning än vad motsvarande kostnader indikerar.

Konsekvenser för djupförvar

Förekomsten av salt grundvatten och sambanden höjdnivå, kustläge m m behandlas i avsnitt 3.2.3. Grundvattnets salthalt på den plats där djupförvaret förläggs kommer att påverka underhållsbehovet under förvarets drifttid. Möjliga, förhöjda salthalter i kustnära/låglänta lägen kan alltså innebära nackdelar ur drifts- och underhållssynpunkt. För de salthalter som kan komma ifråga bedöms dock problemet med extra underhåll vara hanterbart, till priset av något förhöjda kostnader för löpande underhåll. I relation till de totala driftskostnaderna för djupförvaret bedöms den eventuella kostnadsökningen bli marginell.

4.1.3 Förläggning under havet

För- och nackdelar med avseende på säkerhet med en förläggning av djupförvaret under havsbotten diskuteras i avsnitt 3.2.6. Ur teknisk synpunkt innebär ett läge under havsbotten (eller under en större insjö) att förutsättningarna förändras i två avseenden:

- möjligheterna att kartlägga berggrunden från ytan och utifrån det bedöma förhållandena på djupet (tolkningsbarhet) försämras,
- frihetsgraderna minskar vad gäller utformning av förbindelserna mellan förvaret och anläggningar på land.

Nackdelarna med att inte kunna göra direkta geologiska observationer på ytan är naturligt nog mest märkbara i tidiga undersökningsfaser. De kan i större eller mindre utsträckning kompenseras genom ökade insatser av undersökningsborringar i senare stadier. Som undersökningsobjekt är ett vattentäkt område på många sätt jämförbart med ett i sin helhet jordtäckt område. I båda fallen får man lita till data från geofysiska undersökningar och allmän geologisk kunskap, intill dess att undersökningsborringar genomförs.

Bergundersökningar av områden under vatten är i sig inte ovanliga. Borringar till sjöss kan utföras med etablerad teknik. Kostnaderna blir högre än vid borringar på land, men skillnaderna är marginella så länge vattendjupen är måttliga.

Hur begränsningarna i undersöknings- och tolkningsmöjligheter av berggrunden till havs skall värderas beror mycket på lokala parametrar. Avstånd och läge i förhållande

till strandlinjen, eventuella öar, vattendjup, möjligheter att extrapolera förhållanden på land, samt förutsättningar för geofysiska mätmetoder är exempel på sådana parametrar. Med reservationer för stora lokala variationer visar en allmän bedömning att:

- möjligheterna att uppnå en viss grad av geovetenskaplig förståelse för en plats behöver inte vara märkbart sämre under vatten än på land,
- det krävs större insatser för att nå denna grad av förståelse,
- ”tidiga” beslut (t ex beslut om undersökningsborrningar) kan behöva fattas på basis av väsentligt mera ofullständigt underlag än vad som är fallet vid undersökningar på land.

En förläggning av djupförvaret under vatten skulle innebära en utformning enligt alternativet längst ner i Figur 4-2, dvs sidoförskjutning och kommunikation endast via tunnel. Sidoförskjutning innebär i sig inga särskilda problem. Transporterna sker då via en lutande tunnel som förbinder anläggningarna ovan och under jord. Avstånd på flera kilometer, kanske upp till 10 km, bedöms som realistiska om förvaret ligger under land. Men i det fallet finns möjligheten att anlägga vertikala schakt ovanför underjordsanläggningen, för ventilation, dagliga transporter av personal och lättare gods, samt som extra utrymningsvägar. Den uppenbara skillnaden vid en förläggning under vatten är att man inte kan anlägga några schakt (undantaget fall där man kan utnyttja befintliga eller särskilt anlagda öar). All kommunikation måste då ske via lutande tunnel från land. Detta bedöms vara möjligt om djupförvaret förses med två oberoende nedfartstunnlar istället för en, men det skulle få betydande konsekvenser för driften.

I plan kan tunnelsträckningarna i hög grad anpassas till lokala förhållanden och behovet av sidoförskjutning. Däremot innebär djupet till förvaret i kombination med begränsningar i tillåten tunnellutning (stigning) att tunnlar blir minst ca 4 km långa. En nackdel med detta, välkänd från gruvdrift på motsvarande djup, är att alla transporter av personal och gods blir tidsödande eftersom de måste ske med fordon som körs i tunnlar. Som jämförelse tar nedfarten till förvarsdjup via ett hissförsett schakt bara några minuter. Betänker man att anläggningen ska vara i drift dagligen i flera årtionden blir denna skillnad väsentlig.

Sammantaget kan man alltså konstatera att en förläggning under havet synes möjlig ur bygg- och driftsteknisk synvinkel. Det finns dock väsentliga nackdelar, särskilt ur driftssynpunkt. En förläggning under ett delvis vattentäckt område behöver inte innebära samma nackdelar.

Det är avslutningsvis värt att notera att SFR-anläggningen utanför Forsmark är belägen ca 60 meter under havsbotten, ungefär 1 km ut från land. De bergundersökningar som föregick plastvalet och utbyggnaden av SFR gjordes dels från havet, dels från närbelägna stränder och öar. Byggnad och drift har inte inneburit några särskilda svårigheter förorsakade av läget under havet. En väsentlig skillnad mot ett djupförvar är emellertid det jämförelsevis ringa djupet i SFR-fallet, vilket ger korta kommunikationsvägar från land till anläggningarna under havet.

4.2 Transporter

4.2.1 Befintligt och planerat transportsystem

Från inkapslingsanläggningen skall kapslar med använt kärnbränsle, liksom annat långlivat radioaktivt avfall från CLAB och Studsvik, transporteras till djupförvaret. Tabell 4-1 ger en översikt över de godsmängder som blir aktuella. Till avfallsprodukterna kommer transporterarna av ca 15 000 ton bentonitlera per år till buffertmaterial. Bentoniten kommer troligen att importeras, men från vilket land är inte bestämt.

Dessa systemtransporter skall pågå under förvarets hela drifttid. Tillkommer gör lokala transporter av de slag som är gängse för industrianläggningar, dvs personal, besökare, material- och varuförsörjning m m. Ytterligare två godsslag kan tillkomma. Det ena är kvartssand som kan bli aktuellt för återfyllning av tunnlar. Det andra är bergmassor (sprängsten) som produceras då djupförvarets tunnlar byggs och som eventuellt skall transporteras bort för att nyttjas i andra sammanhang. Huvudalternativet är dock att använda bergkross (blandad med bentonit) som återfyllnadsmaterial i tunnlarna. Det skulle eliminera behovet av sand samtidigt som en del av bergmassorna återförs till djupförvaret.

Tabell 4-1. Uppskattat antal transporter av behållare med inkapslat använt kärnbränsle och övrigt långlivat avfall till djupförvaret, per år och totalt.

Avfallsprodukt	Antal per år	Antal totalt
Använt bränsle:		
– kopparkapslar (inledande drift)	100	400
– kopparkapslar (reguljär drift)	210	4 100
Övrigt långlivat avfall (reguljär drift)	100	2 000

I det följande diskuteras huvudsakligen avfallstransporter från inkapslingsanläggningen till djupförvaret. Transporterna av buffert- och eventuellt återfyllnadsmaterial är i allt väsentligt konventionella bulkvarutransporter.

Viktiga utgångspunkter för planeringen av transporter av avfall till djupförvaret är att:

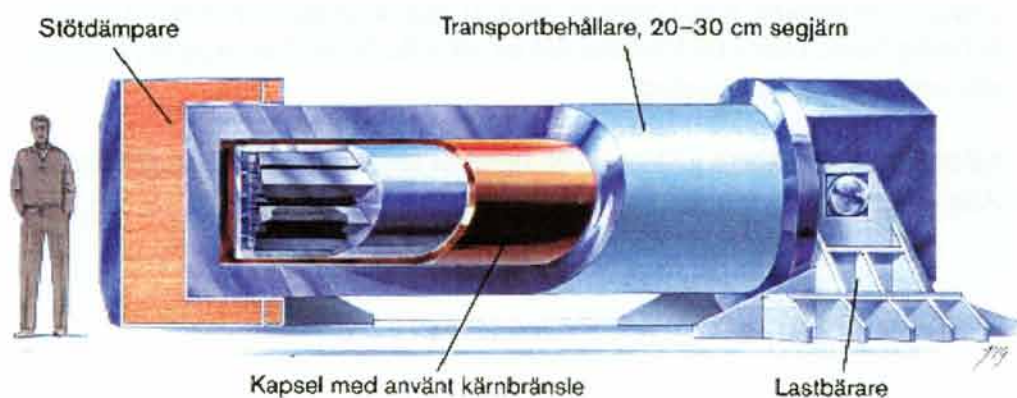
- sedan mer än ett decennium finns ett system i drift för transporter av radioaktivt avfall från kärnkraftverken till anläggningarna CLAB och SFR,
- tidsmässigt kommer transporter till djupförvaret delvis att överlappa transporter av olika avfallstyper från kärnkraftverken till avfallsanläggningarna, allt under förutsättning att kärnavfallsprogrammet fullföljs som planerat.

Det befintliga transportsystemet hanterar huvudsakligen använt kärnbränsle som transporteras till CLAB, samt olika former av låg- och medelaktivt avfall som transporteras till SFR. Transporterna sker till sjöss på det specialbyggda fartyget M/S Sigyn. Vid kärnkraftverken och avfallsanläggningarna finns hamnar, fordon och utrustning för hantering och kontroll vid terminalerna. Använt kärnbränsle hanteras och transporteras inneslutet i mycket kraftiga stålbehållare som skyddar omgivningen från strålning.

Den mångåriga driften av transportsystemet har gett värdefull kunskap och erfarenhet om transporter av radioaktivt material. Transportsystemet har visat sig fungerat mycket väl, både säkerhetsmässigt och praktiskt. Inga störningar eller olyckor av säkerhetsmässig betydelse har inträffat.

För de framtida transporterna till djupförvaret krävs modifieringar och kompletteringar av transportsystemet. I jämförelse med dagens transporter från kärnkraftverken kan hanteringen av använt kärnbränsle – den avfallstyp som avger den kraftigaste strålningen – förenklas något. Det beror på ca 90% av radioaktiviteten hinner avklinga under mellanlagringsperioden i CLAB, samt att bränslet på sin väg mot djupförvaret kommer att vara inneslutet i en kopparkapsel. För att transporterna skall kunna ske säkert kommer det ändå att krävas specialkonstruerade transportbehållare. Figur 4-5 visar hur en transportbehållare med kopparkapsel kan se ut.

Dagens transporter sker väsentligen till sjöss. Om djupförvaret lokaliseras till en plats som kräver transport på land tillkommer därför en ny komponent i systemet. Omfattande erfarenheter av landtransporter av använt kärnbränsle finns på många håll utomlands, och visar inte på några tekniska eller säkerhetsmässiga svårigheter. Såväl järnväg som landsväg är möjliga alternativ. Ur säkerhetssynpunkt kan inget av alternativen förordas eller uteslutas, eftersom säkerheten även vid landtransport bygger på transportbehållarna som är dimensionerade för att klara mycket höga belastningar.



Figur 4-5. Principskiss av en behållare för transport av använt kärnbränsle till djupförvaret. Inuti transportbehållaren av stål finns bränslet, inneslutet i en kopparkapsel. Hela enheten väger ca 65 ton.

Till en del kommer transporter till djupförvaret att ske parallellt med andra transporter inom kärnavfallsprogrammet. Det gäller bl a avfall från rivningen av kärnkraftverken varav delar skall transporteras till SFR. Vissa komponenter i systemet, däribland det fartyg som används (M/S Sigyn eller hennes efterföljare), kan samutnyttjas. Ur logistisk och kostnadsmässig synpunkt är alltså transporter till djupförvaret inte någon helt fristående verksamhet. Detta är en av de faktorer som måste beaktas när man utvärderar olika lokaliseringalternativ.

4.2.2 Nord eller syd, kust eller inland?

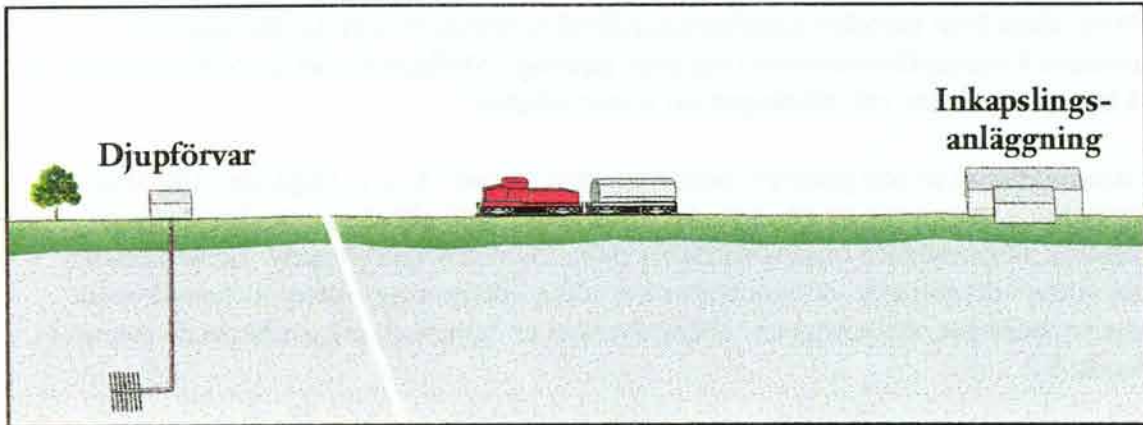
Viktiga faktorer

Det är självklart att en lokalisering som ger långa avstånd till djupförvaret, omlastningar längs vägen och som kanske kräver nya transportleder på land ger nackdelar. En förläggning av djupförvaret till Norrlands inland är alltså uppenbart ogynnsam ur transportsynpunkt, jämfört med en kustförläggning på kort avstånd från inkapslingsanläggningen. Hur denna nackdel skall ses vid en samlad värdering är mindre uppenbart, eftersom det beror av en rad tekniska, miljömässiga, ekonomiska och samhällsrelaterade faktorer.

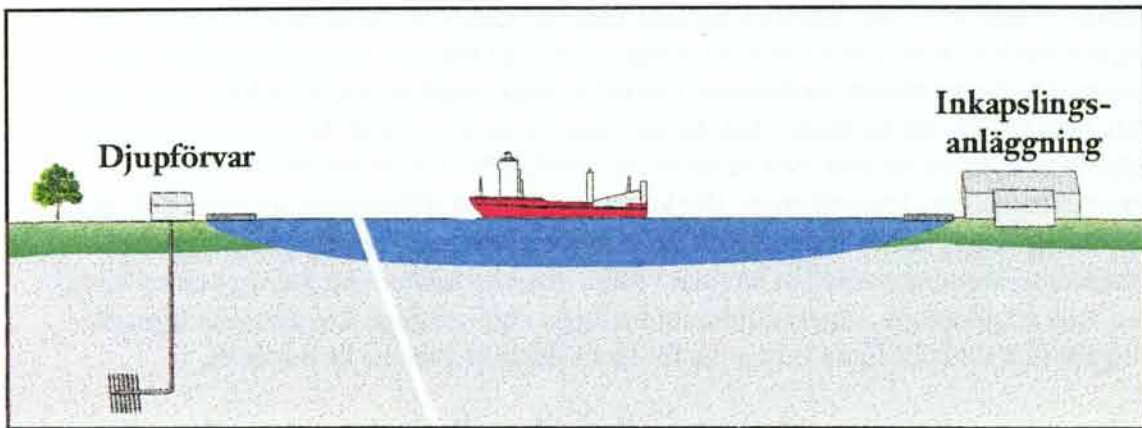
Principiellt kan man med avseende på transporter från inkapslingsanläggningen till djupförvaret särskilja tre lokaliseringsfall. Dessa illustreras schematiskt i Figur 4-6 (vi bortser från kortare terminaltransporter inom inhägnat område i anslutning till hamn):

- I Endast landtransport: Förutsätter en lokalisering nära inkapslingsanläggningen eller "inomlands" därifrån.
- II Endast sjötransport: Förutsätter en lokalisering antingen i anslutning till en befintlig hamn eller i ett kustläge där en särskild hamn kan byggas på samma sätt som vid kärnkraftverken.
- III Sjötransport, omlastning i hamn och därefter landtransport till djupförvaret: Alla övriga lokaliseringar.

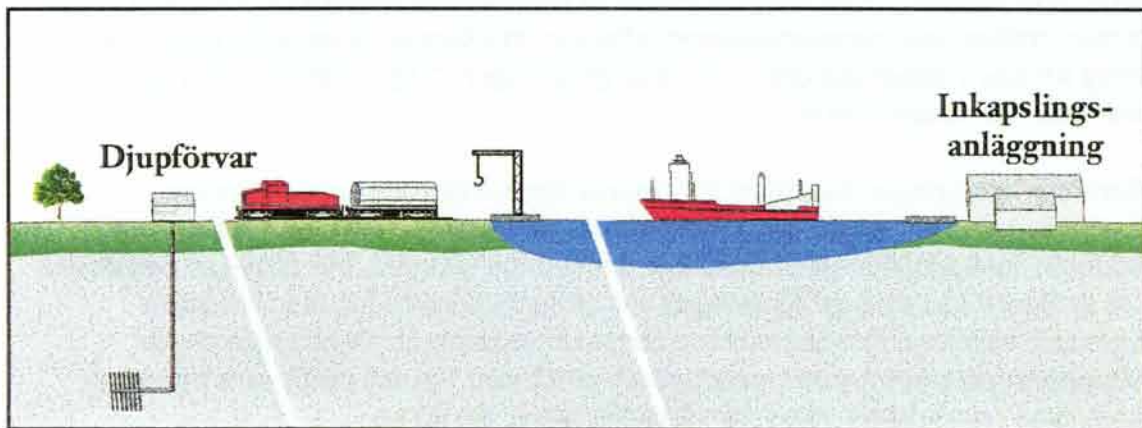
I



II



III



Figur 4-6. Huvudalternativ för transporter av avfall från inkapslingsanläggningen till djupförvaret:

- I Endast sjötransport
- II Endast landtransport
- III Sjötransport och landtransport

Undantaget specialfallet att en hamn (befintlig eller särskilt anlagd) finns att tillgå så nära djupförvarets industriområde att transportererna kan ombesörjas med terminalfordon kräver alltså även kustnära lokaliseringar såväl sjötransport som landtransport på allmänna kommunikationsleder (väg eller järnväg). Skillnaden mellan olika alternativ är då transportsträckan och tillgången till transportleder.

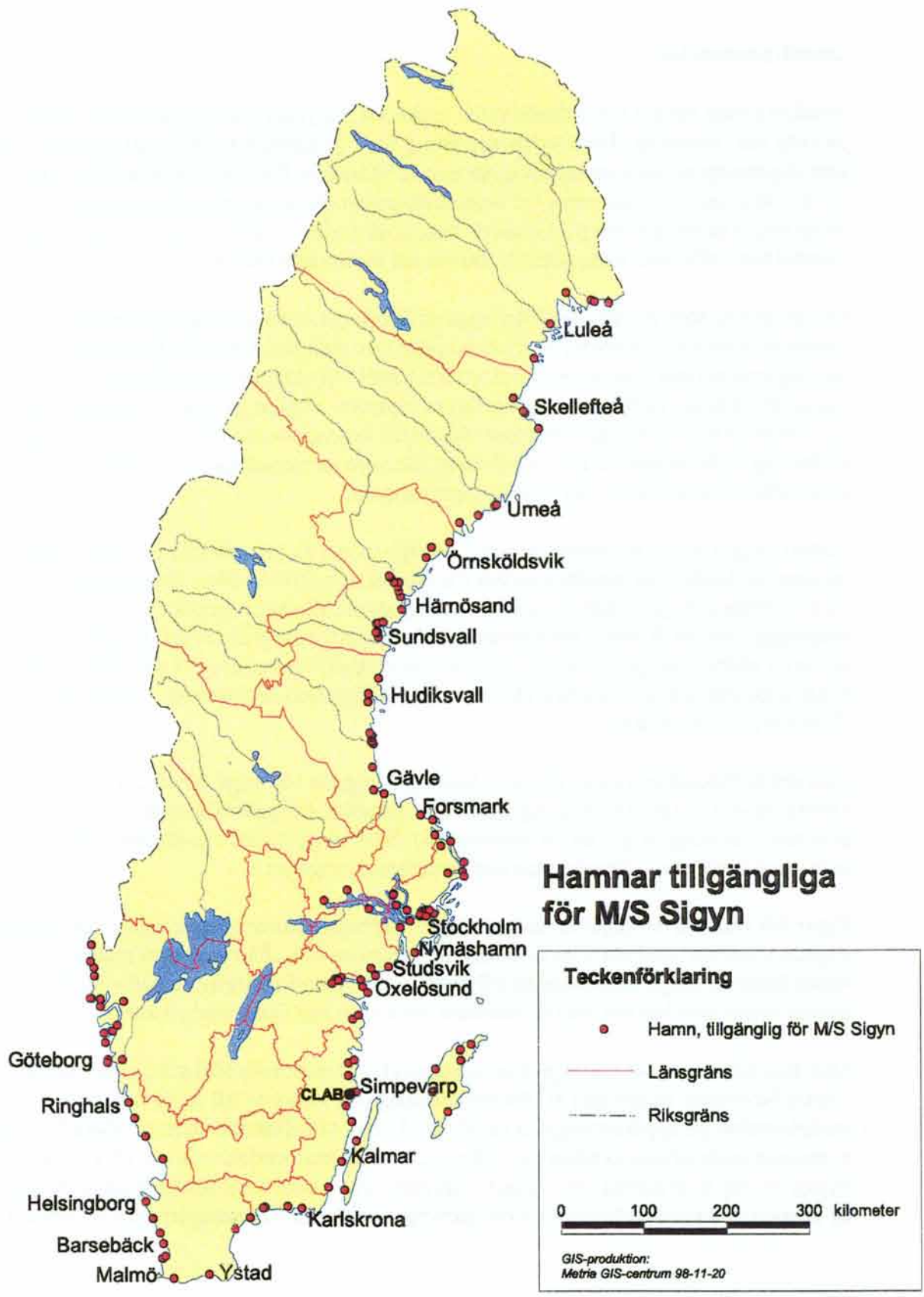
Viktiga faktorer ur perspektivet ”nord-syd, kust-inland” är dels tillgången till lämpliga hamnar och transportleder på land, dels de tekniska och säkerhetsmässiga förutsättningarna att genomföra transportererna för olika lokaliseringsalternativ. Dessa faktorer diskuteras i det följande. Vidare berörs hur olika lokaliseringsalternativ kan påverka transportsäkerhet och kostnader. Miljöpåverkan av transportverksamheten diskuteras i avsnitt 5.2.

Sjötransporter

Kartan i Figur 4-7 visar lägen på hamnar som har kapacitet att ta emot fartyg av M/S Sigyns storlek. Som synes finns det många lämpliga hamnar väl spridda efter hela kusten. De ligger nästan uteslutande i direkt kontakt med industriområden, ofta i eller nära tätorter. För att en hamn skall kunna fungera som terminal för transportererna till djupförvaret krävs att man kan skilja av ett område för hantering och förvaring av transportbehållare, kontroll m m. Det kan också krävas tillbyggnad av kajer och annan utrustning. Ingen hamn är den andra lik, och det går inte att peka på några generella skillnader i lämplighet mellan hamnar i olika delar av landet. Att anlägga en ny hamn kan vara ett alternativ, om djupförvaret förläggs i ett kustläge. De tekniska förutsättningarna för detta bedöms vara goda för stora delar av landets kuststräcka.

De resurser som krävs för sjötransport – fartyg, hamnfaciliteter, organisation, planering m m – måste finnas oavsett transportsträcka. Det enda som egentligen påverkas av avståndet till sjöss är tidsåtgången för transportererna, dvs belägningsgraden på det fartyg som används. Detta inverkar främst på kostnaderna. Närmare utvärdering kräver att man beaktar hela transportsystemet, eftersom avsikten är att använda ett och samma fartyg för alla avfallstransporter som skall gå sjövägen. Några enkla beräkningsexempel redovisas i ett senare avsnitt.

Minst blir tidsåtgången självfallet för hamnar längs ostkusten i södra Sverige. Norrlandskusten och västkusten är någorlunda jämförbara. Nordliga hamnar längs ostkusten har nackdelen att ishinder kan förekomma vintertid. För fartyg av den storlek som är aktuell kan detta ge förseningar och oregelbunden trafik, men har ingen avgörande betydelse för genomförbarheten av transportererna. Olycksriskerna vid sjötransport påverkas mycket marginellt av avståndet. Hamnförhållanden och antal hamnanlöp som behöver göras har väsentligt större betydelse.



Figur 4-7. Hamnar som har kapacitet att ta emot fartyg av M/S Sigyns storlek.

Landtransporter

Behållare med använt kärnbränsle (eller andra avfallstyper) kan transporteras på såväl järnväg som landsväg. Teknik och utrustning finns tillgänglig för båda alternativen. För järnvägstransport finns standardvagnar som är lämpliga. För landsvägstransport krävs fordon som specialkonstrueras för tunga transporter. Som nämnts har inte några avgörande säkerhetsmässiga skillnader kunnat identifieras mellan väg- och järnvägsalternativen, eftersom säkerheten är knuten till transportbehållarna.

Om såväl väg som järnväg med lämpliga sträckningar finns att tillgå är järnvägstransport normalt att föredra, åtminstone på längre sträckor. Huvudskälet är att järnvägarna normalt klarar de transportvikter som blir aktuella (totalvikt för en transportbehållare ca 65 ton) utan särskilda åtgärder. Vägtransport av så tunga enheter kan däremot kräva att man förbättrar bärigheten hos vägavsnitt och broar, även längs större vägar. En annan fördel med järnväg kan vara att transportererna är enklare att genomföra ur planerings- och bevakningssynpunkt.

Kartan i Figur 4-8 visar järnvägsnätet i Sverige (några av de sträckningar som visas är numera nedlagda eller används endast för speciella ändamål). Föga förvånande är nätet tätare i södra Sverige. I genomsnittlig mening skulle alltså den sträcka som behöver nyanläggas för att få järnvägsförbindelse till en hypotetisk plats för ett djupförvar bli kortare i södra Sverige än i norra. Utryckt i storleksordningar kan det röra sig om något tiotal kilometer i den södra landsdelen, och åtskilliga tiotals kilometer i den norra (Fjällkedjan borträknad).

Allmänt är förutsättningarna för järnvägsbyggnad goda i Sverige. Kostnaderna varierar kraftigt med bl a spårstandard, topografi och grundläggningsförhållanden, men är generellt väsentligt högre än för vägbyggnad. Kraven på rakhet och planhet gör det också svårt att dra ny järnväg utan omfattande miljöingrepp.

Figur 4-9 visar huvudvägarna (europavägar, riksvägar, primära landsvägar) i det statliga vägnätet. Kartan skall ses som orienterande eftersom inte alla vägar som markerats skulle klara de tunga transportererna till djupförvaret utan förbättringar. Omvänt finns det många vägar som har erforderlig standard, men som inte finns med på kartan.

Man kan ändå se att vägnätet glesnar successivt mot norr, från Mälardalen och uppåt. I norra Norrlands inland kan avstånden till bärig väg vara upp till ca 40 km, med medelavstånd på uppskattningsvis ca 20 km. I mera tätbefolkade delar av södra Sverige är motsvarande största avstånd ca 12 km, och uppskattat medelavstånd ca 6 km. Att bygga ny väg är generellt sett enklare, billigare och mindre miljöstörande än att bygga ny järnväg. På korta sträckor, och när järnväg saknas kan vägtransport vara att föredra.



Figur 4-8. Järnvägsnätet i Sverige.



Vägnät

Teckenförklaring

-  Europaväg
-  Väg med nr 1 - 401
-  Länsgräns
-  Riksgräns

0 100 200 300 kilometer

GIS-produktion:
Metra GIS-centrum 98-11-20

Figur 4-9. Huvudvägnätet i Sverige (Europavägar, riksvägar och primära landsvägar).

Transportsäkerhet

All transportverksamhet är förenad med större eller mindre olycksrisker. Riskerna är olika för olika transportmedel och färdvägar, men ökar generellt sett när transporterna blir längre och/eller mer komplicerade, t ex då flera transportsätt behöver nyttjas och omlastningar krävs. En inlandslokalisering som kräver landtransporter innebär alltså i princip större olycksrisker än motsvarande kustlokalisering. För att kunna värdera vad denna principiella skillnad kan betyda i realiteten måste man beakta båda komponenterna i begreppet olycksrisk, d v s sannolikheten att en viss sorts incident eller olycka inträffar, och de konsekvenser den kan få. Både sannolikhet och konsekvens kan reduceras med hjälp av god teknik, planering och strikta säkerhetsrutiner. När det gäller transporter av radioaktivt avfall är det också viktigt att skilja mellan radiologisk säkerhet (d v s säkerheten mot olyckor som kan innebära att människor utsätts för skadlig strålning eller att avfallet sprids) och transportsäkerhet i "vanlig" bemärkelse.

Radiologisk säkerhet

Principer och utförande för att uppnå radiologisk säkerhet för transporterna till djupförvaret har studerats och redovisats i många sammanhang (t ex Pettersson och Ringi, 1997; Ekendahl och Pettersson, 1998). Huvudslutsatsen är att transporterna till djupförvaret kommer att kunna genomföras med betryggande radiologisk säkerhet, oavsett avståndet till djupförvaret och oavsett vilket eller vilka transportsätt som nyttjas. Denna slutsats bygger på följande:

- Det utomordentligt strikta system av nationella lagar och internationella överenskommelser som anger kraven och reglerar transportverksamheten, tekniskt och administrativt.
- Omfattande provning av transporttekniken, särskilt transportbehållarnas förmåga att motstå mekaniska påkänningar, brand, vattentryck och andra belastningar som kan bli aktuella vid en olycka längs transportvägen.
- Mångåriga erfarenheter av transporter av använt kärnbränsle och annat avfall, i Sverige och utomlands (Pettersson och Ringi, 1997).

Risker för olyckor med radiologiska konsekvenser är alltså inte en faktor som i direkt mening påverkar jämförelser av lokaliseringsförutsättningar i kust- respektive inlands-lägen, eller i södra respektive norra Sverige. Indirekt kan det faktum att det är radioaktiva ämnen som skall transporteras ändå ha stor betydelse för värderingen av olika lokaliseringalternativ, eftersom verksamheten är kontroversiell.

Trafik- och hanteringssäkerhet

Sjötransporter

Sjötransporter är generellt sett mindre drabbade av trafikolyckor än transporter på land. Riskerna kan reduceras ytterligare (till både sannolikhet och konsekvens) på teknisk väg, t ex genom att använda fartyg konstruerade med dubblade framdrivnings- och manöversystem, dubbla skrov etc. M/S Sigyn ger exempel på sådana åtgärder. Olyckor i form av grundstötningar eller kollisioner med andra fartyg är ändå tänkbara. Konsekvenserna kan variera. Som värsta fall kan man tänka sig att lasten går förlorad eller att fartyget förliser. Om fartyget då transporterar behållare med avfall måste dessa bärgas. Oavsett lokalisering kommer sjötransporterna att ske i så pass grunda vatten att bärgning kan genomföras, utan att behållarna utsätts för belastningar som allvarligt äventyrar deras funktion.

Sträckan till sjöss har liten påverkan på olycksrisken. Isförhållanden påverkar inte heller säkerheten nämnvärt för aktuella fartygstyper. Förläggning i norr ger alltså endast marginellt större risker till sjöss än en förläggning i söder.

Riskerna för olyckor är betydligt större under manövrer av fartyget in till och ut ur hamn samt vid hanteringen av godset i hamn (lastning, lossning, omlastning till landtransport) än under själva resan till havs. "Hamnspecifika" förhållanden är alltså mera betydelsefulla än transportsträckan. Bästa sättet att reducera riskerna är egentligen att reducera antalet hamnanlöp. Vad gäller avfallstransporter till djupförvarets hamn är dock behovet detsamma, oavsett hamn. För fartyg som transporterar bentonit påverkas inte antalet resor eller hamnanlöp av djupförvarets lokalisering.

Landtransporter

Att tunga transporter på väg och järnväg är förknippade med olycksrisker är allom bekant. Transporterna till djupförvaret kommer inte att utgöra några undantag, även om riskerna kan reduceras genom väl etablerade rutiner för genomförande och höga krav på såväl personal som fordon och transportleder. Exempel på olyckor som kan inträffa är allt från betydelselösa incidenter till avkörningar/urspårningar eller kollisioner, eventuellt åtföljda av brand, med allvarliga konsekvenser för inblandade. Som nämnts bedöms det dock inte finnas risk för radiologiska konsekvenser i samband med sådana olyckor. Det kommer ändå att krävas organisation och beredskap för att hantera missöden, olyckor och andra störningar. Detta berör både den som ansvarar för transporten (alltså SKB) och ansvariga myndigheter lokalt och centralt. Förutom omedelbara insatser av räddningstjänsten måste det exempelvis finnas resurser som snabbt kan klargöra vad som hänt och informera allmänheten om detta, göra mätningar och kontroller på en olycksplats, ombesörja eventuell bärgning av fordon eller gods under kontrollerade förhållanden etc. En allmän erfarenhet är att trafikolyckor som involverar fordon med farligt gods lätt kan leda till oro och i värsta fall panik, oavsett hur väl skyddat godset är. Därför ställs höga krav på snabb och korrekt information.

Det är svårt att peka på några generella skillnader mellan södra och norra Sverige vad gäller de fysiska förutsättningarna för säkra transporter på land. Möjligen kan glesare trafik i Norrland ge lägre olycksrisker. Å andra sidan kan man förvänta sig att en större andel mörker och vinterväglag i norr ger ökade risker. Lokala skillnader mellan olika transportleder är i alla händelser av större betydelse.

Andra störningar

Förutom risker för missöden eller olyckor under själva transporterna, vid hantering och omlastning måste man också beakta riskerna för omedvetna eller medvetna störningar som kan försena, försvåra eller förhindra transporterna. Man kan här tänka sig allt från vardagliga trafikstörningar till aktivt sabotage eller hot. Riskerna för sådana störningar, liksom behovet av bevakning, ökar väsentligt när transporterna lämnar inhägnat område för att samsas med annan trafik på allmänna kommunikationsleder. Landtransporter är mera störningskänsliga än sjötransporter. Vidare är transporter på landsväg både mera känsliga för störningar och svårare att bevaka än järnvägstransporter.

Lokaliseringar som kräver landtransporter innebär alltså nackdelar med avseende på störningskänslighet och bevakningsbehov. I någon mån ökar denna nackdel med avståndet. Några generella skillnader mellan norra och södra Sverige finns knappast i detta avseende.

Kostnader

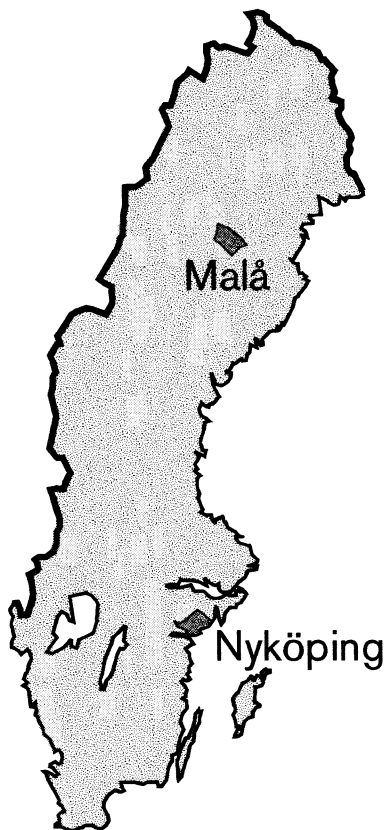
Exempel från förstudier

Till skillnad från lokaliseringsfaktorer knutna till berggrunden kan transportförutsättningarna värderas ganska väl i översiktlig skala. Sådana värderingar har gjorts i förstudierna. Underlag har hämtats från allmänt tillgänglig information om infrastruktur och transportteknik, samt erfarenheterna av de nuvarande avfallstransporterna. Eftersom förstudierna avsett kommuner i Norrlands inland (Storuman och Malå) och kustkommuner längre söderut (Östhammar, Nyköping och Oskarshamn) kan de användas för att belysa skillnaderna i transportförutsättningar mellan dessa landsdelar.

Tabell 4-2 visar två hypotetiska exempel, hämtade från förstudierna i Nyköping och Malå (SKB, 1996; SKB, 1997b). Figur 4-10 visar dessa kommuners lägen på Sverigekartan. I Nyköpings-exemplet antas djupförvarets industriområde finnas i anslutning till befintlig hamn i Studsvik, varför sjötransporten blir kort och inga landtransporter på allmänna leder behövs. I Malå-exemplet antas förvaret vara förlagt till något av de områden i kommunen som förstudien visade var potentiellt gynnsamma. Både väg och järnväg är möjliga alternativ för transporten från kusthamn till en tänkt förvaringsplats i Malå kommun, men i båda fallen krävs förbättring och nybyggnad av transportleder.

Tabell 4-3 visar en enkel kostnadsjämförelse för dessa alternativ. Kostnaderna inkluderar även transporter av buffertmaterial. Av den totala skillnaden på 650–900 Mkr hänför sig ca 200 Mkr till skillnaden i sträcka till sjöss. Återstoden är de kostnader för terminal och landtransporter som tillkommer för fallet Malå. Även de betydande investeringar i transportleder som skulle krävas har tagits med i sin helhet. Högre anläggningskostnader gör järnvägstransport till ett väsentligt dyrare alternativ än transport på väg. Totalkostnaden för Malåfallet anges därför som ett intervall, där järnväg motsvarar det högre värdet och landsväg det lägre.

Exemplet visar att skillnaderna i transportkostnader för olika lokaliseringssorter kan bli betydande. De längre sjötransporterna vid en lokalisering till ett kustläge i norra Sverige innebär överslagsmässigt ca 200 Mkr högre transportkostnader än vid motsvarande lokalisering på kort avstånd från inkapslingsanläggningen vid Simpevarp. Kostnaderna stiger också snabbt om landtransporter tillkommer, särskilt om det krävs investeringar i nya trafikleder. Ett ytterlighetsfall med lokalisering till Norrlands inland och omfattande nybyggnad av infrastruktur som i sin helhet bekostas av djupförvarsprojektet kan ge totala transportkostnader som är närmare en miljard kronor högre än en lokalisering som endast kräver en kortare sjötransport.



Figur 4-10. Malå och Nyköpings kommuner på Sverigekartan.

Tabell 4-2. Två exempel på transportförutsättningar från inkapslingsanläggning till djupförvar. Exempelen är hämtade från förstudierna i Nyköping (kust, södra Sverige) och Malå (inland, norra Sverige).

	Nyköping (Studsvik)	Malå
Transportkedja	Sjötransport från Simpevarp till hamnen i Studsvik, omlastning till terminalfordon och kort transport direkt till djupförvarets industriområde	Sjötransport från Simpevarp till lämplig hamn vid Västerbottenskusten, omlastning i hamn, landtransport (väg eller järnväg) till djupförvaret
Sträcka till sjöss	150 km	750–950 km
Sträcka på land	–	160–175 km
Utbyggnadsbehov – hamn	Fördjupning, i övrigt måttliga	Betydande
Utbyggnadsbehov – landtransport	Inga	Diverse förbättringar längs ca 150 km befintlig väg, samt nybyggnad av upp till 25 km väg. Alternativt nybyggnad av 40–80 km järnväg

Tabell 4-3. Transportkostnader för exemplen Nyköping/Studsvik och Malå (totalt för hela driftperioden, avfallsprodukter och buffertmaterial).

	Nyköping (Studsvik)	Malå	Skillnad
Transportkostnad (Mkr)	670	1 320–1 570	650–900
Andel av totalkostnad – djupförvar (%)	5,1%	9,6–11,2%	4,4–6,1%

Kostnaden för hela djupförvarsprojektet uppskattas till 13 000–14 000 miljoner kronor. Sett i relativ bemärkelse är alltså transportkostnaderna en mindre del, ca 5% i Nyköpings-exemplet och ca 10% i Malå-exemplet, se Tabell 4-3. Skillnaderna i transportkostnader för olika lokaliseringalternativ kan jämföras med en annan platsberoende faktor, nämligen den kostnadsmissiga osäkerhet som sammanhänger med behovet att platsanpassa anläggningarna under jord till lokala bergförhållanden. Denna osäkerhet är ungefär lika stor som skillnaden mellan de två exemplen i Tabell 4-3. Annorlunda uttryckt kan långa transporter kostnadsmissigt ungefärligen kompenseras av gynnsamma anläggningsförhållanden under jord.

Andra faktorer

Transportfrågan måste också bedömas ur mer allmänna perspektiv än säkerhet, teknik och kostnader. De förbättringar av infrastrukturen i form av utbyggnader av järnvägar och/eller vägar som kan bli aktuella är åtgärder som på olika sätt berör många samhällsintressen. Detta kan vara en viktig faktor i den lokala och regionala samhällsplaneringen. Det finns också miljömässiga konsekvenser (se avsnitt 5.2).

Än viktigare är attityderna till transporterna. Tanken på radioaktiva transporter är kontroversiell och erfarenheten visar att starka opinioner kan väckas. Reaktionerna kan variera från oro grundad på direkt rädsla, till övertygelsen att transporterna är, om inte farliga så i vart fall onödiga. Vare sig oron är välgrundad eller ej i rent teknisk mening så är den en realitet som måste beaktas i lokaliseringsarbetet. Erfarenheterna från förstudierna är att denna aspekt bara kan bedömas när frågan blir konkret på en ort eller i en region.

4.3 Sammanfattande bedömning – teknik

Transporter

Den uppenbara nackdelen med en lokalisering till norra Sverige ur teknisk/ekonomisk synvinkel är det långa transportavståndet från den planerade inkapslingsanläggningen till djupförvaret. Vidare är en lokalisering till inlandet ogynnsam ur transportsynpunkt, eftersom det då krävs såväl sjö- som landtransport. Transportbehovet kommer att finnas under hela driftsfasen och innefattar förutom avfallet också buffertmaterial. Transportförutsättningarna kan värderas ganska väl i översiktlig skala, och har studerats i de förstudier som genomförts eller pågår.

Såväl svensk som utländsk erfarenhet visar att den radiologiska säkerheten i samband med transporterna till djupförvaret kommer att kunna hållas på en hög nivå, oavsett lokaliseringsort, transportavstånd och transportsätt. Däremot kommer transportverksamheten, i likhet med andra tunga transporter, att medföra såväl gängse olycksrisker som viss miljöbelastning.

Beroende på lokaliseringsort kan det krävas mer eller mindre omfattande utbyggnad av transportleder (järnväg eller väg) och eventuellt hamnanläggningar. Det innebär miljöingrepp och fördyringar, men det kan också ge förbättringar av lokal och regional infrastruktur som måste vägas in i ett vidare samhällsperspektiv. Beräkningsexempel hämtade från förstudierna ger en uppfattning om kostnadsaspekten. En lokalisering till Norrlands inland (betydande investeringar i transportleder, sjötransport till närmaste hamn, därefter ca 15 mil landtransport) beräknas ge en fördyring av djupförvarsprojektet med ca 5%, jämfört med en lokalisering vid ostkusten i södra Sverige (endast kortare sjötransport).

Sammanfattningsvis konstateras att transporterna är säkerhetsmässigt och tekniskt genomförbara oavsett lokaliseringsort, att de extra kostnader som följer av en "avlägsen" lokalisering relativt sett är måttliga, samt att de utbyggnader av transportleder som kan bli aktuella kan ha positiva och negativa aspekter som måste värderas i varje enskilt fall. Frågan om det berättigade i transporterna är också i hög grad en fråga om attityder och opinioner i samhället. All erfarenhet visar att transporter av radioaktiva material av många upplevs som farliga, alternativt olämpliga eller åtminstone onödiga. Vare sig oron är välgrundad eller ej i teknisk mening så är den en realitet som måste beaktas.

Anläggningar

När det gäller förutsättningarna för att bygga och driva djupförvaret är det svårt att peka på några faktorer som i generell mening kan ha stor betydelse ur perspektiven nord-syd eller kust-inland. Huvudskälet är att de parametrar som styr byggförhållandena uppvisar en stor lokal variation, och alltså måste bestämmas lokalt. Det gäller exempelvis bergtekniska nyckelparametrar som bergkvalitet och bergspänningar.

Två parametrar kan emellertid nämnas. Den ena är initialtemperaturen i berggrunden, som minskar mot norr. Temperaturen påverkar förvarets utformning. Högre temperatur kräver att kapslarna deponeras glesare, vilket ger ett större förvar. Beräkningar visar att ett förvar i södra Sverige kan kräva 15–20% större yta än ett förvar i norra Sverige. Detta kan ge en fördyring av djupförvarsprojektet på ca 2%, men har knappast några avgörande konsekvenser i övrigt. Lokala variationer i bergets värmeledningsförmåga kan ge ungefär samma effekter på förvarsarea och kostnader.

Den andra parametern är de nämnda förutsättningarna för salta grundvatten i kustnära lägen. Förutom säkerhetsmässiga implikationer kan salt grundvatten också medföra en viss ökning av underhållsbehovet i anläggningarna under driftstiden.

En *förläggning under havet* bedöms som möjlig ur bygg- och driftsteknisk synvinkel. Det faktum att all kommunikation mellan förvaret och anläggningarna på land då måste ske via lutande tunnel innebär dock väsentliga nackdelar, främst ur driftssynpunkt. De begränsade möjligheterna att kartlägga och bedöma berggrunden under ett havstäckt område kan också vara till väsentlig nackdel, särskilt i lokaliserings- och etableringsfaserna. En förläggning under ett område som bara delvis ligger under vatten behöver inte innebära samma nackdelar.

5 Mark och miljö

Miljölagstiftningens krav på heltäckande miljökonsekvensbeskrivning (MKB-dokument) för anläggningsprojekt innebär att en industrianläggnings miljöpåverkan skall utvärderas redan i lokaliseringsskedet. För djupförvaret kommer därför en detaljerad miljökonsekvensbeskrivning att presenteras i samband med lokaliseringsansökan. Den kommer att omfatta bland annat:

- Analyser av den radiologiska säkerheten, såväl i driftsskedet som efter förslutning.
- Analyser av miljöpåverkan i form av markintrång, utsläpp till luft och vatten, resursutnyttjande m m.

I detta kapitel ges först en översikt över dagens situationen vad gäller markanvändning, och hur detta kan påverka lokaliseringsförutsättningarna för ett djupförvar. Därefter diskuteras miljöpåverkan vid etablering och drift av ett djupförvar. Möjliga skillnader mellan norra och södra Sverige, respektive kust- och inlandslägen diskuteras.

5.1 Markanvändning och markskydd

5.1.1 Lagar och regler

Lokaliseringen av djupförvaret måste, som all industrilokalisering, ske med hänsyn till olika intressen i samhället vad gäller markanvändning och miljöskydd. Förutom att lagstiftningen på området givetvis skall följas så är intentionen att anpassa lokalisering och utformning så att konflikterna med nuvarande och planerad markanvändning blir så små som möjligt. Den mark som behöver tas i anspråk för djupförvarets anläggningar ovan jord är en möjlig källa till konflikt. Arealbehovet är dock begränsat och möjligheterna att anpassa utformningen till lokala förhållanden och önskemål är stora.

Övergripande riktlinjer för användningen av mark- och vattenområden för olika ändamål anges i naturresurslagen (NRL). Den är en så kallad paraplylag och verkar egentligen främst genom att den skall tillämpas vid beslut som rör ändrad markanvändning enligt andra speciallagar, t ex plan- och bygglagen, vattenlagen, miljöskyddslagen, naturvårdslagen eller väglagen.

Lagstiftningen inom natur- och kulturvården följer en tradition som innebär att man söker tillvarata, skydda och bevara på två på sätt:

- Rent bevarande, genom att avsätta särskilda, ofta ganska begränsade områden och ge dessa formellt skydd i lag eller så kallat områdesskydd. Framförallt rör det sig om att skydda naturvårdens och friluftslivets intressen genom nationalparker, naturreservat, naturvårdsområden, fågelskyddsområden eller fridlysning enligt naturvårdslagen.
- Planering av hur man nyttjar och hushållar med landets naturresurser. Det sker dels genom naturresurslagens allmänna riktlinjer, dels genom att ange områden med sådana värden att de betraktas som riksintressen, eller omfattas av särskilda hushållningsbestämmelser.

I linje med denna lagstiftning har nationella sektorsorgan och länsstyrelser sammanställt databaser, kartmaterial och annan dokumentation som anger och beskriver områden eller objekt som åtnjuter någon form av direkt skydd, eller betraktas som riksintressen. Detta kan användas för att översiktligt bedöma lokaliseringsförutsättningarna för ett djupförvar. På lokal nivå tillkommer mera detaljerat underlag i form av bland annat beskrivningar av nuvarande och planerad markanvändning i kommunala översiktsplaner, uppgifter om markägarförhållanden, lokala natur- och kulturmiljövårdsintressen m m.

Lokaliseringen av djupförvaret och utformningen av anläggningarna skall allmänt följa naturresurslagens intentioner om en god hushållning med naturresurser. Konflikter med konkurrerande markanvändningsintressen skall undvikas. Hänsyn skall därvid tas till bland annat värdefulla natur- och kulturmiljöer, friluftsliv, jord- och skogsbruk samt befintlig och planerad markanvändning.

Djupförvaret skall inte lokaliseras till områden som åtnjuter direkt skydd enligt naturvårdslagen. Exempel på sådana områden är naturreservat, nationalparker, naturvårdsområden och djurskyddsområden. Områden som klassats som riksintressanta för naturvård, friluftsliv eller kulturmiljö skall skyddas mot ingrepp som påtagligt försvårar eller motverkar det skyddsintresse som avses. Om hänsyn kan tas till dessa krav kan djupförvaret möjligen lokaliseras till ett sådant område, eftersom djupförvaret i sig också utgör ett riksintresse.

5.1.2 Nord eller syd, kust eller inland?

Viktiga faktorer

I Översiktsstudie 95 sammanställdes befintligt underlag om nuvarande markanvändning, särskilt skyddade områden, riksintressen för natur och kulturvård m m i nationell skala. Allmänt konstaterades att samhällets regelverk liksom andra intressen inom dessa områden innebär restriktioner av olika art och grad vad gäller lokaliseringmöjligheterna för ett djupförvar. Det finns i detta sammanhang skillnader mellan kust och inland, liksom mellan norra och södra Sverige. Skillnaderna sammanhänger både med demografi och markanvändning allmänt sätt, och med den geografiska fördelningen på objekt eller områden som medför restriktioner i formell mening. I det följande redovisas därför underlag om dessa faktorer i nationell skala, och möjliga konsekvenser med avseende på lokaliseringmöjligheter diskuteras.

Befolkning, mark och industri

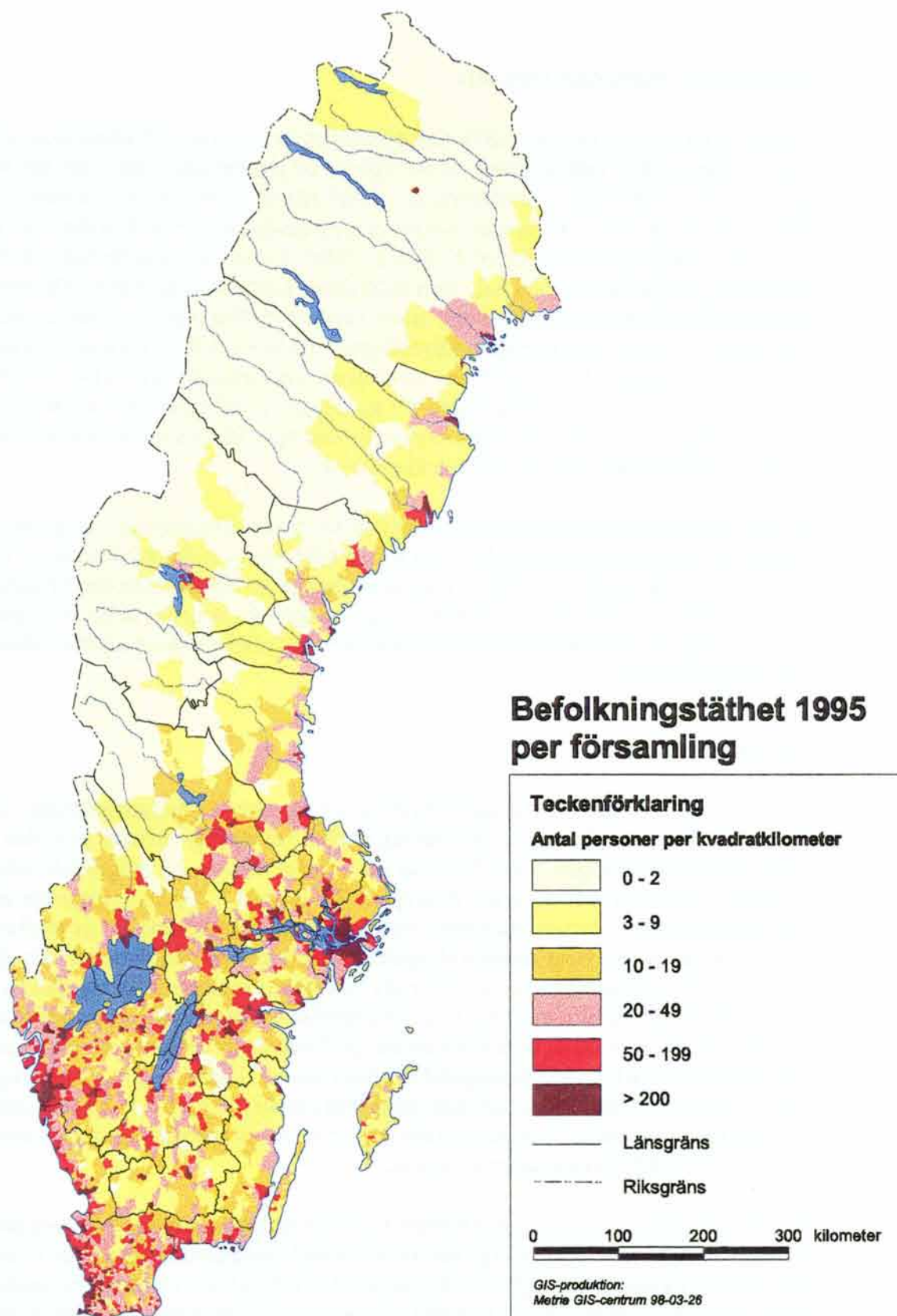
Kartan i Figur 5-1 illustrerar befolkningsfördelningen i Sverige. Ett riksgenomsnitt på 20 personer per kvadratkilometer gör Sverige till ett glesbefolkat land, men det är ingen nyhet att de ca 8,8 miljoner invånarna är mycket ojämnt fördelade över landets yta. 90% av invånarna finns söder om en linje genom Sundsvall och 80% söder om Uppsala. Kontrasten mellan norr och söder är alltså markant. Vidare bor ungefär halva Sveriges befolkning mindre än 30 kilometer från Nordsjöns och Östersjöns kuster. De demografiska skillnaderna mellan kust och inland varierar mellan regioner, men är tydliga i merparten av landet. Befolkningsomflyttningar i modern tid har i huvudsak förstärkt den ojämna fördelningen. Framförallt har det skett en förskjutning från landsort till tätort och en växande andel av befolkningen har koncentrerats till storstäderna. Det finns knappast något som tyder på att det nuvarande demografiska mönstret skulle förändras på något radikalt sätt inom en överblickbar framtid.

En rad lokaliseringsfaktorer är starkt kopplade till befolkningstätheten. Hög befolkningstäthet kan i många avseenden vara till nackdel, men i andra avseenden till fördel. Med ökad befolkningstäthet följer en allmänt hårdare konkurrens om den tillgängliga marken, vilket kan försvåra en lokalisering på många sätt. Å andra sidan är tillgången på industrimark och industriella resurser i regel bättre i tätbefolkade områden, vilket kan ge väsentliga fördelar.

Markanvändning

Genom att studera hur befolkningsfördelning och nuvarande markanvändning varierar geografiskt kan man få en grov uppfattning om hur befolkningstätheten påverkar konkurrensen om marken. Figur 5-2 visar markanvändningen, i Sverigeskala och grovt uppdelad i några huvudkategorier. Begreppet ”övrig mark” i figuren inbegriper all mark som inte innefattas i övriga kategorier, men utgörs till övervägande del av jordbruksmark. Slående är den stora andelen skogsmark, inte bara i de traditionella ”skogslänen” utan i mer eller mindre hela landet. De enda tydliga undantagen är fjällområdena och slättbygdernas jordbrukslandskap. I t ex Östergötlands län är andelen mark som täcks av barrskog så hög som 60%, trots stora arealer jordbruksmark i länets centrala delar (Östgötaslätten) och en befolkningstäthet i länet som är dubbelt så hög som riksgenomsnittet. En annan observation som kan göras från kartan i Figur 5-2 är att med undantag av storstadsområdena så är andelen tätort av den totala markarealen generellt sett liten, även i relativt tätbefolkade delar av landet.

Försvårande faktorer som sammanhänger med hög befolkningstäthet kan vara högt bebyggelsetryck, splittrat markägande, en stor andel jordbruksmark och inte minst den ökande efterfrågan på möjligheter till rekreation och friluftsliv i tätortsnära områden. Det är exempelvis inte svårt att föreställa sig att ett avlägset område som används enbart



Figur 5-1. Befolkningstäthet, redovisad per församling. Genomsnittsvärdet för landet är 20 personer per kvadratkilometer.



Figur 5-2. Markanvändningen i Sverige.

för skogsbruk och besöks av få människor ger avsevärt bättre flexibilitet att lokalisera en anläggning än ett lika stort område som är beläget nära en tätort, utgör rekreationsområde för ett stort antal människor, har en splittrad ägarbild och som till stora delar är bebyggt eller uppodlat.

Slutsatsen är att med avseende på marktillgång ger norra Sverige, i översiktlig bemärkelse, bättre lokaliseringsförutsättningar än södra Sverige. Skillnaderna står dock inte alls i proportion till kontrasterna i befolkningstäthet. Samma förhållande gäller till stora delar för inlands- respektive kustlägen.

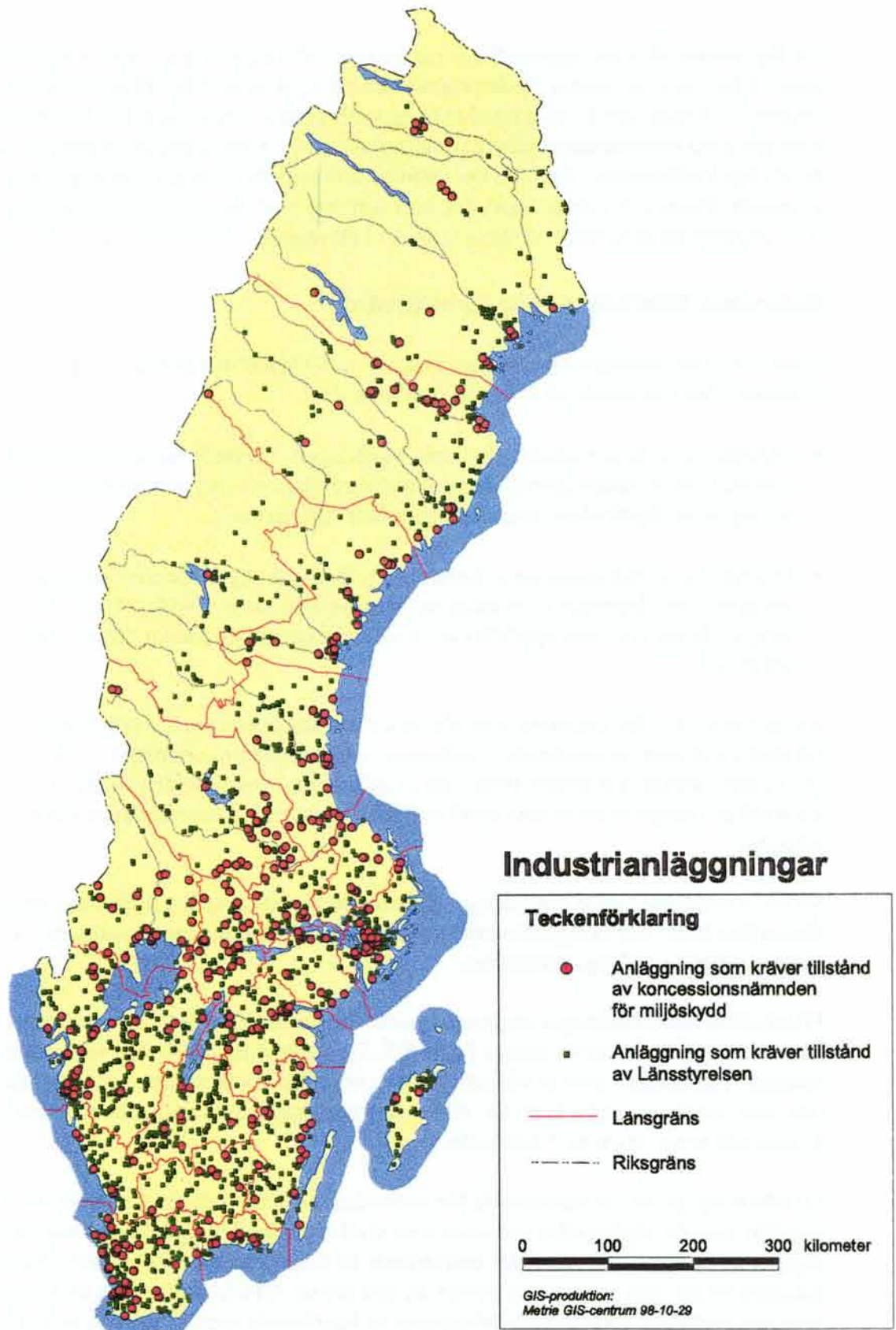
Industri

Det finns också potentiellt viktiga fördelar med en lokalisering till ett tätbefolkat område. En fördel är bättre infrastruktur, vilket bland annat kan reducera eller eliminera behovet av att bygga nya transportleder (vägar och/eller järnvägar), med fördelar i form av minskad miljöpåverkan och kostnadsbesparingar som följd. Detta diskuteras närmare i avsnitt 5.2.4.

Vidare ger tätbefolkade områden i regel en större närhet till befintlig industri och mark som reserverats för industriverksamhet. En förläggning av djupförvarets ovanjordsdel i anslutning till en befintlig industrialanläggning kan ge möjligheter att samutnyttja tekniska försörjningssystem och annan service, samtidigt som etableringens miljöpåverkan minimeras. Förstudierna har visat på sådana möjligheter (SKB 1997a; 1997b).

Figur 5-3 visar befintliga industrialanläggningar, indelade i två kategorier efter den "tyngd" de tillmäts i samband med tillståndsprövning. Det dataunderlag som kartan bygger på har brister vad gäller aktualitet, men är ändå användbart för att få en översiktlig bild. I grova drag följer fördelningen av industrialanläggningar befolkningfördelningen (jfr Figur 5-1). Undantag finns, bland annat har de många industrialanläggningarna i Bergslagen och i mindre utsträckning i Norrlands inland ingen riktig motsvarighet i befolkningscentra. Det beror på att det i flertalet fall rör sig om numera nedlagda gruvor.

En sammanställning av tillgänglig industrimark ger ungefär samma bild som den i Figur 5-3. Inte oväntat är alltså slutsatsen att tillgången på industrimark och industriell kapacitet i allmän mening är större i södra Sverige än i norra, och bättre i kustregionerna än i inlandet.



Figur 5-3. Industrianläggningar i Sverige.

Möjligheterna till lokal upphandling, rekrytering och långsiktig kompetensförsörjning är andra frågor som är knutna till demografi och näringslivsstruktur. Djupförvaret är en industri som skall drivas med mycket höga kvalitetskrav under lång tid. En omgivning som ger goda förutsättningar för rekrytering och stabil kompetensförsörjning är därför ett viktigt kvalitetskrav. Allmänt ger tätbefolkade regioner rikligare möjligheter i detta avseende. Dessa och många andra faktorer som har med djupförvarsprojektets koppling till samhället att göra måste dock utvärderas i ett regionalt och lokalt sammanhang.

Naturvård, friluftsliv och kulturmiljövård

Figur 5-4 visar områden i landet som klassats som särskilt värdefulla ur naturvårdssynpunkt. Med avseende på skydd är de av två slag:

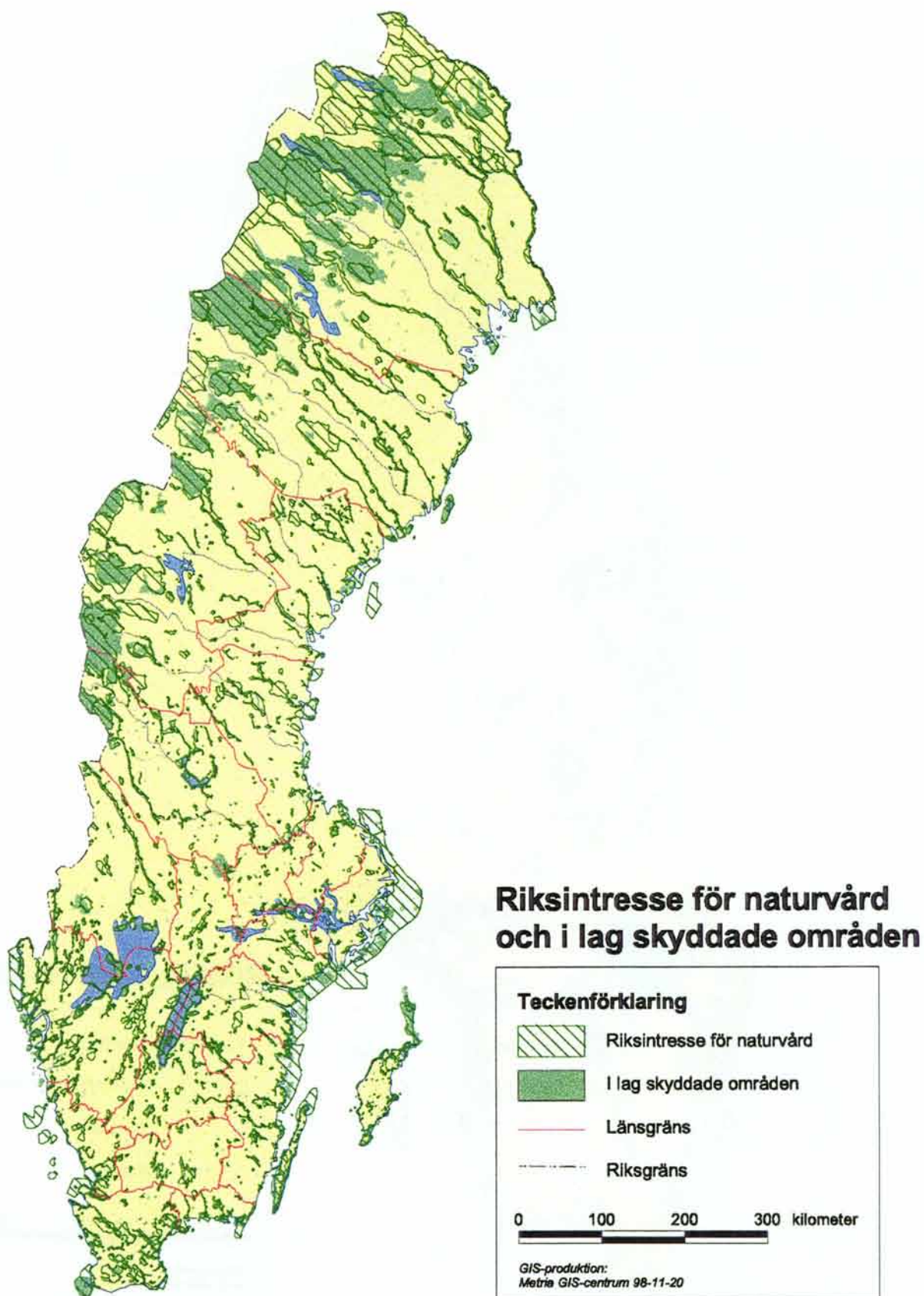
- Områden som är skyddade enligt naturvårdslagen. Exempel på sådana områden är nationalparker, naturreservat, naturskyddsområden och djurskyddsområden. Lokalisering till ett lagskyddat område är självfallet inte aktuellt.
- Områden som förklarats som riksintressen. Dessa är skyddade mot ingrepp som påtagligt försvårar eller motverkar det intresse som skall skyddas. Under förutsättning att dessa krav kan uppfyllas är en lokalisering till ett sådant område inte utesluten.

Av de totalt ca 1 400 områden som klassats som riksintressanta för naturvården är en fjärdedel antingen nationalparker, naturreservat eller naturvårdsområden. De till utbredningen särklassigt största finns längs fjällkedjan. I övrigt är den skyddade marken utspridd på många, relativt små områden och objekt, mer frekventa längs kusterna än i inlandet.

Större sammanhängande områden av riksintresse för naturvården finns framförallt i Östersjöns kust- och skärgårdsområden, i mindre omfattning längs Västkusten, kring de stora insjöarna och längs älvdalarna.

Friluftslivet har erhållit eget utrymme i naturvårdslagen. Områden som har status av riksintresse för friluftslivet visas i Figur 5-5. De sammanfaller till stor del med naturvårdens riksintressen men är väsentligt färre. Förutom mycket stora områden i fjällen och övre Norrland märks även här större sammanhängande områden längs Östersjö-kusten och norra delen av Västkusten.

Lokalisering till ett intresseområde för naturvården eller friluftslivet medför risk för konflikt med de värden eller intressen som skall skyddas. I de fall områdenas värde ligger i att de är relativt stora och opåverkade av mänskliga aktiviteter eller innehåller känsliga objekt som riskerar att påverkas, innebär en industriplanläggning en konfliktrisk som bör undvikas. Djupförvarsanläggningens begränsade arealbehov och den betydande flexibiliteten att anpassa dess utformning till lokala förutsättningar ger dock allmänt goda möjligheter att undvika oacceptabla konflikter. Möjligheterna att helt undvika konflikter med naturvårds- eller friluftsintrussen är generellt sett större i inlandet än i kustområdet.



Figur 5-4. Områden av riksintresse för naturvården, inklusive områden som är skyddade enligt naturvårdslagen.



Riksintresse för friluftsliv

Teckenförklaring

-  Riksintresse för friluftsliv
-  Länsgräns
-  Riksgräns

0 100 200 300 kilometer

GIS-produktion:
Metria GIS-centrum 98-11-20

Figur 5-5. Områden av riksintresse för friluftslivet.

Vad gäller kulturmiljövården är det formella skyddet främst knutet till enstaka objekt eller grupper av objekt. Det kan röra sig om fornminnen av olika slag eller byggnader som klassats som byggnadsminnen. Sammanhängande områden som betraktas som särskilt värdefulla har i vissa fall utpekats som riksintressen enligt naturresurslagen. Dessa områden visas i Figur 5-6. Områdena är många, men med få undantag långt mindre till ytan än naturvårdens riksintressen.

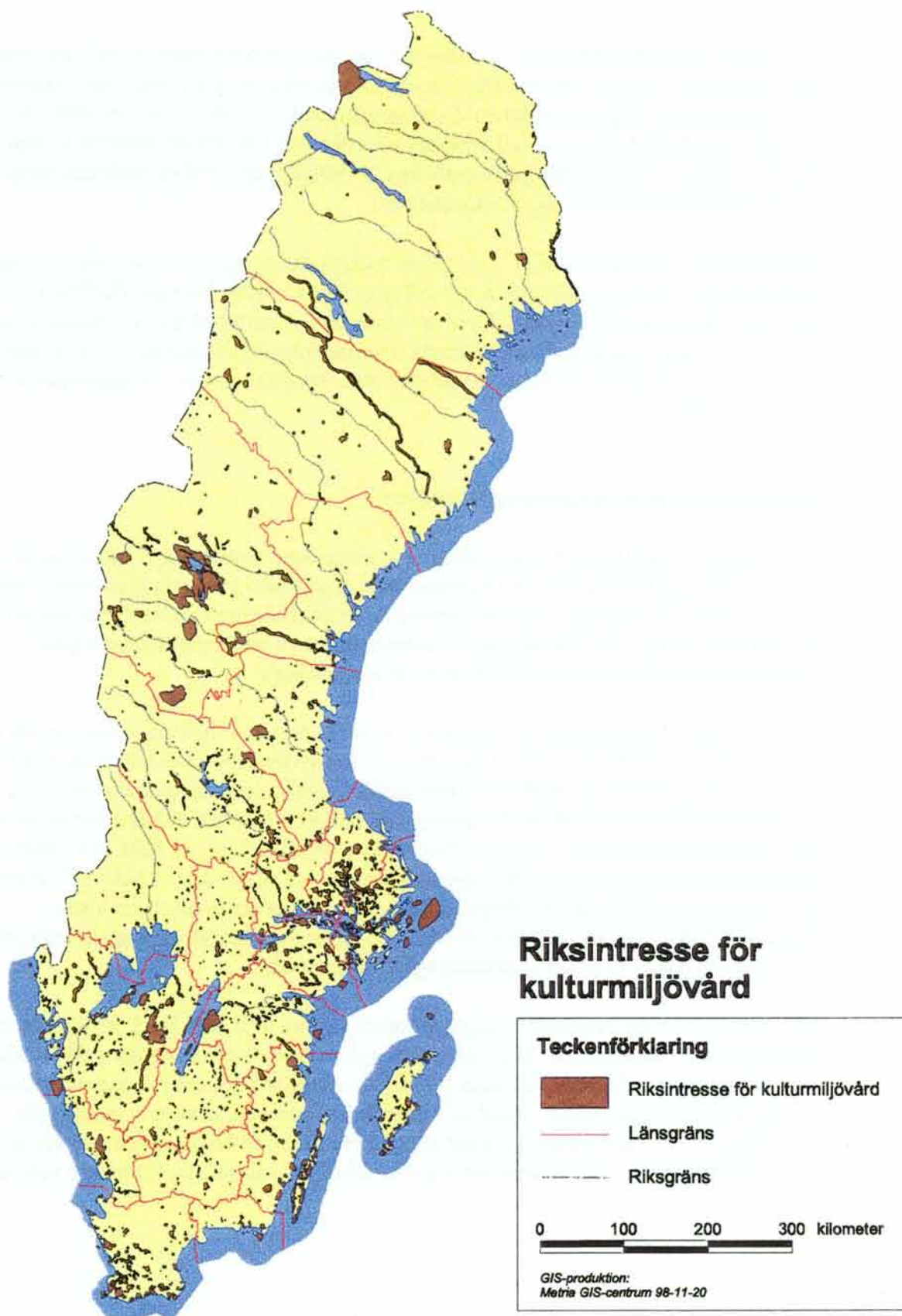
Fördelningen över landet följer, med några tydliga undantag, i stort sett befolkningsfördelningen, vilket innebär att en stor del är belägna i södra Sverige. Skillnaden mellan kust och inland är inte markant. Trots det stora antalet kulturmiljöer av riksintresse är det svårt att se att detta skulle inkräkta på lokaliseringsmöjligheterna för ett djupförvar. I den lokala skalan bör det vara möjligt att lokalisera och utforma anläggningarna så att ingrepp undviks.

Särskilda hushållningsbestämmelser

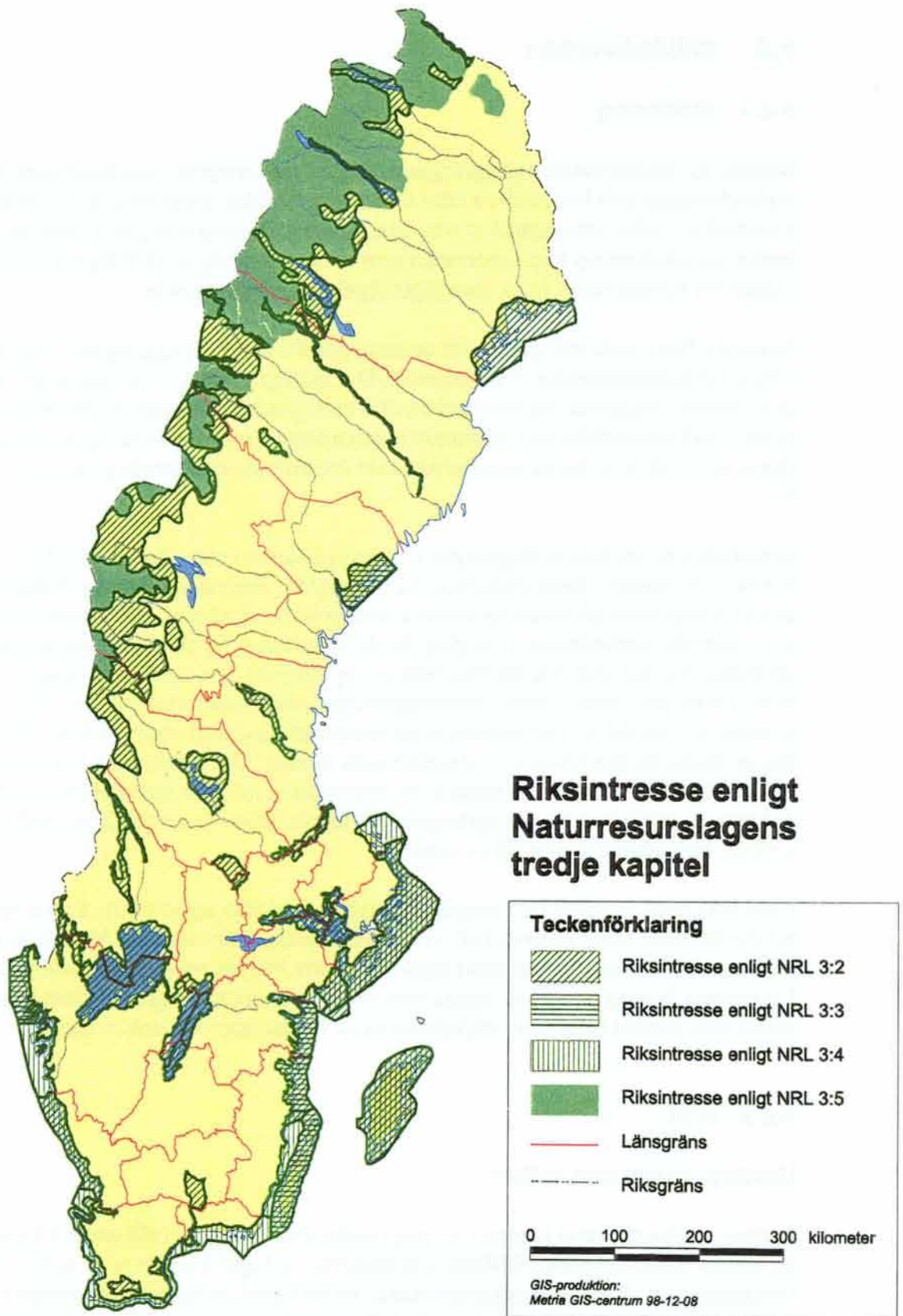
De särskilda hushållningsbestämmelser som enligt naturresurslagens tredje kapitel (3 kap. NRL) gäller i hela landet namnger och avgränsar i grova drag ett antal områden som, med hänsyn till natur- och kulturvården, är av riksintresse. Områdena redovisas översiktligt i Figur 5-7. Det åligger kommunerna att i sina översiktsplaner göra tolkningar och närmare avgränsningar av dessa områden.

Som framgår av figuren är de restriktioner som gäller inte enhetliga. Inom områden som omfattas av NRL 3:2 skall turismens och friluftslivets intressen beaktas vid miljöingrepp. Det gäller stora områden i fjällområdet, men också kuststräckor och vissa områden kring sjöar och älvar. Områden som omfattas av NRL 3:3 är obrutna kuster där stora industrier inte får byggas. För områden som omfattas av NRL 3:4 gäller att industrier bara får anläggas i anslutning till redan befintlig industri. NRL 3:5 anger särskilda restriktioner för det obrutna fjällområdet. Alla dessa områden visas i Figur 5-7. Därutöver kan nämnas att NRL 3:6 anger vattenområden som är belagda med restriktioner vad gäller exploatering av vattenkraft.

Den ur lokaliseringssynpunkt viktigaste konsekvensen av 3 kap. NRL är att östkusten söder om Forsmarkstrakten, hela sydkusten och hela västkusten omfattas av restriktioner vad gäller större industrietableringar (NRL 3:3 och/eller NRL 3:4). Längs norrlandskusten är det bara en mindre andel av kuststräckan som omfattas av motsvarande restriktioner. Bredden på den kustzon som innefattas av restriktionerna varierar med lokala förhållanden, men inskränker sig ofta till någon eller några kilometer inåt land.



Figur 5-6. Områden av riksintresse för kulturmiljövården.



Figur 5-7. Områden som anges som riksintressen enligt naturresurslagens tredje kapitel (3 kap. NRL, särskilda hushållningsbestämmelser).

5.2 Miljöpåverkan

5.2.1 Etablering

Marken för djupförvarets anläggningar ovan jord tas i anspråk i samband med detaljundersökningar och bygge, d v s efter lokaliseringsbeslut. Detsamma gäller mark för eventuell ny- eller ombyggnad av väg eller järnväg. Undersökningsverksamheten före beslut om lokalisering (platsundersökningar) kräver småvägar, tillfälliga uppställningsplatser för bormaskiner m m, men inget regelrätt industriområde.

Generellt finns goda möjligheter att anpassa djupförvarets anläggningar ovan jord till lokala terrängförhållanden och önskemål. Om möjligt placeras alla funktioner inom ett och samma, inhägnade industriområde. Om underjordsdelen ligger sidoförskjutet relativt industriområdet kan en mindre ovanjordsanläggning med bl a personalutrymmen placeras vid ett kommunikationsschakt, rakt ovanför underjordsanläggningen, se Figur 4-2.

Arealbehovet, om hela anläggningen placeras på samma plats, beräknas till som mest ca 0,3 km² (30 hektar). Detta inkluderar en bangård för anslutande järnväg. Väljer man att enbart transportera på landsväg minskar arealbehovet. Vidare utgörs närmare hälften av det planerade markbehovet av upplag för de bergmassor (sprängsten) som kommer att sprängas ut under jord och därefter fraktas upp till ytan. Eventuell krossning kan ske redan under jord, eller senare i hanteringskedjan efter transporten till ytan. Sannolikt kommer en stor del av bergmaterialet att temporärt läggas på upplag för att senare återanvändas för återfyllning av djupförvarets tunnlar. Om bergmassorna i övrigt kan nyttjas för andra ändamål, på orten eller annorstädes, minskar markbehovet avsevärt. Avsättningsmöjligheterna för sprängsten för lokala behov är generellt sett goda, men varierar starkt från en plats till en annan.

I vad mån mark behöver tas i anspråk för nybyggnad eller upprustning av transportleder till djupförvaret beror givetvis helt av vart anläggningen lokaliseras. Nya vägar eller järnvägar kan ur intrångssynpunkt utgöra ett större bekymmer än själva anläggningen. I synnerhet järnväg är svår att bygga utan avsevärda miljöingrepp, eftersom kraven på rakhet och planhet begränsar möjligheterna att i detalj anpassa sträckningen.

5.2.2 Drift

Utsläpp till luft och vatten

Driften vid djupförvaret kommer att pågå under flera tiotals år (allt under förutsättning att kärnavfallsprogrammet fullföljs som planerat, se Figur 1-2). Som all annan industriverksamhet ger driften viss miljöpåverkan. Avsaknaden av egentlig industriprocess innebär dock att påverkan blir liten i förhållande till vad som är fallet för exempelvis processindustrier av motsvarande storlek.

Trafiken till och från djupförvaret ger ofrånkomligen upphov till avgaser och buller, både från lokal trafik vid anläggningen och från de långväga transporterna. Längd och sträckning på transportlederna är alltså betydelsefullt ur miljösynpunkt. Förutom avgaser från fordon och utluft från gängse ventilation är det svårt att se att verksamheten ovan jord skulle medföra några utsläpp till luften. Från driften under jord tillkommer spränggaser, som kan ge viss miljöpåverkan.

Dag- och avloppsvatten från anläggningarna renas på konventionellt sätt före utsläpp. Det grundvatten som läcker in i underjordsanläggningen kommer att pumpas upp till ytan, kontrolleras och renas med avseende på eventuella föroreningar såsom olja, bergdamm eller nitratkväve från sprängmedel. Erfarenheter från gruvor och Äspö-laboratoriet visar att den mängd grundvatten som behöver pumpas upp kan uppgå till någon kubikmeter per minut, vid fullt utbyggd anläggning. Om det uppfordrade grundvattnet är salt måste det avsaltas innan det släpps ut i en sötvattenrecipient.

Om djupförvaret är beläget under land kommer grundvattenytan att sänkas lokalt i samband med att schakt och tunnlar byggs och under djupförvarets driftstid. Hur stor sänkningen blir beror på hur väl utrymmen under jord tätas samt av en rad hydrogeologiska faktorer. Sänkningen kan påverka brunnar inom en eller några få kilometer från djupförvaret. Påverkan i jordtäcket och på växtligheten kan erfarenhetsmässigt förväntas bli ringa. Det kan dock inte uteslutas att känslig växtlighet nära schakt eller tunnelpåslag påverkas.

Olycksrisker

Verksamheten vid djupförvarets ovanjordsanläggningar får betraktas som okomplicerad jämfört med industriell verksamhet i allmänhet. Det är svårt att ange några tänkbara olyckor med svåra konsekvenser för miljön (olycksrisker i samband med transporter behandlas i avsnitt 4.2.2). Explosion av sprängämne eller gasol, eller brand i en tankbil eller bränsledopå är exempel på möjliga, svåra olyckor. Medan de mänskliga och materiella konsekvenserna av sådana olyckor kan bli katastrofala inskränker sig effekterna på miljön till tillfälliga utsläpp av rök och kemikalier.

5.2.3 Avveckling och återställande

Till de krav som ställs på djupförvaret hör att anläggningen efter fullbordad deponering skall kunna förslutas och lämnas. Om, och i så fall när, förslutning och återställning skall ske är ett beslut som måste tas av den generation som är verksam då driften av djupförvaret fullföljts. En avveckling innefattar också att byggnaderna ovan jord rivs och att platsen så långt möjligt återställs till ursprungligt skick. Efter att anläggningarna under jord förslutits kommer grundvattenytan efterhand att återgå till ursprunglig nivå. Denna återhämtning kan ta några tiotals år. Med undantag för förbud mot djupborring kommer det inte att finnas några restriktioner för markanvändningen på platsen.

5.2.4 Nord eller syd, kust eller inland?

Viktiga faktorer

När det gäller utsläpp till luft och vatten, och andra miljöeffekter kopplade till själva djupförvarsanläggningen och den verksamhet som skall bedrivas där, är det svårt att se några generella och betydelsefulla skillnader ur ”nord-syd-perspektiv”. Samma sak gäller för jämförelser mellan kust- och inlandslokaliseringar. Möjligen kan man peka på skillnader i recipientförhållanden mellan typiska kust- respektive inlandsförhållanden, men mot bakgrund av de ringa miljöeffekter som förväntas är dessa knappast betydelsefulla.

Med transportverksamheten förhåller det sig självfallet annorlunda. Med längre och mera komplicerade transporter följer ökade miljöeffekter. I det följande diskuteras dessa effekter översiktligt (säkerhetsmässiga och tekniska aspekter på transporterna redovisas i avsnitt 4.2.2). Vidare berörs vad en förläggning av djupförvarets underjordsdelar under havet skulle kunna innebära ur miljösynpunkt.

Miljöeffekter av transporter

Transportverksamheten påverkar miljön på i huvudsak två sätt:

- I samband med utbyggnad, i form av eventuella ingrepp för transportleder eller terminaler.
- Under såväl bygg- som driftperioderna, i form av avgaser och buller från fordon och fartyg.

Intrång

Kortare trafikanslutningar som förbinder djupförvarsanläggningen med det allmänna vägnätet, eventuellt också järnvägsnätet, kan knappast undvikas annat än om anläggningen förläggs i direkt anslutning till hamn eller någon befintlig industri med väl utbyggda kommunikationer. I en genomsnittlig mening ökar de sträckor för vilka om- eller nybyggnad av transportleder kan behövas med avståndet till kust. De ökar också mot norr, eftersom väg- och järnvägsnäten glesnar mot norr, se vidare avsnitt 4.2.2.

De konfliktrisker som finns i samband med att vägar eller järnvägar byggs är välkända. Det kan exempelvis röra sig om brist på ledig mark där trafikleder kan dras fram, intrång i värdefulla natur- eller kulturmiljöer, eller så kallade barriäreffekter för lokalt boende, friluftsentressen eller djurliv. Konfliktriskerna är allmänt sett större i tätbefolkade områden, och framförallt i områden som omfattas av någon form av formellt skydd av de slag som beskrivs i avsnitt 5.1.2.

Sammanfattningsvis är det, vid lokaliseringar som kräver nya trafikanslutningar, svårt att undvika ingrepp som ger någon grad av konflikt med andra markanvändningsintressen. Konfliktriskerna är större i södra Sverige än i norra, och i stora delar av landet

också större nära kusterna än i inlandet. Å andra sidan gäller precis det omvända när det gäller troliga behov av nya transportleder. Allt detta gäller enbart i ”genomsnittlig” bemärkelse, och behöver på intet sätt gälla i det enskilda fallet. Som många andra faktorer måste intrångs- och konfliktrisker bedömas från fall till fall, i första hand i samband med förstudier men också i senare undersökningsskeden.

Föroreningar

Såväl fartyg som vägfordon och dieseldrivna lok ger föroreningar via avgasutsläpp. Eldrivna lok kan däremot betraktas som emissionsfria (här bortses från eventuella föroreningar i samband med el- eller bränsleproduktion).

Med kännedom om de godsmängder som behöver transporteras till djupförvaret (se Tabell 4-1) och emissionsfaktorer för olika transportmedel kan man överslagsmässigt beräkna utsläppen av miljöstörande ämnen för olika transportsträckor till sjöss och på land. Vedertagna emissionsfaktorer som anger genomsnittliga utsläpp per enhet utfört transportarbete (anges vanligen i tonkilometer) för olika transportsätt och fordonskategorier finns tillgängliga från bland andra Naturvårdsverket. En sammanställning anpassad för SKB:s transportbehov har redovisats av Aggeryd och Aquilonius (1998).

Baserat på dessa emissionsfaktorer redovisas i Tabell 5-1 två hypotetiska beräknings-exempel, avsedda att ge en uppfattning om de utsläpp som avfallstransporterna till djupförvaret kan ge för olika lokaliseringsfall. Liksom för kostnadsberäkningarna i avsnitt 4.2.2 har exemplen hämtats från förstudierna i Malå och Nyköpings kommuner. Transportsträckor och andra förutsättningar ges i Tabell 4-2. De landtransporter som skulle bli aktuella i Malå-fallet antas ske på landsväg (SKB, 1996).

Tabell 5-1 avser endast transporterna av avfall från inkapslingsanläggningen vid CLAB till djupförvaret, samt returtransporten av tomma transportbehållare. Lokala transporter (personal, material, allmän försörjning m m) är inte medräknade. Dessa bedöms i och för sig få betydande omfattning (totalt sett större än avfallstransporterna) men är ganska lika för båda alternativen och därmed mindre intressanta ur jämförande synpunkt.

Skillnaderna i transportbehov för avfallet är däremot stora, eftersom Malå exemplifierar en avlägsen lokalisering i norra Sveriges inland, medan Nyköping representerar en lokalisering i kustläge i södra Sverige. Detta avspeglar sig också i utsläppsvolymer från transporterna. Även om värdena i tabellen skall ses som mycket ungefärliga kan man dra slutsatsen att exemplet Malå ger 5 à 7 gånger större, årliga utsläppsvolymer än exemplet Nyköping. Därtill kommer i Malå-fallet utsläpp av ämnen som endast uppkommer vid landtransport.

De miljöeffekter som transporterna av bentonitlera för buffertmaterial ger upphov till är svårare att beräkna, eftersom bentoniten sannolikt kommer att importeras sjövägen – från vilket land är ännu inte bestämt. Däremot kan man beräkna den *skillnad* i miljöbelastning som olika lokaliseringalternativ skulle ge. Ett exempel på detta visas i Tabell 5-2 som visar det ungefärliga *tillskott* i utsläppsvolymer som en lokalisering till Malå skulle ge, i jämförelse med en lokalisering till Nyköping. Exemplet förutsätter att

bentoniten importeras sjövägen via Öresund och Östersjön. De värden som anges svarar alltså mot det tillskott som fås i Malåfallet, på grund den längre sträckan till sjöss och tillkommande landtransporter. Tabellen visar att detta tillskott blir drygt hälften av de totala utsläppsvolymer som fås från transporter av avfall.

Andra faktorer som ytterligare skulle förstärka skillnaden mellan de två exemplen Malå och Nyköping är eventuella transporter av återfyllnadsmaterial (sand) samt mer eller mindre långväga transporter av byggnadsmaterial, besökare m m.

En viktig reservation i sammanhanget är att de exempel som redovisats bygger på dagens teknik vad gäller föroreningar från fartyg och fordon. Allmänt sker en snabb utveckling mot renare transportteknik. Särskilt för sjöfarten kan man inom en nära framtid förvänta sig kraftigt reducerade utsläpp, till följd av bättre avgasrening och övergång till miljövänligare bränslen.

Tabell 5-1. Föroreningar från avgasutsläpp vid transporter av avfall från inkapslingsanläggningen till djupförvaret. Beräkningsexempel från förstudierna i Malå och Nyköping. Tabellen visar utsläppsvolymer per år vid full drift och godsmängder enligt Tabell 4-1.

Ämne	Malå			Nyköping	
	Sjötransport, 800 km	Vägtransport, 160 km	Summa	Sjötransport, 150 km	Summa
SO _x (ton)	9,4	–	9,4	1,8	1,8
NO _x (ton)	10,4	2,1	12,5	1,9	1,9
CO ₂ (ton)	495	213	708	93	93
Partiklar (kg)	286	37	323	53	53
CO (kg)	–	235	235	–	–
HC (kg)	–	136	136	–	–

Tabell 5-2. Föroreningar från avgasutsläpp vid transporter av bentonit. Tabellen visar det årliga tillskott som en lokalisering till Malå kommun skulle ge, jämfört med en lokalisering till Nyköpings kommun.

Ämne	Sjötransport, 800 km	Vägtransport, 160 km	Summa
SO _x (ton)	5,4	–	5,4
NO _x (ton)	6,1	1,2	7,3
CO ₂ (ton)	285	123	408
Partiklar (kg)	165	21	186
CO (kg)	–	135	135
HC (kg)	–	78	78

De redovisade exemplen beaktar bara en del av det totala transportbehovet. Det framgår därmed inte hur stor skillnaden blir i relation till djupförvarets *samlade* transportbehov, inklusive lokala transporter, varuimport m m. Det totala transportbehovet kan inte beräknas med mindre än att lokala faktorer beaktas, exempelvis avstånd mellan djupförvaret och näraliggande tätorter. En allmän bedömning är att det transportarbete som erfordras lokalt (personal, material, allmän försörjning) är avsevärt större än vad som krävs för avfallstransporterna. I relativa termer är skillnaderna mellan en lokalisering nära respektive avlägset från inkapslingsanläggningen därför avsevärt mindre än vad tabellerna 5-1 och 5-2 indikerar.

Djupförvarets transportbehov bör också ses i relation till annan transportverksamhet i samhället. När det gäller transporter på väg har de utredningar som gjorts i förstudierna visat att transporterna av avfall och bentonit till djupförvaret motsvarar några få fordon per dygn (SKB, 1996; 1997a). Det tillskott som detta skulle ge till godstrafiken på vägarna är mycket blygsamt, även på glest trafikerade vägar. Motsvarande gäller för järnvägs- och sjötransporter. Transporterna till sjöss av allt gods till djupförvaret skulle, för att ta ett exempel, utgöra några promille att de totalt ca 20 miljoner ton gods som årligen hanteras i Norrlandshamnarna.

Ställd i relation till annan transportverksamhet i samhället skulle alltså den extra miljöbelastningen vid en lokalisering som kräver långa transporter bli mycket ringa. Huruvida detta tillskott ska bedömas som en viktig lokaliseringsfaktor eller ej beror ytterst på samhällets övergripande synsätt och inriktning vad gäller trafikens miljöpåverkan. Värderat utifrån dagens synsätt (såsom det avspeglar sig i samhällets politiska och juridiska hantering av miljöproblem) är det svårt att se transporternas miljöeffekter som någon viktig faktor ur perspektivet "nord-syd, kust-inland".

5.2.5 Förläggning under havet

Vid en förläggning under land och en utformning där underjordsdelen sidoförskjuts i förhållande till ovanjordsdelen byggs sannolikt schakt för ventilation och persontransporter, liksom en mindre anläggning rakt ovanför förvaret (se Figur 4-2). En sådan utformning kan påverka miljön, utanför det egentliga industriområdet, på två sätt:

- Sänkning av grundvattenytan under utbyggnads- och driftsskedena.
- Markintrång och störningar av landskapsbilden, p g a anläggningsdelar placerade vid kommunikationsschakt, samt väganslutningar till dessa.

En förläggning under havet utesluter uppenbarligen dessa former av miljöpåverkan (möjligen med undantag för grundvattensänkning ovanför de avsnitt av tillfartstunnlarna som är belägna under land). Dessa fördelar med förläggning under havet kan i ett specifikt fall vara mycket betydelsefulla, exempelvis vid en lokalisering till ett kustområde med känsliga naturvärden. Det finns också miljömässiga nackdelar, om än mindre uppenbara. Dit hör de många extra fordonsburna transporter som daglig kommunikation via tunnel medför, jämfört med kommunikation via schakt.

5.3 Sammanfattande bedömning – mark och miljö

Större landområden som är av riksintresse för naturvärden återfinns till stor del inom fjällkedjan, omkring större sjöar, längs älvar samt i kust- och skärgårdsområden. Naturskyddsaspekterna kan, beroende på skyddsvärde och andra omständigheter, begränsa lokaliseringmöjligheterna i större eller mindre grad. För stora delar av landet gäller att begränsningarna är väsentligt större i kustregionen än i inlandet. Naturresurslagens särskilda hushållningsbestämmelser innebär också avsevärda restriktioner vad gäller etableringar av industrianläggningar, särskilt längs kusterna i södra delen av landet.

I övrigt är efterfrågan på mark för olika ändamål (bebyggelse, jordbruk, rekreation, friluftsliv m m) starkt kopplad till befolkningstätheten. "Efterfrågetrycket" på mark är därför större i södra Sverige än i norra, och större i kustregionerna än i inlandet. Den bättre marktillgången i norr, respektive i inlandsområden, kan ge viktiga lokaliseringsfördelar. Å andra sidan finns det potentiellt viktiga fördelar med en lokalisering till en mera tätbefolkad region. Det gäller inte minst tillgången till infrastruktur, industrimark och allmän industriell kapacitet, som generellt sett är bättre i tätbefolkade områden. Möjligheterna till lokal upphandling, rekrytering och långsiktig kompetensförsörjning är andra frågor som är knutna till befolkningsfördelning och näringsliv. Djupförvaret är en industri som skall drivas med mycket höga kvalitetskrav under lång tid. En omgivning som ger goda förutsättningar för rekrytering och stabil kompetensförsörjning är därför ett viktigt kvalitetskrav.

När det gäller inverkan på miljön från byggande och drift av djupförvaret är det svårt att se några generella skillnader ur perspektiven nord-syd, eller kust-inland. En förläggning under havet kan vara ett ur intrångssynpunkt gynnsamt alternativ, exempelvis vid en lokalisering i ett kustområde med känsliga naturvärden. Allmänt gäller dock att förutsättningarna vad avser mark och miljö måste utvärderas i lokal skala, inte utifrån generella överväganden.

Miljöpåverkan av transporter till djupförvaret ökar naturligt nog med avståndet från den planerade inkapslingsanläggningen. Sett i relation till annan transportverksamhet i samhället blir dock effekterna av transporter till djupförvaret, oavsett lokaliseringsort, mycket ringa.

6 Slutsats

Utredningen leder till slutsatsen att det, utifrån generella jämförelser och överväganden i översiktlig skala, inte går att prioritera varken de norra eller de södra delarna av landet med avseende på förutsättningar för en lokalisering. Bedömningar av lämpligheten måste istället grundas på studier av konkreta områden. Det är en följd av att många viktiga lokaliseringsfaktorer uppvisar stora lokala variationer. Samma slutsats gäller för jämförande värderingar av lokaliseringsförutsättningar i kustområden, respektive i inlandet. En förläggning av djupförvaret under havet kan i sammanhanget ses som en specialvariant av en lokalisering till ett kustläge. Denna variant har för- och nackdelar, men kan varken förordas eller avfärdas på allmänna grunder.

De bästa argumenten för att den generella slutsatsen ovan är riktig kan hämtas från de förstudier av enskilda kommuner som gjorts eller pågår. Förstudierna har i två fall avsett kommuner i Norrlands inland (Storuman och Malå) och i två fall kommuner längs ostkusten i södra delen av landet (Östhammar och Nyköping). I alla dessa kommuner har man, vid en samlad bedömning i den skala som förstudierna representerar, kunnat identifiera områden som framstår som intressanta för vidare lokaliseringsstudier.

7 Referenser

- Aastrup, M, Thunholm, B, Johnson, J, Bertills, U och Berntell, A, 1995.** Grundvattnets kemi i Sverige. Naturvårdsverket, Rapport 4415.
- Ageskog, L och Renström, P, 1997.** Studie av temperaturutvecklingen kring kapseln som underlag vid val av kapselstorlek. SKB PPM 97-3420-26.
- Aggeryd, I och Aquilonius, K, 1998.** Systemanalys – Icke radiologisk miljöpåverkan. SKB Rapport R-98-07.
- Ahlbom, K and Smellie, J A T (eds.) 1989.** Characterization of fracture zone 2, Finnsjön study site. SKB Technical Report TR 89-19.
- Ahlbom, K, Olsson, O and Sehlstedt, S, 1995.** Temperature conditions in the SKB study sites. SKB Technical Report TR 95-16.
- Ahlbom, K, Äikes, T and Ericsson, L O, 1991.** SKB/TVO ice age scenario. SKB Technical Report TR 91-32.
- Andersson, C, 1998.** Compilation of information on the climate and evolution of the hydrochemical and isotopic composition during Late Pleistocene and Holocene. SKB Rapport R-98-02.
- Berger, A and Loutre, M F, 1996.** Sensitivity of the LLN 2-D model to the astronomical and CO₂ forcings from 200 kyr BP to 130 kyr AP. Institut d'Astronomie et de Géophysique Georges Lemaitre. Scientific Report 1996/1.
- Ekdahl, A-M och Pettersson, S, 1998.** Säkerheten vid transport av inkapslat bränsle. SKB Rapport R-98-14.
- Follin, S, 1995.** Geohydrological simulation of a deep coastal repository. SKB Technical Report TR 95-33.
- Grip, H och Rodhe, A, 1985.** Vattnets väg från regn till bäck. Forskningsrådets förlagstjänst, Stockholm.
- Hakami, E, Olofsson, S-O and Hakami, H, 1998.** Global thermo-mechanical effects from a KBS-3 type repository. Summary report. SKB Technical Report TR 98-01.
- Hays, J D, Imbrie, J and Shackelton, N J, 1976.** Variations in the earth's orbit: pacemaker of the ice ages. Science, 194, 1121–1132.
- Hedin, A, 1997.** Använt kärnbränsle – hur farligt är det? SKB Rapport R-97-02.

Imbrie, J and Imbrie, J Z, 1980. Modelling of climatic response to orbital variation. *Science*, 207, 943–953.

King-Clayton, L, Chapman, N, Ericsson, L O and Kautsky, F (eds.) 1997. Proc. Workshop on Glaciation and Hydrogeology. SKI Report 97:13.

Karnland, O, 1997. Bentonite swelling pressure in strong NaCl solutions. SKB Technical Report TR 97-31.

Kukla, G, 1979. Probability of expected climate stresses in North America in the next one M. Y. In: Scott, Craig, Benson, Harwell (eds). A summary of FY-1978 consultant input for scenario methodology development. Pacific Northwest Laboratory of Battelle Memorial Inst. PNL-2851.

La Pointe, P, Wallman, P, Thomas A and Follin, S, 1997. A methodology to estimate earthquake effects on fractures intersecting canister holes. SKB Technical Report TR 97-07.

Lagerbäck, R, 1990. Late Quaternary faulting and paleoseismicity in northern Fennoscandia, with particular reference to the Lansjärv area, northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 12.

Leijon, B and Ljunggren, C, 1992. A rock mechanics study of fracture zone 2 at Finnsjön. SKB Technical Report TR 92-28.

Lindblom, U, 1997. Hydromechanical instability of a crystalline rock mass below a glaciation front. SKB Project Report U-97-13.

Lindewald, H, 1985. Salt grundvatten i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden nr 39.

Muir Wood, R, 1993. A review of the seismotectonics of Sweden. SKB Technical Report TR 93-13.

Müllern, C-F och Thunholm, B, 1998. Djupt, salt grundvatten i Sverige. Rapport utarbetad på uppdrag av SKB.

Pettersson, L och Ringi, M, 1997. Använt kärnbränsle – Transporter. SKB Rapport R-97-22.

Påsse, T, 1996. A mathematical model of shore level displacement in Fennoscandia. SKB Technical Report TR 96-24.

Påsse, T, 1997. A mathematical model of past, present and future shore level displacement in Fennoscandia. SKB Technical Report TR 97-28.

Rhén, I, Bäckblom, G, Gustafson, G, Stanfors, R och Wikberg, P, 1997. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/2. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Summary Report. SKB Technical Report TR 97-03.

SKB, 1995a. FUD-program 95. Kärnkraftsavfallets behandling och slutförvaring. Program för inkapsling, geologisk djupförvaring samt forskning, utveckling och demonstration. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1995b. Översiktsstudie 95 – Lokalisering av djupförvar för använt kärnbränsle. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1995c. Förstudie Storuman, Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1996. Förstudie Malå, Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1997a. Förstudie Östhammar, Preliminär slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1997b. Förstudie Nyköping, Preliminär slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKI, 1996. SKIs utvärdering av SKBs FUD-program 95, Gransknings-PM. SKI rapport 96:48.

Skårman, C and Laaksoharju, M, 1998. Cross-prediction of the groundwater chemistry at the SKB sites in Sweden. Pilot study. SKB Rapport R-98-01.

Stanfors, R and Ericsson, L O, 1993. Post-glacial faulting in the Lansjärv area, Northern Sweden. Comments from the expert group on a field visit at the Molberget post-glacial fault area, 1991. SKB Technical Report TR 93-11.

Ström, A, Almén, K-E, Andersson, J, Ericsson, L O och Svemar, C, 1998. Geovetenskapliga värderingsfaktorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB Rapport R-98-20.

Sundberg, J, 1995. Termiska egenskaper för kristallint berg i Sverige. Kartor över värmekonduktivitet, värmeledning och temperatur på 500 m djup. SKB Projektrapport PR D-95-018.

Thunvik, R, 1995. Heat propagation from a radioactive waste repository. Sensitivity analysis of thermal and design parameters. SKB Arbetsrapport AR D-95-015.

Vallander, P och Eurenus, J, 1991. Impact of a repository on permafrost development during glaciation advance. SKB Technical Report TR 91-53.

Wallroth, T, 1997. Vad betyder en istid för djupförvaret? En delrapport från projektet "Beskrivning av risk". SKB Rapport R-97-11.