

3 Urberget - en bra miljö för ett säkert slutförvar för använt kärnbränsle¹

3.1 Inledning

Det svenska urberget har sedan i början av 1980-talet varit huvudalternativet som plats för ett slutförvar för det använda kärnbränslet från de svenska kärnkraftverken. Någon metod har ännu inte slutgiltigt godkänts, men huvudalternativet är liksom i de flesta andra länder en "geologisk slutförvaring". Tanken är att berggrunden på några hundra meters djup skall erbjuda en stabil omgivning till ett förvar för det inkapslade använda kärnbränslet. Under hundra tusen år skall sedan förvaret skydda människor och natur från de radioaktiva ämnen som finns i kärnbränslet.

I detta kapitel vill vi försöka redovisa kunskapsläget för den prekambrisk berggrunden i Skandinavien. I debatten hamnar man snabbt i spekulativa diskussioner om t.ex. tidpunkten för en kommande istid, möjligheterna för ett framtida jordskalv, de klimatologiska förutsättningarna för permafrost etc. Berggrundens beskaffenhet är av avgörande betydelse i alla dessa sammanhang.

Debatten har varit livlig beträffande lokaliseringen av ett slutförvar. Konsekvenserna av ett framtida läckage och även hur väl de olika barriärerna kommer att fungera i ett längre perspektiv har undersökts.

De barriärer som ingår i det planerade slutförvaret är – förutom bränslet självt i sina kapslingsrör – kapseln som det använda

¹ Kapitlet har utarbetats vid Institutionen för geovetenskaper, Göteborgs universitet, av Prof. Jimmy Stigh (ledamot i KASAM) och Prof. Sven Åke Larson.

bränslet förvaras i, bentonitleran som omger kapseln samt berggrunden, som förvarar både bentoniten och kapseln. Barriärerna fungerar på olika sätt. Kapseln stänger in de radioaktiva ämnena, bentonitleran begränsar och fördröjer utsläppet om kapseln skulle börja läcka och slutligen svarar berggrunden för det långsiktiga skyddet. Berggrunden är således den sista länken i en "flerbarriärkedja" om alla andra barriärer skulle brytas igenom. Radioaktiva ämnen skulle då tränga igenom bentonitleran för att slutligen komma ut i grundvattnet i berget. Grundvattnets rörelser och sammansättning är således av stor vikt för spridning av dessa ämnen. Sammansättningen påverkar både bränsleupplösningen och transporten av de radioaktiva ämnena genom berggrunden. Lösta ämnen i grundvattnet kan ge upphov till korrosion och grundvattnets sammansättning påverkar således kapselmaterialets korrosion. Berggrunden är också av betydelse som "uppsamlingsfilter" för de radioaktiva ämnena, eftersom olika mineral i berggrunden har förmågan att binda många av de radioaktiva ämnen som ej fångas upp i de övriga barriärerna. Grundvattnet, som transporterar dessa ämnen rör sig längs sprickor i berget. Ämnena kan fastna eller transporten fördröjas så att den radioaktiva strålningen minskar innan markytan nås.

3.2 Tidsaspekter

En avgörande faktor är förvarets stabilitet under en mycket lång tidsperiod – närmare 100 000 år. Denna tidsperiod kan tyckas oändlig i ett mänskligt perspektiv, men är i ett berggrundsperspektiv mycket kort. Den svenska geologiska historien går långt tillbaka i tiden. Merparten av Sveriges berggrund är 1 500 – 2 000 miljoner år gammal.

Hur kan man då veta att vissa delar av vår berggrund har den aktningvärda åldern av mer än tusen miljoner år? Det är idag möjligt att åldersdatera en bergart med hjälp av radioaktiva ämnen

genom att mäta sönderfallet av t.ex. uran till bly eller av rubidium till strontium.

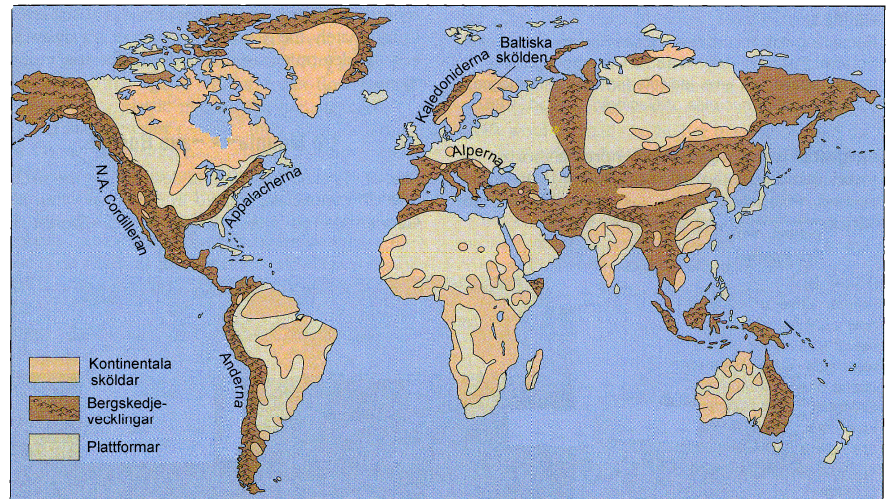
För att i någon mån få en uppfattning om dessa enorma tidsrymder, låt oss översätta jordens ålder (ca 4 600 miljoner år) till ett dygn. Varje timme motsvarar då ungefär 200 miljoner år. De flesta av Sveriges bergarter bildades för åtta till tio timmar sedan. Den senaste istiden började för några sekunder sedan.

3.3 Berggrunden

Vår bedömning av berggrundens betydelse för förvarets långsiktiga stabilitet är relaterad till kunskapsläget om vår prekambrika berggrund. Man utgår ofta från resonemanget att berggrunden förblir stabil i ett hundratusenårigt perspektiv. Det finns ett stort antal faktorer som kan påverka ett slutförvar av utbränt kärnbränsle. Dessa faktorer kan beskrivas dels som egenskaper och processer inbyggda i själva förvaret och dels som yttre händelser. Den första gruppen innefattar bland annat avfallens radioaktivitet, korrosion av materialet samt grundvattnets strömning och sammansättning. De yttre händelserna omfattar t.ex. istider, förkastningar i berggrunden, permafrost, förändringar av havsytan och grundvattenytan samt mänsklig påverkan av grundvattnet eller ett direkt mänskligt intrång i slutförvaret.

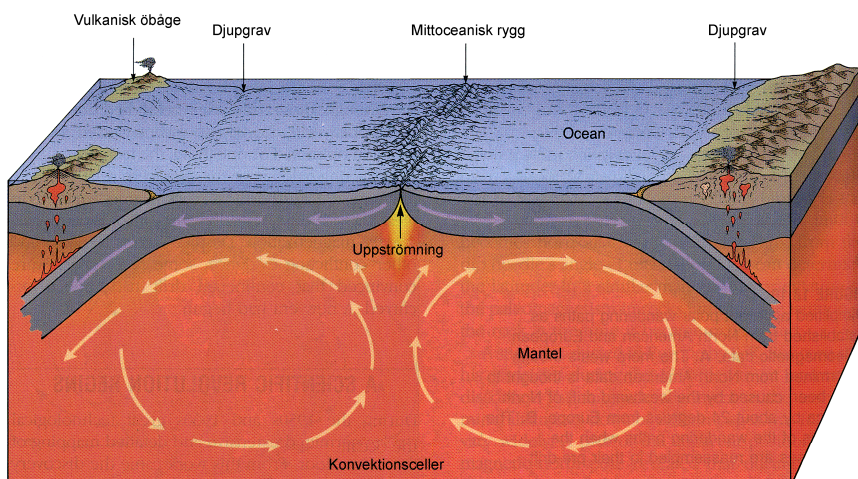
Den avgörande faktorn för ett framtida slutförvar inom landets gränser är tillgången till en stabil berggrund. Stabiliteten avgörs av i vilket "plattetektoniskt läge" man befinner sig. Plattetektoniken är processen som innefattar de mitt-oceana ryggarna som spridningszoner, där ny oceanbotten bildas vulkaniskt och där jordskorpanns olika plattor skjuts vinkelrätt från dessa ryggar för att i de s.k. subduktionszonerna försvinna ner mot de inre delarna av jordklotet (Fig.1). Processen förklaras med konvektionsströmning i manteln under den spröda jordskorpan. Unga oceanbottnar och gamla kontinenter har en lägre densitet (täthet) än den underliggande manteln och kontinenterna med en densitet på ca 2.6

g cm^3 “flyter passivt med” de aktiva oceanplattorna. Detta betyder att berggrunden är som mest stabil ju längre bort från en aktiv plattmarginal (mittoceanisk rygg eller subduktionszon) man kommer. Kontinentala, centralt belägna berggrundsområden inom en platta benämns sköldområden. Exempel på detta är den s.k. Baltiska (Fennoskandiska) skölden till vilken Sverige hör.



Figur 1 Sköldområden och bergskedjor. Från Tarbuck och Lutgens (1993)

Teorin om platttektonik utvecklades av Alfred Wegener som 1915 utkom med “Die Entstehung der Kontinente und Ozeane”. Wegener konstaterade att kontinenterna för 200 miljoner år sedan har bildat en stor superkontinent (Pangea). Därefter delades denna till dagens kontinenter, som därefter har förflyttats till sina nuvarande positioner (Fig.2). Wegener hade emellertid ett stort problem, nämligen att förklara vilken process som låg bakom denna horisontella förflyttning av kontinenterna.



Figur 2 Plattekonisk modell. Från Tarbuck och Lutgens (1993)

På 1960-talet, då geologin tog ett mycket stort steg framåt med den ökade kunskapen om mitt-oceaniska ryggar, subduktionszoner och bergskedjebildning, kunde denna horisontalflyttning av kontinenterna förklaras med konvektion i manteln (Fig. 2).

3.3.1 Baltiska skölden

Den Baltiska skölden (Fig. 3) sträcker sig från Kolahavön i nordost över Finland och Sverige till Sydnorge i sydväst. Med begreppet sköldområde menas ett område där prekambrisk bergarter (äldre än ca 600 miljoner år) går i dagen och där ingen bergskedjeveckning inträffat de sista cirka 600 miljoner åren. Denna tidsperiod sammanfaller med Fanerozoikum (Fig. 4); den tid under vilken högre utvecklade organismer funnits på jorden

Gemensamt för jordens sköldområden är att de uppvisar en lång och komplicerad utveckling under prekambrisk tid.

Kontinental jordskorpa (krusta) måste redan ha funnits för ca 4 300 miljoner år sedan. Den allra äldsta s.k. arkeiska berggrunden finns i dag endast kvar som fragment och därför är dess utbredning och historia dåligt känd. De äldsta kända och daterade bergarterna på jorden tillhör det kanadensiska sköldområdet och är ca 4 000 miljoner år gamla. Trots avstånden mellan jordens sköldområden (Fig. 1) finns det betydande likheter dem emellan. Grenvilleprovinsen i de östra delarna av Labradorhalvön i Kanada uppvisar t.ex. stora likheter med Sydnorges och sydvästra Sveriges berggrund. Det är därför naturligt att tänka sig att dessa bergartskomplex ursprungligen har varit gemensamma och därefter skilts åt genom platttektoniska rörelser. Detta faktum bekräftas av andra metoder för att utröna plattornas tidigare inbördes lägen.

De äldsta delarna av den Baltiska skölden (Fig. 3) består av ca 3 000 miljoner år gamla bergarter som uppträder i Nordnorge, östra Finland och västra Ryssland. Betydligt yngre är berggrunden i sydväst där den är ca 1 000 till 1 600 miljoner år.

I Skåne är de prekambrisk sköldbergarterna pålagrade av fanerozoiska sedimentära bergarter (Fig.4). En tektonisk zon som går i nordväst-sydostlig riktning från Svarta Havet till Skagerack benämns i Sverige Tornquistlinjen och är en viktig tektonisk linje med förkastningsrörelser som ägde rum under fanerozoikum.

Den Skandinaviska fjällkedjan (Kaledoniska bergskedjan), som bildades för ca 400 miljoner år sedan, täcker den västra delen av Baltiska skölden.

Beroende på ålder och geologisk utveckling har den Baltiska skölden indelats av Lundqvist (se "Lästips") i fem provinser: Arkeiska provinsen, Svekokarelska provinsen, Transkandinaviska magmatiska bältet, Sydvästskandinaviska provinsen och Blekinge-Bornholmsprovinsen (Se fig. 3).

Eon	Era	Milj. år	
Fanerozoikum	Kenozoikum	66	
	Mesozoikum	245	
	Paleozoikum	570	
Prekambrium	Proterozoikum	Sen	900
		Mellan	1600
		Tidig	2500
	Arkeikum	Sen	3000
		Mellan	3400
		Tidig	3800
			4600

Figur 4 Geologisk tidskala. Från Tarbuck och Lutgens (1993).

3.3.2 Arkeiska provinsen

I den allra nordligaste delen av Sverige förekommer arkeiska gnejser som är drygt 2 800 miljoner år gamla. Dessa, av tryck- och temperatur omvandlade s.k. metamorfa bergarter uppträder i bland annat Råstojaurekomplexet i norra Lappland. Den sydligaste kända förekomsten av arkeiska bergarter finns i ett område i trakten av Luleå. Dessa uppträder som brottstycken av arkeisk jordskorpa och kan följas i ett nord-sydligt stråk. Ett intressant spørsmål är huruvida äldre arkeiska bergarter underlagrar de i söder förekommande yngre bergarterna. Man anser numer att en linje från området mellan Piteå och Luleå till Jokkmokk utgör den sydvästra gränsen för den äldsta arkeiska berggrunden på djupet. Söder därom förekommer således ingen arkeisk berggrund.

3.3.3 Svekokarelska provinsen

Den Svekokarelska provinsen har, i jämförelse med den i norr förekommande äldsta gnejsberggrunden, en mycket stor geografisk utbredning (Fig.3). Geologiskt indelas provinsen i två stora delprovinser, den Karelsk-lapponiska och den Sveko-fenniska.

Den förstnämnda, som sträcker sig från västra Karelen till finska Lappland och nordligaste Sverige, inbegriper sedimentära och vulkaniska bergarter som avlagrats långt tillbaks i tiden på den kontinentalsockel som skulle bli den norra delen av den Baltiska skölden. I den Karelsk-lapponiska delprovinsen förekommer stora intrusioner av främst granitiska och basiska bergarter.

De Svekofenniska ytbergarterna med en ålder på mellan 1 950 och 1 880 miljoner år genomslås av granitiska bergarter som i stort är likåldriga med ytbergarterna. I två stora regioner, Bergslagen och Skelleftefältet-Kirunaområdet, domineras de Svekofenniska ytbergarterna av vulkaniska bergarter och inslaget av sedimentära kalkstenar, lerskiffrar, sandstenar är mer underordnat. I det mellanliggande området, den Bottniska bassängen i centrala

Sverige med en fortsättning in i Finland på andra sidan Bottenhavet, finns mäktiga avsättningar av gråvackor och lerskiffrar. (*Gråvacka är en grå, oren sandsten som bildats av mestadels sand men även lera ingår*).

De Svekofenniska och Karelsk-lapponiska sedimentära och vulkaniska bergarterna i Sverige och i Finland har intruderats av mycket stora volymer av djupbergarter, dvs. bergartsmältor (magmor) som kristalliserat nere i berggrunden. Alltefter relationerna till den Svekokarelska bergskedjebildningen, för ca 1 890–1 800 miljoner år sedan, indelas dessa bergarter i tidigorogena, dvs. bildade tidigt i bergskedjeveckningen, senorogena, (bildas sent under bergskedjeveckningen), postorogena (bildas efter bergskedjeveckningen) och anorogena dvs. intrusivbergarter som ej är relaterade till bergskedjeveckningen utan till tensionsrörelser (riftbildning), som kan ha uppstått på grund av andra processer.

Stora arealer täcks av graniter av S-typ, I-typ och A-typ. S-typ graniterna är bildade genom att sedimentära bergarter har smält och bildat granitiska magmor. Dessa graniter är normalt pegmatitrika (dvs. har inslag av mycket grovkorniga granitliknande bergarter). I-typ graniterna är bildade vid uppsmältning av magmatiska bergarter och A-typ graniterna är relaterade till det anorogena stadiet. Graniter av sistnämnda typ representeras i Sverige främst av de s.k. rapakivigraniterna, som är de yngsta graniterna, och som oftast är röda och jämnkornigt strökornsförande. Dessa graniter anses bildade i understa delen av jordskorpan genom uppsmältning av äldre granitliknande bergarter och har intruderat längs rörelsezoner som nått ner till gränsen mellan jordskorpan och manteln. Rapakivigraniternas ålder är bestämd till mellan 1 650 och 1 470 miljoner år. Dessa graniter hänger samman med basiska djupbergarter (gabbro) och med basiska gångbergarter (diabaser).

Bergarter som har bildats på den redan deformerade jordskorpan yta (suprakrustala bildningar) påträffas i flera områden i den Svekokarelska provinsen. Dessa ytbergarter består av röda sandstenar, konglomerat och lerskiffrar och benämns jotniska. Betydande utbredning har dessa jotniska sandstenar på Bottniska

vikens och norra Östersjöns botten, i västra Finland och i Dalarna-Härjedalen, Nordingrå, Gävle och Mälaren.

3.3.4 Transskandinaviska magmatiska bältet

Väster om den Svekokarelska provinsen förekommer ett stort bälte av granitbergarter och vulkaniska ytbergarter (porfyrer) som sträcker sig i nord-syd. Den engelska benämningen på detta bälte är "Transscandinavian Igneous Belt" (TIB). Bältets södra delar utgörs av enormt stora massiv av Småland-Värmlands-graniter som fortsätter in i Norge. Graniterna har åldrar mellan 1 850 och 1 650 miljoner år, där de flesta är omkring 1 800 miljoner år gamla. De yngre Smålands-Värmlandsgraniterna påträffas i västra delen av utbredningsområdet och i anslutning till en nord-sydlig deformationszon, den s.k. Protoginzonen, blir graniterna mer förskiffrade. Smålands-Värmlandsgraniterna visar en stor variation i kornstorlek och färgen är vanligen rödaktig. Normalt är Smålandsgraniterna massformiga men kan ställvis visa en parallellstruktur.

Stora arealer inom TIB domineras av vulkaniska ytbergarter som är relaterade till de olika granitgenerationerna. Basiska bergarter som t.ex. gabbro ger på många ställen upphov till en hybridisering med granitmagmorna och dessa är generellt mer magnetiska än graniterna och de vulkaniska ytbergarterna. Därför framträder de basiska bergarterna tydligt på flygmagnetiska kartor.

Graniter tillhörande TIB uppvisar ett spricksystem med sprickplan som ligger någorlunda vinkelrätt mot varandra. Dessa uppvisar normalt ett tydligt blockmönster med större eller mindre "bergplintar" som följd och har på flera håll brutits som ornamentsten.

3.3.5 Sydvästskandinaviska provinsen

Väster om TIB dominerar gnejser som tillhör den sydvästskandinaviska provinsen. Denna provins omfattar en berggrund som deformerats och omvandlats vid den Svekonorvegiska bergskedjebildningen för ca 1 150–900 miljoner år sedan. Provinsens östra gräns sammanfaller i stort med östra delen av Protoginzonen som är en stor skjuv- och förskiffringszon. Berggrunden har genomgått flera deformationsfaser i samband med bergskedjebildning och visar således en markant omvandling (metamorfos). Sydvästskandinaviska provinsen utgör på grund av detta en mycket komplex berggrund.

Berggrunden domineras vanligen av ådrade, röda och grå gnejser med en ålder av ca 1700 - 1600 miljoner år. Gnejserna är till större delen bildade från granitmagmor, men kan ha sitt ursprung även från sedimentära bergarter. Gnejserna sammanfattades i äldre tider under beteckningen "järngnejser". Beteckningen härrör från den obetydliga halt av malmmineralet magnetit, som karaktäriserar vissa av gnejserna, särskilt de rödaktiga varianterna. Strukturen är bandad och förskiffrad och i detta begrepp inkluderas alla typer av planparallella strukturer som uppkommit genom mineralorientering i minsta tryckriktningen. Bergarterna låter sig lätt klyvas utmed dessa förskiffringsytor. Mineralogiskt dominerar plagioklas, kvarts, kalifältspat och glimmer. (*Plagioklas, kalknatronfältspat, är en grupp fältspatmineraller, oftast gråvita till färgen, som består av en blandning av natriumaluminiumsilikat och kalciumaluminiumsilikat*).

De granitiska gnejserna, som dominerar den Svekonorvegiska provinsens berggrund har betydande inslag av ytbergarter i form av ca 1 600 miljoner år gamla sedimentbergarter (gråvackor) med inlagringar av basiska vulkaniter. Dessa s.k. Stora Le-Marstrandsgruppens bergarter i väster avlöses österut av den endast obetydligt äldre Åmålsgruppens ytbergarter. Yngre (minst 1 030 miljoner år) sedimentära och vulkaniska bildningar förekommer i Dalsland i den s.k. Dalformationen.

3.3.6 Blekinge-Bornholmsprovinsen

Berggrunden i Blekinge utgörs av mellan 1 800 och 1 400 miljoner år gamla bergarter. I norr övergår dessa i Smålandsgraniter tillhörande TIB. Längs den öst-västliga gränsen mellan Blekinges berggrund i söder och Smålands berggrund i norr, kan betydande rörelser ha ägt rum. I väster skiljer Protoginzonen Blekingeprovinen från den sydvästskandinaviska gnejsterrängen. Yt- och granitberggrunden i Blekinge saknar den sydvästskandinaviska berggrundens Svekonorvegiska överprägling och är således mindre deformerad och omvandlad. De mest betydande bergartsleden är vulkaniska- och sedimentära bergarter tillhörande Västanågruppen, en grå, medelkornig, oftast markant linjärstrukturerad (stänglig) granitisk gnejs (Blekinge kustgnejs) samt tämligen odeformerade graniter (Karlshamn-Spinkamåla-Vångagruppen).

I nord-sydgående sprickplan har yngre vertikalt genomslående diabasgångar (Blekinge-Dalagångarna) trängt in och dessa tillhör ett system av diabasgångar som fortsätter norrut till Dalarna.

3.4 Berggrunden som slutförvar

Det svenska urberget erbjuder en miljö som borde kunna ge lämpliga förutsättningar för geologisk slutförvaring av använt kärnbränsle. För att ge ett mekaniskt- och geohydrologiskt skydd samt geokemiskt goda förutsättningar tänker man sig förvaret på cirka 500 meters djup i berggrunden. Där nere är

- förvaret skyddat mot vanligen förekommande ingrepp från markytan som brunnsborrning, schaktningsarbeten, vägbyggen och dylikt samt från den frostsprängning och erosion som förekommer under en istid;
- den mekaniska och kemiska miljön stabil;

- grundvattnet fritt från löst syre;
- grundvattenrörelsen långsam i sprickorna inne i bergplintarna och
- grundvattnets väg till markytan lång och därmed sker ett stort utbyte mellan vatten och berg.

Det syre som finns löst i den nederbörd som infiltrerar berggrunden förbrukas av bakterier i den översta delen av berggrunden. Längre ned i berget är grundvattnet fritt från sådant löst syre. Detta är viktigt, eftersom i bränslet är svårlösligt och koppar är kemiskt stabilt i syrefritt vatten.

En långsam grundvattenrörelse och en stor kontaktyta mellan grundvattnet och berget bidrar till att stabilisera grundvattnets kemiska egenskaper och till att fördröja radionuklidernas transport med grundvattnet.

Utöver dessa centrala egenskaper är det viktigt att undvika risker för framtida intrång genom att lokalisera förvaret i berg av en vanligt förekommande typ, som inte innehåller malmer eller mineral vilka i framtiden kan tänkas bli intressanta för exploatering.

De geologiska aspekterna är huvudsakligen förknippade med förvarets funktion och säkerhet, men geologin är också av betydelse för själva byggandet av förvaret i den meningen att det finns en koppling mellan förvarets utformning och placering i berget. Ett djupförvars långsiktiga funktion och säkerhet måste bedömas utifrån den aktuella platsen och i den skala som här är relevant. Förvaret beräknas kräva en area av cirka 1 km².

Bergarternas egenskaper och kvalitet – en funktion av deras geologiska historia

Berggrundens mekaniska stabilitet grundar sig på bergarten/arternas mineralogiska sammansättning och struktur i form av ytor som uppkommit genom mineralorientering (förskiffringsytor), ytor som har bildats på grund av rörelser i berget (förkastningsytor) och

sprickgeometri. Relationen mellan av olika i berggrunden ingående bergarter är också viktig. En inhomogen berggrund med flera ingående bergarter ger generell sämre förutsättningar. Gynnsamma förhållanden avseende mekanisk stabilitet för ett slutförvar är normala bergspänningar och värmeledningsegenskaper samt att berggrunden är homogen. Negativa förhållanden är anomala spänningar eller dåliga hållfasthetsegenskaper, som missgynnar den mekaniska stabiliteten. En stark heterogenitet, exempelvis lokala inslag av avvikande bergarter, kan sätta ned hållfastheten och göra delar av berget oanvändbara. Sådana inslag på djupet kan vara svåra att upptäcka med ett begränsat antal borrhål, och då kan fel slutsatser dras av platsundersökningarna om bergets lämplighet för ett slutförvar.

Bergartsfördelningen kan redovisas i olika skalor allt från riksperspektiv till platsspecifika detaljkartor. De regional-geologiska kartorna (1:250 000) ger enbart bergartsfördelningen i stort samt läget för större deformationszoner. Kunskap om platskaraktäristiska egenskaper såsom bildningssätt, mineral-sammansättning, kornstorlek, textur och bergartens struktur kräver en mer detaljerad kartering. Seismiska förhållanden i ett riksperspektiv kan kartläggas med kända databaser som även översiktligt belyser frekvens och fördelning av ytnära jordskalv. Även framtida utbredningar av nedisningar och permafrost kan kartläggas i översiktlig form med utgångspunkt från befintliga glaciationsmodeller.

Stora jordbävningar med förödande konsekvenser inträffar längs aktiva plattgränser (spridningsryggar och subduktionszoner) där större bergspänningar kan byggas upp och momentant lösas ut (jfr Fig. 1). De jordskalv som registrerats med seismografer i den Baltiska skölden sedan början av förra århundradet har varit relativt små. Detta är ingen tillfällighet. De spänningar i berggrunden, som i vår tid byggs upp av trycket från den Nordatlantiska ryggen och av landhöjningen, växer långsamt. Vår mycket gamla berggrund innehåller överallt sprickor av olika ålder, storlek och riktning. Rörelser i berggrunden utlöses i första hand längs dessa. Om

bergspänningarna växer långsamt och det finns talrika sprickor blir de rörelser som behövs för att avlasta spänningen små och jordbävningarna därmed också små.

Läget är ett annat när en mäktig inlandsis smälter inom en geologiskt sett förhållandevis kort tid. Trycket från inlandsisen pressade ihop sprickorna i berggrunden så att större spänningar än normalt kunde byggas upp. I slutskedet av den senaste istiden låg ett istäcke kvar över fjällkedjan. Landet öster därom, som blivit kraftigast nedpressat under istiden, var frilagt från is. Lyftkrafterna på den frilagda, starkt nedpressade berggrunden blev så starka att de utlöste förkastningar. Dessa förkastningar utlöstes längs gamla sprickor i berggrunden. Sådana förkastningar med jordbävningar som följd inträffade i några områden i norra Sverige. De har kunnat dateras till istidens slutskede.

Den nuvarande epoken, kvartärtiden, startade för ca 2,5 miljoner år sedan. Studier av sediment på Nordsjöns botten visar att klimatet i Skandinavien under kvartärtiden till den allra största delen varit kallare än för närvarande. Istäcken har gång på gång växt till på den skandinaviska halvön och sedan smält bort. Vår berggrund har därför upprepade gånger under kvartärtiden utsatts för liknade påfrestningar som under den senaste istiden. Om slutförvaret lokaliseras till djup i berggrunden som endast visar obetydliga spår av rörelser från denna långa köldperiod, är detta ett starkt argument för att förvaret inte heller kommer att påverkas av nästa istid, när den än uppkommer

3.5 Lokalisering

Det är SKB:s uppgift att ta fram nödvändigt underlag för valet av plats för Sveriges slutförvar för det utbrända kärnavfallet. För att få ett bra underlag inför valet av platser för platsundersökningar har SKB genomfört översiktsstudier som för stora delar av landet ger en bred geologisk bakgrund och generella förutsättningar för ett tänkt slutförvar. Dessa översiktsstudier belyser förhållanden av

intresse för bedömning av vad som är olämpliga, intressanta respektive lämpliga områden för lokalisering av ett djupförvar. En samlad redovisning av utförda översiktsstudier har presenterats av SKB.

Förstudier i ett antal kommuner som har visat intresse för ett förvar syftar till att kartlägga i vilka delar av respektive kommun det kan finnas lämpliga platser för ett djupförvar med hänsyn till geovetenskapliga och samhällsliga förhållanden. Dessa studier beskriver hur ett djupförvar kan utformas och hur transporter kan ordnas. Förstudierna utreder också vilka konsekvenserna kan bli av en djupförvarsetablering med hänsyn till miljö, ekonomi, näringsliv och levnadsbetingelser inom kommunen och regionen. Sammanlagt har SKB på senare tid gjort förstudier i sex kommuner, nämligen Östhammar, Tierp, Älvkarleby, Nyköping, Hultsfred och Oskarshamn. I ett tidigare skede har förstudier gjorts i Storuman och Malå, men eftersom man i folkomröstningar där gjort klart att vidare undersökningar inte är aktuella har SKB avbrutit sin verksamhet i dessa kommuner.

Fortsatta platsundersökningar innebär geologiska undersökningar och utredningar av förhållanden på preciserade platser i syfte att ta fram data för säkerhetsanalyser, miljökonsekvensbeskrivningar och en platspecifik anläggningsutformning. Eftersom en betydande osäkerhet om förhållandena på förvarsdjup föreligger, i och med att inga borrhål har inkluderats i förstudieprogrammet, måste platsundersökningarna startas med en inledande fas för att verifiera att respektive plats verkligen har den potential för ett djupförvar som förstudierna har indikerat. En sådan inledande fas omfattar geologisk kartläggning och geofysiska mätningar samt ett fåtal borrhål ned till det tänkta förvarsdjupet, med tillhörande borrhålmätningar. Om förhållandena visar sig ogynnsamma kommer undersökningarna att flyttas till annat område i samma eller till en annan kommun. Visar de inledande studierna på gynnsamma förhållanden utvidgas undersökningarna till fullständiga platsundersökningar.

För platsundersökningar har SKB valt följande berggrunds-geologiska miljöer:

- I anslutning till Forsmarksområdet i Östhammars kommun har en s.k. tektonisk lins identifierats. Med detta menas att en av provinsens gnejsgraniter av normal karaktär är omgiven av zoner av deformerat berg. Vid eventuella framtida rörelser i berggrunden beräknas deformationen tas upp i befintliga svaghetszoner vilket sannolikt skulle ge en ur förvarssynpunkt mekaniskt stabil miljö i linsen;
- I Älvkarleby – Tierpsområdet uppträder yngre ca 1 780 miljoner år gamla grovkorniga vanligtvis porfyriska graniter som intruderat äldre Svekofennisk berggrund. Dessa har också av SKB bedömts vara av intresse för vidare undersökningar;
- I Oskarshamns kommun, omedelbart väster om Simpevarps-halvön, lokaliserades i förundersökningen stora massiv av homogen Smålandsgranit. Denna har ett system av sprickzoner som leder till homogena "granitplintar", dvs. mycket stora block som ur förvarssynpunkt är intressanta genom att framtida deformationer kan tas ut i svaghetszonerna runt blocket. Den stora utbredningen av graniten bedöms ge goda förutsättningar för en framgångsrik lokalisering.

Dessa tre områden representerar några av de dominerande bergarterna i den svenska berggrunden. Man kan konstatera att den gemensamma nämnaren för de utpekade områdena är kristallin prekambrisk berggrund tillhörande ett sköldområde – den Baltiska skölden.

Denna rapport är inte rätt forum för en värdering av de valda platsernas lämplighet. KASAM kommer att göra en sådan i samband med granskningen av SKBs komplettering till FUD-program 98.