

P-05-264

Platsundersökning Oskarshamn

Utvärdering av platsdata inför fokusering av de fortsatta undersökningarna inom delområde Laxemar

Svensk Kärnbränslehantering AB

December 2005

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 1651-4416

SKB P-05-264

Platsundersökning Oskarshamn

Utvärdering av platsdata inför fokusering av de fortsatta undersökningarna inom delområde Laxemar

Svensk Kärnbränslehantering AB

December 2005

Sammanfattning

En fokusering inom delområde Laxemar syftar till att styra huvuddelen av de återstående undersökningarna till de delar som utifrån dagens kunskapsläge bedöms vara mest lämpade som slutförvarets deponeringsområden.

De geovetenskapliga faktorer som främst påverkar fokuseringen är:

1. Regionala och lokala större deformationszoner som begränsar förvarets utbredning.
2. Lokala mindre deformationszoner och långa uthålliga sprickor i bergmassan mellan de större deformationszonerna.
3. Bergmassans vattenförande egenskaper mellan de större deformationszonerna.
4. Bergartsfördelning (litologisk homogenitet).
5. Bergets värmeledande egenskaper.

Placeringen av deponeringsvolymerna påverkar också placeringen av ovanmarksanläggningen. Väster om kustvägen bedöms de miljömässiga konsekvenserna vara likvärdiga inom delområde Laxemar medan det är tveksamt om en förläggning öster därom kan tillåtas enligt miljöbalken.

I samarbete mellan delprojekten platsundersökning, platsmodellering och projektering har under första halvåret 2005 kunskapsnivån höjts avsevärt rörande de ovan listade fokuseringsfaktorerna, så att en strategisk fokuseringen för den fortsatta platsundersökningen kunnat göras.

Sammantaget har någon preciserad och väl avgränsad geografisk fokusering inte kunnat göras baserat på enbart geovetenskapliga faktorer. De hydrogeologiska förhållandena på den södra delen av delområde Laxemar bedöms dock vara något mer gynnsamma för ett slutförvar än på den norra delen. De termiska egenskaperna i nordväst gör även denna del gynnsam. Inom den centrala delen av delområde Laxemar finns flera alternativa lägen för slutförvarets centralområde. Sammantaget utgör detta ett tillräckligt underlag för att kunna planera de fortsatta platsundersökningarna med huvudsaklig inriktningen enligt:

- De fortsatta undersökningarna utgår från den centrala delen av delområde Laxemar och omfattar så stort område däromkring så att tillräckligt stora bergvolymerna som bedöms som lämpliga för slutförvaret kan verifieras.
- Undersökningarna genomförs i huvudsak i den södra och västra delen av delområde Laxemar i syfte att belägga deformationszoner, deras geometri och deras geologiska och hydrauliska egenskaper samt bergmassans hydrauliska egenskaper mellan zonerna och i anslutande deponeringsvolymerna.
- Det på detta sätt avgränsade området benämns ”det fokuserade området” i delområde Laxemar.

Ett program för den återstående delen av den kompletta platsundersökningen i delområde Laxemar kan upprättas utifrån dessa utgångspunkter.

Innehåll

1	Inledning	7
2	Behov av fokusering	9
2.1	Syfte	9
2.2	Faktorer för fokuseringen inom Laxemar	9
3	Kunskapsläget	11
3.1	Översikt	11
3.2	Bergarter	11
3.2.1	Dominerande bergarter	11
3.2.2	Underordnade bergarter	12
3.2.3	Berggrundens homogenitet	12
3.2.4	Bergdomänmodellering	16
3.3	Strukturer	17
3.3.1	Större deformationszoner	17
3.3.2	Lokala mindre deformationszoner och sprickor i bergmassan	19
3.4	Bergets hydrauliska egenskaper	26
3.4.1	Bergmassans hydrauliska konduktivitet	26
3.4.2	Deformationszonernas hydrauliska egenskaper	32
3.4.3	Grundvattenflöde och transportvägar	33
3.5	Bergets mekaniska egenskaper	34
3.5.1	Spänningsförhållanden	34
3.6	Bergets termiska egenskaper	35
3.6.1	Underlagsdata och metod	35
3.6.2	Modellering	35
3.6.3	Resultat	37
3.6.4	Förslag till termisk domänmodell	38
3.7	Hydrokemiska förhållanden	40
3.8	Passage av EW007 på förvarsdjup	40
3.8.1	Inledning	40
3.8.2	Syfte och avgränsning	40
3.8.3	Problembeskrivning	41
3.8.4	Tätningåtgärder	41
3.8.5	Slutsatser	43
4	Bedömning av resultat och val av område för komplett platsundersökning	45
4.1	Värdering av platsens egenskaper	45
4.1.1	Regionala och lokala större deformationszoner	45
4.1.2	Bergmassans vattenförande egenskaper (mellan större deformationszoner)	46
4.1.3	Bergets värmeledande egenskaper	46
4.1.4	Litologisk homogenitet	46
4.1.5	Övriga faktorer	47
4.1.6	Sammantagen värdering/viktning	47
4.2	Inriktning för KPLU-program	49
	Referenser	51

1 Inledning

Platsundersökningen i Oskarshamn inleddes 2002 med en omfattande geofysisk undersökning över hela kandidatområdet, se figur 1-1. Mätningarna genomfördes från helikopter och resultaten användes tillsammans med resultat från flygfotografering och geologiska fältkontroller för att prioritera område(n) för den inledande platsundersökningen /SKB 2003/. Utifrån ett 50 kvadratkilometer stort kandidat område prioriterades härvid två delområden, Simpevarp och Laxemar, för inledande platsundersökning. Storleken på dessa delområden är ca 5 respektive 10 kvadratkilometer.

I slutet av 2004 var de inledande platsundersökningarna genomförda och Laxemarområdet, se figur 1-1, har (preliminärt) prioriterats för den kompletta platsundersökningen. Definitivt beslut om prioriterat område kommer att tas när preliminära säkerhetsbedömningar för både Simpevarp och Laxemar genomförts, vilket är planerat till början av 2006. Föreliggande rapport förutsätter att SKB då tar det formella beslutet om prioritering av delområde Laxemar.

Delområdet Laxemar är betydligt större än den bergvolym som erfordras för ett slutförvar. För att på ett effektivt och ändamålsenligt sätt kunna använda undersökningsresurserna och erhålla erforderlig kvalitet på resultat finns ett behov av att fokusera återstående undersökningar inom Laxemarområdet till de bergområden som bedöms lämpligast för ett slutförvar.

För att genomföra denna fokusering krävs så god kunskap om hela delområdet Laxemar att de mest lämpliga bergområdena kan väljas. Detta val kunde inte göras när den kompletta platsundersökningen inleddes vid årsskiftet 2003–2004. Ytterligare undersökningar har därför genomförts som en del av det program för komplett platsundersökning i Oskarshamn som presenterades hösten 2003 /SKB 2004a/. De kunskapsområden inom vilka ytterligare information erfordrades var:

- berggrundens homogenitet,
- termiska egenskaper,
- väsentliga deformationszoners egenskaper och
- bergmassans vattenförande egenskaper.

I samarbete mellan delprojekten platsundersökning (POU), platsmodellering (POM) och projektering (TU) har under första halvåret 2005 kunskapen inom dessa områden avsevärt förbättrats och en strategisk fokusering inom delområde Laxemar genomförts. I kapitel 3 redovisas resultaten och tolkningarna från de genomförda undersökningarna. I kapitel 4 värderas platsens egenskaper mot de faktorer för fokusering som presenteras i kapitel 2 samt redovisas även fokuseringens resultat. Detta ger premisser och strategisk inriktning för den fortsatta platsundersökningen. Ett fullständigt program för den återstående platsundersökningen kan därmed färdigställas.

2 Behov av fokusering

2.1 Syfte

En huvudpunkt i SKB:s strategi för återstoden av platsundersökningen är att i möjligaste mån fokusera undersökningar till de bergvolymerna som utifrån dagens kunskapsläge bedöms vara mest lämpade som deponeringsområden (se kapitel 3). Med denna strategi kan undersökningsresurserna koncentreras till att i första hand producera de data som behövs för projektering och säkerhetsanalys av själva slutförvaret och dess närmaste omgivning.

Denna fokusering kunde för Laxemars vidkommande inte göras direkt efter den inledande platsundersökningen eftersom kunskapen var otillräcklig och måste förbättras inom vissa områden /SKB 2004a/. Efter ett inledande steg av den kompletta platsundersökningen har väsentliga frågeställningar belysts i en sådan grad att en strategisk fokusering kunnat genomföras för den fortsatta platsundersökningen inom delområde Laxemar.

2.2 Faktorer för fokuseringen inom Laxemar

Mot bakgrund av fokuseringens syfte, vilket bl a innebär att koncentrera undersökningsresurserna till att producera de data som behövs för projektering och säkerhetsanalys av själva förvaret och dess omgivning, gäller det i första hand att välja tillräckligt stora bergvolymerna som med god säkerhet kan bedömas ha de egenskaper som erfordras för slutförvaret. Bergets egenskaper kan vara sådana att de utesluter att vissa delar av en bergvolym kan användas, andra egenskaper påverkar nyttjandegraden av en bergvolym medan det för övriga egenskaper handlar om att anpassa slutförvarets utformning. De faktorer som framförallt påverkar fokuseringen inom Laxemar är:

1. Regionala och lokala större deformationszoner som begränsar förvarets utbredning.
2. Lokala mindre deformationszoner och långa uthålliga sprickor i bergmassan mellan de större deformationszonerna.
3. Bergmassans vattenförande egenskaper mellan de större deformationszonerna.
4. Bergartsfördelning (litologisk homogenitet).
5. Bergets värmeledande egenskaper.

Av dessa faktorer är 2 och 3, respektive 4 och 5 nära kopplade till varandra.

Förekomsten av deformationszoner av olika storlekar och egenskaper har på olika sätt betydelse för slutförvarets inplacering och utformning. Regionala och lokala större deformationszoner kan beroende på dess egenskaper påverka hela slutförvarets placering. Laxemarområdet inramas av sådana deformationszoner i norr, söder, väster och öster, se figur 3-8. Dessa bedöms inte påverka fokuseringen inom Laxemar.

Deformationszonen EW007 är en lokal större deformationszon som skär rakt igenom Laxemarområdet. Dess vattenförande egenskaper är sådana att det särskilt utretts om man med konventionella metoder kan driva förbindelsetunnlar genom zonen på förvarsdjup. Om detta går kan slutförvaret vid behov fördelas norr och söder om zonen, vilket medför god flexibilitet för slutförvarets utbyggnad. I det fall att förvaret i sin helhet måste placeras norr eller söder om EW007 är det bergutrymmets storlek och bergmassans egenskaper

på respektive norra och södra sidan som avgör fokuseringen. EW007 har på detta sätt en särställning i fokuseringssammanhanget. Övriga deformationszoner bedöms inte utgöra några enskilda fokuseringsfaktorer.

Bergmassan mellan de större deformationszonerna, framförallt dess vattenförande egenskaper har betydelse för fokuseringen. I bergmassan inberäknas både lokala mindre deformationszoner och enskilda sprickor. Bergmassans vattenledande förmåga påverkar dels beräkningar av närbergets transportegenskaper och dels hur stor andel av möjliga kapselpositioner som måste uteslutas på grund av direkt kontakt med en vattenförande spricka. Det senare påverkar således storleken av förvaret och den volym berg som behöver utnyttjas.

Bergets värmeledningsförmåga påverkar inte förvarets långsiktiga säkerhet men väl storleken av förvaret och därmed den volym berg som behöver utnyttjas.

Bland övriga faktorer att ta hänsyn till är den litologiska homogeniteten. Berggrundens homogenitet har betydelse för hur väl en bergvolym behöver eller kan definieras och extrapoleras utifrån de data som är tillgängliga. Homogeniteten ska betraktas dels ur egenskapssynpunkt och dels ur skalsynpunkt. Med det första menas huruvida litologiska variationer har betydelse för slutförvaret. Med skalsynpunkt menas att små bergartskroppar med annorlunda egenskaper endast påverkar enstaka kapselpositioner medan större litologiska enheter kan påverka utformningen av hela förvarsvolymen.

Bergmekaniska förhållanden som bergets hållfasthet och bergspänningar är andra möjliga faktorer som främst har betydelse för underjordsanläggningens stabilitet. Denna faktor bedöms inte ha någon väsentlig inverkan på fokuseringen.

Bergets egenskaper för radionuklidretention bedöms heller inte vara någon faktor av betydelse för fokuseringen inom Laxemar. Potentialen för transport utgörs av flödande partier i berget, varav randzonerna i den mån de är konduktiva, utgör de större vattenledarna och transportvägarna. Inom Laxemar finns uppmätta transmissivitetsdata för EW002 (Mederhultzonen) och EW007.

Den slutliga placeringen av ett slutförvar låser även ovanjordsanläggningen geografiskt. Då har miljökonsekvensbedömningen sin givna roll i och med att ovanjordsdelarna blir fixerade. Den fokusering som nu görs kan inte kopplas till exakta placeringar ovan jord men man kan konstatera att miljökonsekvenserna i stort sett är desamma varhelst inom Laxemar man placerar ovanjordsanläggningen. Detta gäller dock inte öster om kustvägen (väg 743) där miljöbalkens kapitel 4, §3 inte tillåter uppförande av kärntekniska anläggningar.

Det område som fokuseras för återstående undersökningar skall vara tillräckligt stort för att rymma ett helt förvar. En yta av ca 4 km² bedöms vara tillräckligt för slutförvaret med fortsatt flexibilitet för anpassning till berggrundens förhållanden.

3 Kunskapsläget

3.1 Översikt

I detta kapitel beskrivs kortfattat vår nuvarande kunskap (juli 2005) om delområde Laxemar, med huvudsaklig begränsning till det som enligt avsnitt 2.2 utgör faktorer för fokuseringen eller på annat sätt är relevant för denna redovisning. I relation till dataunderlagen (datafrysar) för de platsbeskrivande modellerna infaller den aktuella kunskapsbeskrivningen i tid någonstans mellan versionerna L1.2 och L2.1. Det är under denna period som det enligt kapitel 1 erfordrade informationsbehovet inom de fyra identifierade kunskapsområden inhämtats och bearbetats. Den beskrivna kunskapen bygger på den plattform som platsbeskrivande modell L1.2 utgör tillsammans med underliggande primärdatarapporter, även om denna modell ännu inte publicerats /SKB 2006/. Den nya informationen har analyserats och utvärderats i den omfattning och djup som erfordras för fokuseringen. Använt nytt dataunderlag ingår i primärdatarapporter som redovisar undersökningar under perioden november 2004 till juni 2005.

Vid kunskapssammanställningen har delprojekten platsundersökning, platsmodellering och projektering medverkat. Modelleringsprojektet kommer senare att analysera alla data enligt ordinarie modelleringsplan för version L2.1.

3.2 Bergarter

Berggrunden i Laxemar utgörs av ca 1 800 miljoner år gamla intrusiva, magmatiska bergarter som tillhör det skandinaviska magmatiska bältet. Magmatiska blandningsfenomen är vanliga men bergarterna är välbevarade, bortsett från vissa mesoskopiska skjuvzoner och en ställvis svagt utbildad foliation. För vidare information om berggrundsgeologin i Laxemarområdets hänvisas till /Persson Nilsson et al. 2004/ och /Wahlgren et al. 2005/.

3.2.1 Dominerande bergarter

Delområde Laxemar domineras av två bergarter, Ävrögranit och kvartsmonzodiorit (figur 3-1). Ävrögraniten dominerar i den mellersta och norra delen. Den är rödgrå till gråröd, medelkornig och vanligen porfyrisk, och varierar i sammansättning från granit till kvartsmonzodiorit, innefattande kvartsmonzonitiska och granodioritiska varianter (figur 3-2). Den kemiska och mineralogiska sammansättningsvariationen avspeglar sig också i varierande densitetsvärden och termiska egenskaper (se avsnitt 3.6). Kvartsmonzodioriten dominerar i södra och sydvästra delen av delområde Laxemar. Den är grå till rödgrå, medelkornig och jämnkornig till ställvis svagt glesporfyrisk. Sammansättningsmässigt är den relativt homogen, och modalanalyser visar på en kvartsmonzodioritisk till granodioritisk sammansättning (figur 3-3). Det skall noteras att de analyser som plottar i det nedre högra hörnet i figur 3-3 representerar analyser från den mindre bergkroppen söder om Frisksjön i nordöstra delen av delområde Laxemar.

3.2.2 Underordnade bergarter

Fin- till medelkornig granit utgör den viktigaste och mest frekvent förekommande underordnade bergarten inom delområde Laxemar, men även pegmatit i form av gångar och/eller ådror är relativt vanligt förekommande. Av berggrundskartan (se figur 3-1) framgår det att fin- till medelkornig granit är frekvent förekommande inom hela området. Grundat på nuvarande kunskapsläge bedöms den fin- till medelkorniga graniten förekomma i likartad mängd i de dominerande bergarterna, även om lokala variationer förekommer. Vidare förekommer diorit till gabbro, finkornig dioritoid, finkornig diorit till gabbro och medel- till grovkornig granit som underordnade inslag i berggrunden.

3.2.3 Berggrundens homogenitet

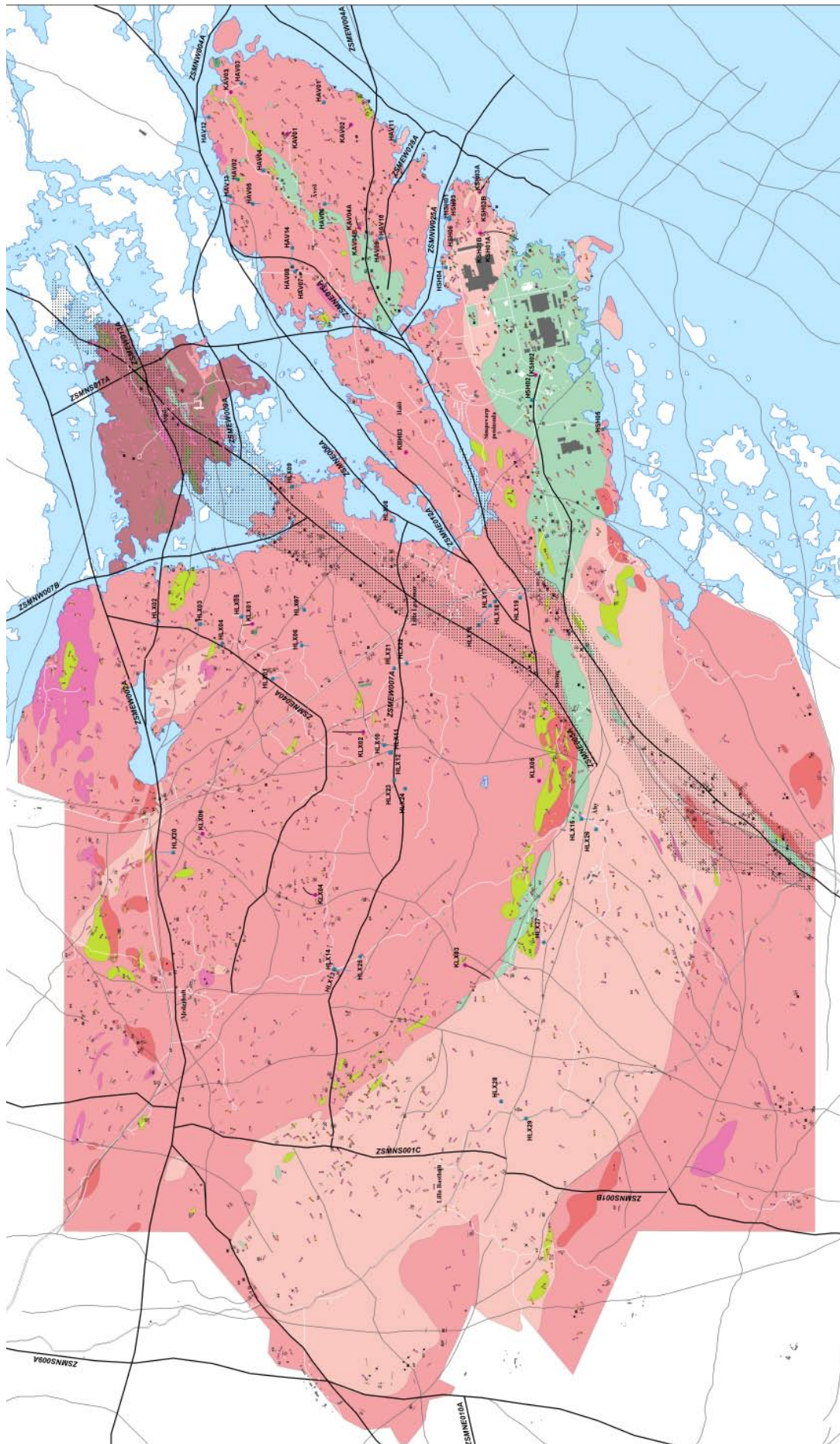
De vanligaste faktorerna att beakta som är kopplade till bergets inhomogenitet är:

- En blandning av olika bergarter med olika sammansättning och karaktär.
- Inslag av underordnade bergarter med olika form och storlek, t ex gångar, enklaver eller mindre kroppar, i en dominerande huvudbergart.
- Variation i kemisk sammansättning inom en dominerande bergart.
- En kombination av ovanstående faktorer.

Som framgår av berggrundskartan (figur 3-1) är gränsområdet mellan Ävrögraniten och kvartsmonzodioriten i södra delen av Laxemar framträdande ur inhomogenitetssynpunkt. Det är framförallt koncentrationen av diorit till gabbro som är iögonfallande, både som mer eller mindre stora kroppar och som mindre enklaver till inneslutningar. Vidare förekommer, förutom gångar och/eller ådror av fin- till medelkornig granit och pegmatit, även långsträckta kroppar av finkornig dioritoid utefter kontaktzonen. Befintlig information indikerar att dioriten till gabbro i första hand är rumsligt associerad med Ävrögraniten. I den resterande delen av Laxemarområdet bedöms frekvensen och fördelningen av underordnade bergarter vara likartad i slutförvarsskala, med undantag för lokala variationer.

När det gäller sammansättningsvariationen inom Ävrögraniten indikerar befintliga analysresultat av ytprover (2D) att de grupperar sig i två populationer (figur 3-2). Vidare indikerar den geografiska fördelningen av proverna att det finns en systematisk fördelning mellan ”kvartsfattig” och ”kvartsrik” Ävrögranit inom delområde Laxemar (figur 3-4).

De perifera delarna av Ävrögraniten inom området tenderar att ha en kvartsmonzodioritisk sammansättning, medan Ävrögraniten i de centrala delarna är kvartsrikare och har en mer granitisk till granodioritisk sammansättning. Detta indikeras också av gammasppektrometriska data från helikopterburna flygmätningarna där en toriumanomali sammanfaller med den indikerade utbredningen av den kvartsrikare Ävrögraniten i den centrala delen av delområde Laxemar (figur 3-5).



Figur 3-1a. Berggrundskarta över delområdena Laxemar och Simpevarp med omgivningar. (Legend se figur 3-1b).

Bedrock geological map, Simpevarp and Laxemar subareas and surroundings

Laxemar 1:2
 Coordinate System: RT 50 2.5 gon W
 Scale: 1:10 000
 Swedish Nuclear Fuel & Waste Management Co
 Date: 2005-12-13, 15:43
 From GSD-Fastighetskartan © Lantmäteriet, Gävle 2001, Permission M2001/5268

Boreholes

- Cored borehole
- Percussion borehole

Dominant rock type

- Fine-grained granite
- Fine-grained diorite-gabbro
- Granite
- Ävrö granite
- Quartz monzodiorite
- Äspö diorite
- Greenstone
- Diorite/gabbro
- Fine-grained dioritoid

Subordinate rock type

- Fine-grained granite, as dyke, vein or smaller body
- Pegmatite, as dyke, vein or smaller body
- Fine-grained diorite-gabbro, as lens, enclave, inclusion or smaller body
- Granite, as lens, enclave, inclusion or smaller body
- Ävrö granite, as lens, enclave, inclusion or smaller body
- Quartz monzodiorite, as lens, enclave, inclusion or smaller body
- Diorite/gabbro, as lens, enclave, inclusion or smaller body
- Fine-grained dioritoid, as lens, enclave, inclusion or smaller body

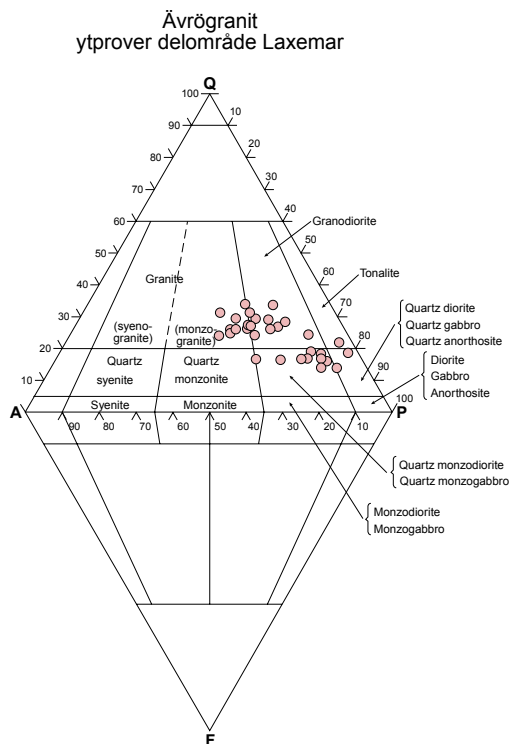
Brittle and low-temperature ductile deformation

- Lineament (possible fracture zone and/or low-grade, ductile shear zone) based on topographic, bathymetric and/or airborne geophysical data
- Fracture zone and/or low-grade, ductile shear zone
- Low-grade, ductile shear zone
- ▨ Area characterised by high frequency of low-grade, ductile shear zones
 - Cataclastic rock, breccia
 - Mylonitic rock
- ∠ Fracture/fracture zone, strike/dip in degrees
- ∠ Fracture/fracture zone, strike/dip vertical
- ∠ Fracture/fracture zone, strike/dip unknown
- ∠ Ductile shear zone, strike/dip in degrees
- ∠ Ductile shear zone, strike/dip vertical
- ∠ Ductile shear zone, strike/dip unknown
- ∠ Foliation, strike/dip in degrees
- ∠ Foliation, strike/dip vertical
- ∠ Foliation, strike/dip unknown
- ∠ Lineation, trend/plunge

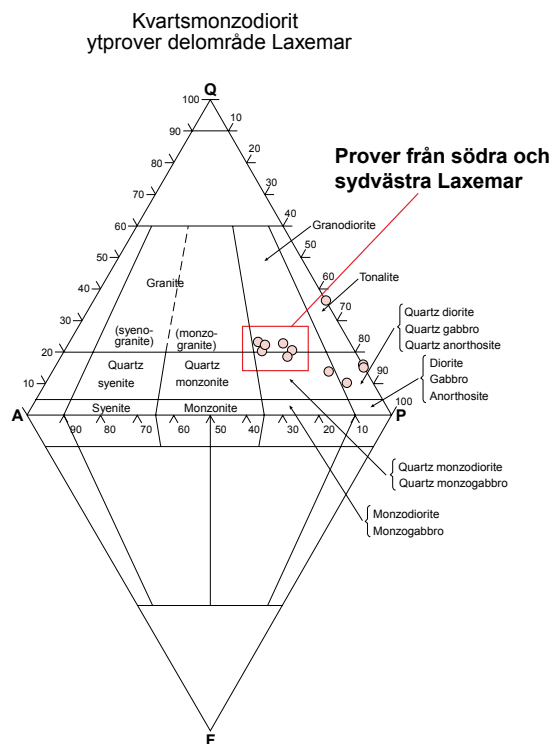
Key minerals

- Epidote
- Quartz
- Chlorite
- Calcite
- Prehnite

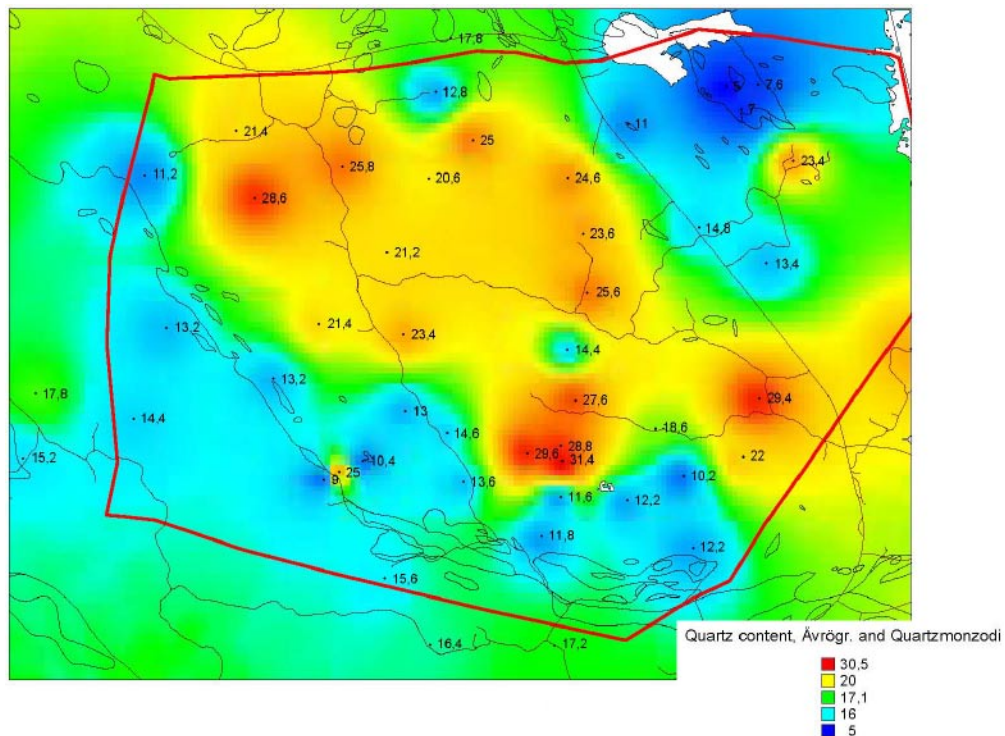
Figur 3-1b. Legend till berggrundskarta över delområdena Laxemar och Simpevarp med omgivningar.



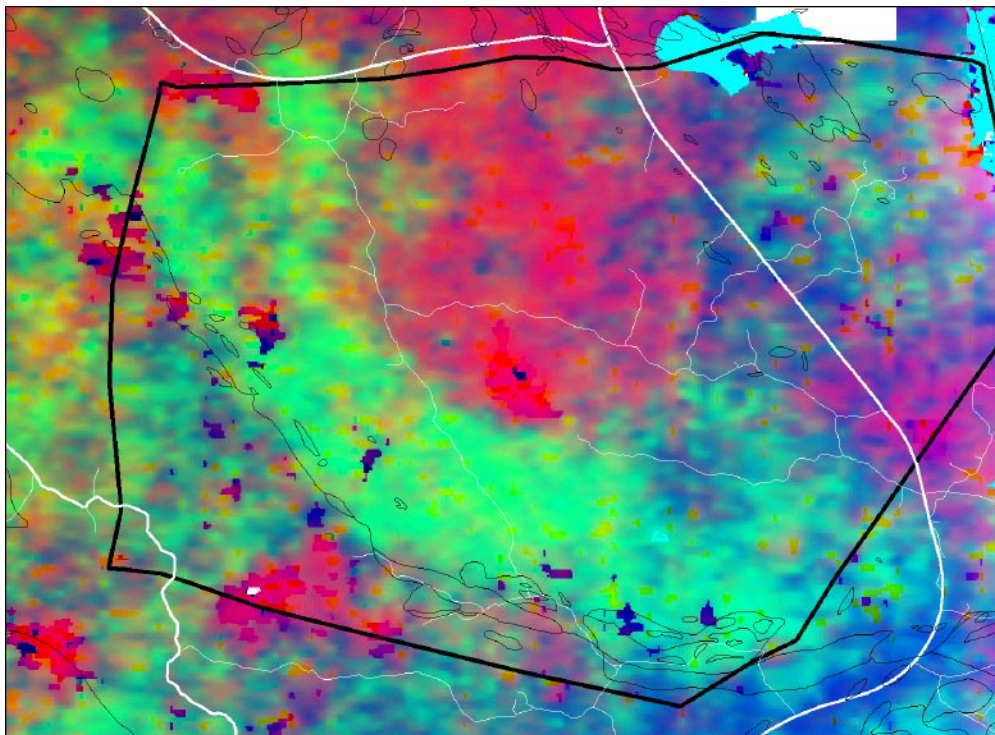
Figur 3-2. Modal klassificering av Ävrögranit i delområde Laxemar enligt /Streckeisen 1976/.



Figur 3-3. Modal klassificering av kvartsmonzodiorit i delområde Laxemar enligt /Streckeisen 1976/.



Figur 3-4. Kvarthaltens variation inom Åvrögraniten och kvartsmonzodioriten. Figuren visar en interpolation med GIS programvaran MapInfoProfessional mellan provpunkter där modal-sammansättningen bestämts. Blå till grön färg indikerar kvartsmonzodioritisk sammansättning och gul till rödaktig färg granitisk till granodioritisk sammansättning. Vägar och bergartsgränserna är markerade som referens (jämför figur 3-1). Siffrorna visar kvartshalten i %.



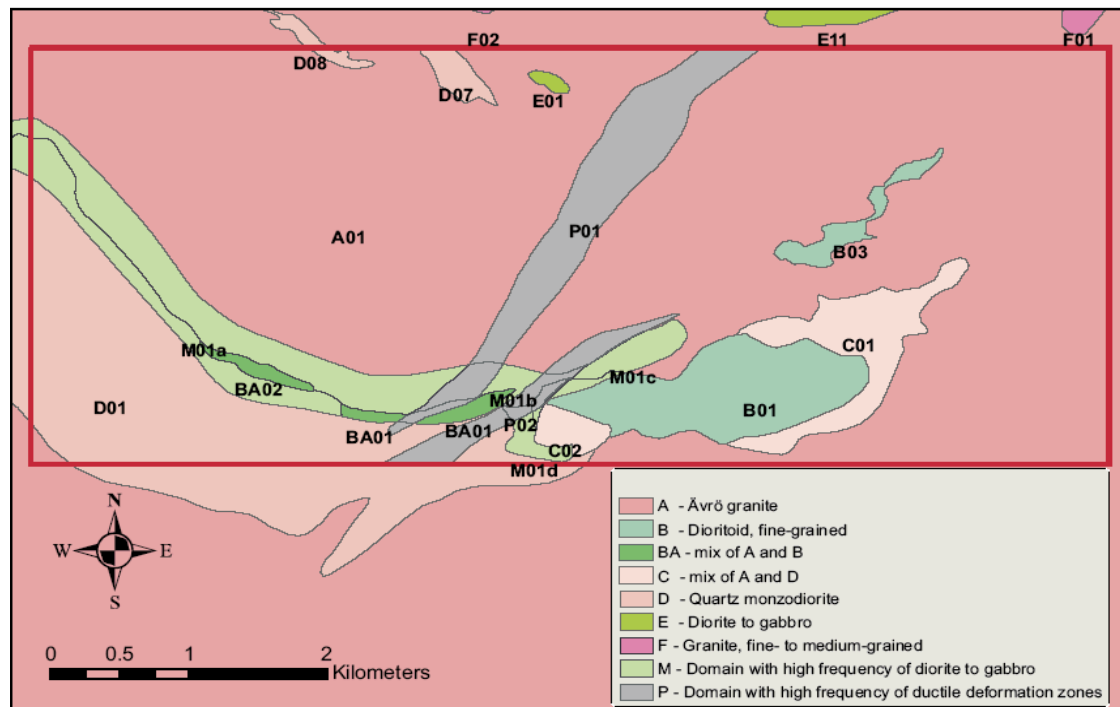
Figur 3-5. Resultat från helikopterburna spektrometrimätningar i Laxemar. K-dominanta delar visas i grönt, Th-dominanta delar i rött samt U-dominanta delar i blått. I svart ges konturerna av bergartsgränser, se figur 3-1.

3.2.4 Bergdomänenmodellering

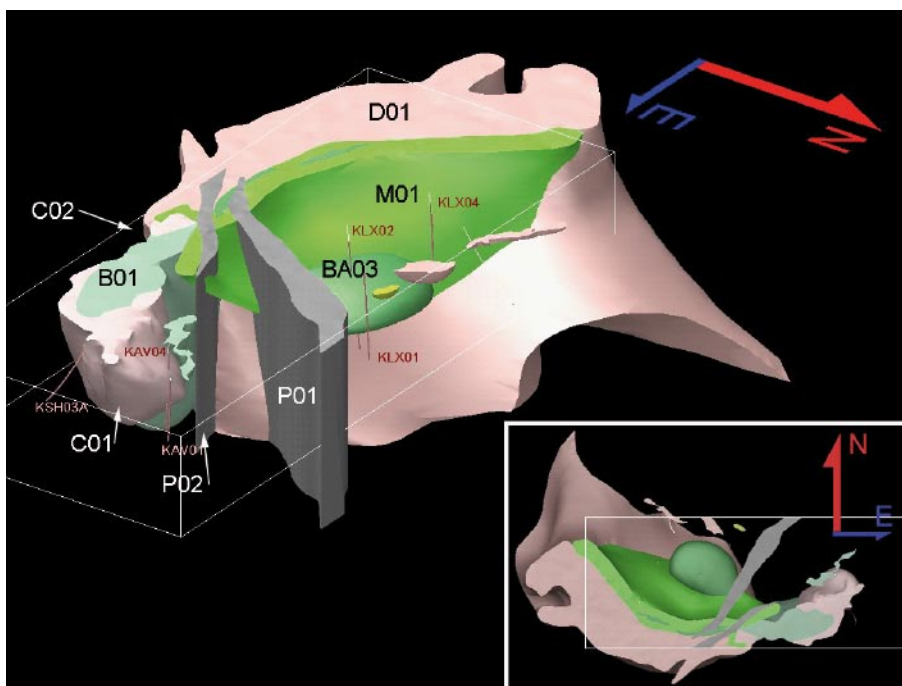
Den befintliga djupinformationen är i nuvarande stadium av platsundersökningen inte tillräcklig för att göra en säker bedömning av utbredningen av ”kvartsrikare” (granitisk till granodiortisk) och ”kvartsfattigare” (kvartsmonzodioritisk) Ävrögranit på förvarsdjup. Befintlig bergdomänenmodellering inom platsbeskrivande modell Laxemar 1.2 visar dock på en nordlig stupning av kvartsmonzodioriten och det diorit- till gabbrorika kontaktområdet mellan kvartsmonzodioriten och Ävrögraniten i södra och sydvästra Laxemar (figur 3-6 och 3-7). Detta innebär att även Ävrögraniten med kvartsmonzodioritisk sammansättning i södra och sydvästra Laxemar har en bedömd nordlig stupning i nuvarande bergdomänenmodellering (jämför avsnitt 3.6).

Tabell 3-1. Beskrivning av bergdomänernas karaktär.

Domän	Karaktär
A	Domineras av Ävrögranit
B	Domineras av finkornig dioritoid
BA	Karakteriseras av en blandning av Ävrögranit och finkornig dioritoid
C	Karakteriseras av en blandning av Ävrögranit och kvartsmonzodiorit
D	Domineras av kvartsmonzodiorit
E	Domineras av diorit till gabbro
M	Karakteriseras av en hög frekvens av diorit till gabbro i Ävrögranit (M(A)) och kvartsmonzodiorit (M(D))
P	Karakteriseras av en hög frekvens av lågradiga plastiska skjuvzoner



Figur 3-6. Bergdomänen i Laxemarområdet. Bergdomänen M01 övertärs av P01- och P02-domänen. Bergblocken på ömse sidor om P01 respektive P02 har fått beteckningarna M01a-d. Den svarta linjen inne i M01-domänen markerar gränsen mellan Ävrögranit, M(A), i den nordöstra till norra delen och kvartsmonzodiorit, M(D), i den sydvästra till södra delen av M01-domänen.



Figur 3-7. 3D-modellering av bergdomäner i platsbeskrivande modell Laxemar 1.2 (jämför teckenförklaring i figur 3-6 och tabell 3-1.

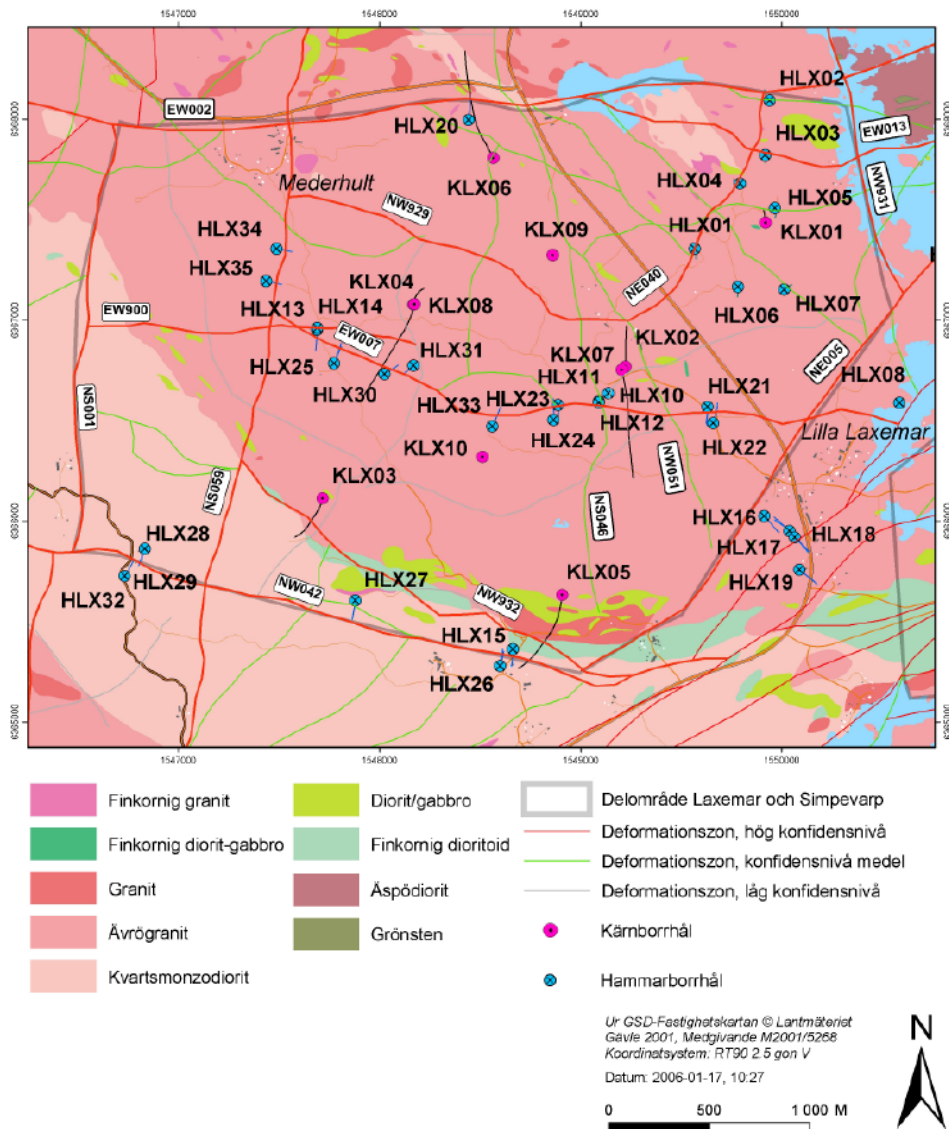
3.3 Strukturer

3.3.1 Större deformationszoner

Detta avsnitt presenterar kortfattat nuvarande kunskap om de större deformationszonerna (regionala och lokala större) i Laxemarområdet, se figur 3-8. Kunskapen baseras på den information som successivt inhämtats under platsundersökningen, alltifrån de inledande lineamentstolkningarna baserade på flyggeofysiska och topografiska data till de återkommande tolkningarna av geologiska och geofysiska data från borrhål och hällkartering.

EW007 kan tillsammans med EW900 betraktas som ett relativt komplext zombälte som sträcker sig genom delområdet Laxemar från öster till väster, och vars egenskaper ännu inte är fullt kända. Dess existens bekräftas av starka magnetiska data, topografiska data, refraktions- och reflektionsseismik samt kärn- och hammarborrhål. Kärnborrhålen KLX07A och KLX08 och de kraftigt vattenförande hammarborrhål som borrats genom EW007 ger en bild av att zonen är mycket komplex, vilket också styrks av nyligen utförd detaljerad markgeofysik, se 3.3.2. Enligt platsbeskrivande modell L1.2 stryker EW007 ca 280° och stupar 40–45° mot norr. Mycket talar för att EW007 också har en subvertikal komponent. Den förhöjda sprickfrekvensen i partier av KLX07A och den något förhöjda i KLX08 tyder även på att nord/sydliga mindre deformationszoner kan ha genomborrats.

EW900 som utgör den västra delen av det ovan nämnda zombälte EW007 stryker ca 100°. Detta grundas på magnetiska och topografiska data. Stupningen ca 70° mot söder baseras på en seismisk reflektor.



Figur 3-8. Regionala och lokala större deformationszoner i delområdet Laxemar. Bilden visar även utförda kärnbräddar och hammarborrhål. KLX09 och KLX10 borrar hösten 2005.

NS059 stryker ca 0° och bedöms stupa subvertikalt. Dess delvis olika karaktär norr och söder om EW900 motiverar att beskrivningen delas upp i dessa två skilda delar av zonen:

- Norra delen. Data som bekräftar deformationszonens existens, strykning och stupning föreligger från magnetiska, topografiska och markgeofysiska data samt vattenförande hammarborrhål norr om EW900.
- Södra delen. Här är lineamentets topografiska komponent mycket otydlig. Refraktionsseismik våren 2005 gav ingen tydlig låghastighet över lineamentet.

NW042 bedöms vara en viktig randzon som avgränsar delområdet Laxemar i söder. NW042 stryker ca 105° , baserat på samtolkade lineament, magnetiska och topografiska data. Stupningen är sannolikt subvertikal med en viss antydning om stupning mot söder. Detta antagande baseras bland annat på att KLX05, som borrats mot zonen från norr till söder, se figur 3-8, inte visar någon större frekvens av sprickor eller andra indikationer på någon större deformationszon. Hammarborrning har heller inte givit entydig klarhet i zonen geometri och egenskaper.

NS001 är en uthållig randzon som avgränsar delområde Laxemar mot väster. Deformationszonen har en tydlig topografi och har påvisats med refraktionsseismik.

EW002 är en regional större deformationszon (Mederhultzonen) som avgränsar delområde Laxemar i norr. EW002:s existens, dess strykning och stupning grundar sig huvudsakligen på lineamentstolkning av magnetiska och topografiska data samt från refraktionsseismiska profiler. EW002 stryker ca 90° och stupar 65–70° mot söder vilket styrks av kärnbråhåll KLX06 där en förhöjd sprickfrekvens observerats mellan 300 och 495 m, samt i data från reflektionsseismik.

NE005 (Äspö skjuvzon) är en huvudsakligen plastisk deformationszon som stryker ca 60°, vilket grundas på samtolkade lineament. Den avgränsar det fokuserade området mot öster. Stupningen bedöms subvertikal med vissa lokala variationer. Dess egenskaper är undersökta på Äspö men inga kärnbråhåll har borrats inom platsundersökningen.

Subhorisontella deformationszoner

Från reflektionsseismiska mätningar finns indikationer om en möjlig subhorisontell deformationszon i norra delen av Laxemar som bedöms ha strykningen 120° och stupningen 30°. Den kan korrelera mot en tolkad deformationszon i nedre delen av KLX04. Huruvida de svagt lutande seismiska reflektionerna, grupp M 20–25 i /Juhlin et al. 2004/, kan sättas i samband med deformationszoner är hittills inte klarlagt.

Övriga större deformationszoner

I den platsbeskrivande modellen har några av de större deformationszonerna tillskrivits konfidensnivån medel, se figur 3-8. Deras existens bygger oftast enbart på information från flyggeofysiska, topografiska och enstaka markgeofysiska profiler. Ett par av de större zonerna bedöms behöva undersökas ytterligare.

3.3.2 Lokala mindre deformationszoner och sprickor i bergmassan

Medan de regionala och lokala större deformationszonerna i hög grad kommer att beskrivas deterministiskt och vid slutförvarsutbyggnaden huvudsakligen hanteras som enskilda objekt måste de mindre strukturerna till övervägande del beskrivas stokastiskt.

Med begreppet ”mindre strukturer” avses i detta sammanhang såväl lokala mindre deformationszoner (längd 100–1 000 m och bredd 0,1–5 m) som långa sprickor (längd 10–100 m och bredd < 0,1 m). Från Äspö HRL och flera andra berganläggningar i svensk kristallin berggrund vet vi att vattenföringen oftast är koncentrerad till större deformationszoner (sprickzoner) men erfarenhet visar att även ”mindre sprickzoner” (exempelvis NNW-strukturer i Äspötunneln) och öppna långa sprickor kan vara kraftigt vattenförande. Långa sprickor (> 100 m radie) bedöms också vara viktiga ur jordbävningssynpunkt.

Nuvarande kunskap om de mindre strukturerna i delområde Laxemar baseras, utöver basdata från flyggeofysik, lineamenttolkning och berggrundskartering, också på ny information från:

- Detaljerad markgeofysik.
- Tolkning av flygbilder och detaljerad terrängmodell (baserad på flygburen laserscanning).
- Geologisk fältkontroll.
- Integrerad tolkning.

Resultat från detaljerad markgeofysik

Markgeofysiska mätningar har under våren 2005 genomförts inom den detaljruta på 1×2 km centralt i Laxemarområdet som markerats i figur 3-9a. Metoderna som användes var dels magnetometri och dels resistivitet, den senare med pol-dipol (200 m dipoler) och CVES Lund Imaging System

Magnetometri genomfördes med profilriktning i N-S, profilavståndet var 10 m och punktavståndet 5 m. Resultat från den detaljerade magnetiska markmätningen och resultat från helikopterburen magnetisk mätning presenteras tillsammans med tolkade magnetiska lineament i figur 3-9a. Längden på de tolkade magnetiska lineamenten är i storleksordning från ca 50 m upp till drygt 1 km. EW007 utmärker sig som ett brett lågmagnetiskt stråk som tyder på en allmän oxidering av magnetiten inom en bredd upp till ett par hundra meter. Inom det påverkade området kan också flera korta magnetiska lineament urskiljas som ligger mer eller mindre parallellt med huvudstrykningen av EW007, i synnerhet i dess södra del. Tolkningen visar även att ett stort inslag av N-S strykande magnetiska lineament förekommer inom mätområdet. Vidare förekommer relativt uthålliga lineament med utsträckning i ENE-WSW. Lineament med utsträckning i NW-SE är i allmänhet korta och terminerar ofta mot de övriga grupperna.

Resistivetsmätning med pol-dipol (200 m dipoler) genomfördes längs sex profiler med profilriktning i N-S och profilavstånd 200 m. Profilerna sträcker sig över hela det område som mätts med magnetometer, dvs en längd på 2 km. Resistivetsmätning med CVES Lund Imaging System (5 m avstånd mellan elektroderna) genomfördes i en 360 m bred korridor med riktning i N-S, ett profilavstånd av 40 m och ett punktavstånd av 5 m. Söder om EW007 mättes en 360 m bred korridor med riktning E-W. Detsamma gjordes norr om EW007.

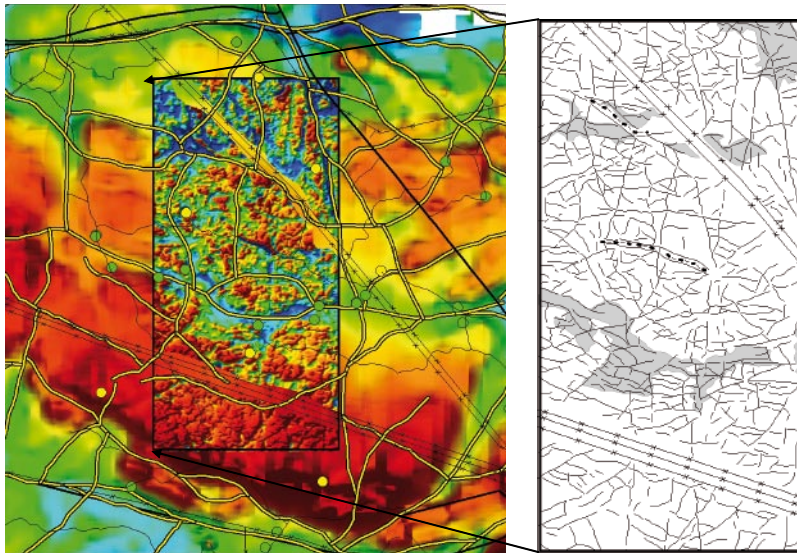
Baserat på resistivetsmätningarna har ett antal lågresistiva lineament identifierats. I huvudsak har de samma riktningar som de magnetiska anomalierna och de flesta av de lågresistiva lineamenten sammanfaller också helt eller delvis med lineament tolkade från magnetiska data. Antalet lineament i resistivetsdata är dock färre i jämförelse med de som indikeras i magnetiska data, vilket tyder på att inte alla magnetiska lineament behöver motsvaras av vattenledande strukturer. Många magnetiska lineament kan vara läkta eller av plastisk karaktär. Några områden med utbredd låg resistivitet detekteras också av resistivetsmätningarna, t ex associerat med EW007 respektive NS046. Områden med låg resistivitet förekommer också intill kraftledningarna förorsakade av jordningslinor (artificiella anomalier). Det finns två högresistiva områden, ett norr respektive ett söder om EW007, figur 3-9b. Områden med högre resistivitet motsvaras av områden med lägre sprickintensitet eller innehåll av sprickor med lägre vattenledningsförmåga.

Detaljerad flygfotografering och laserskanning

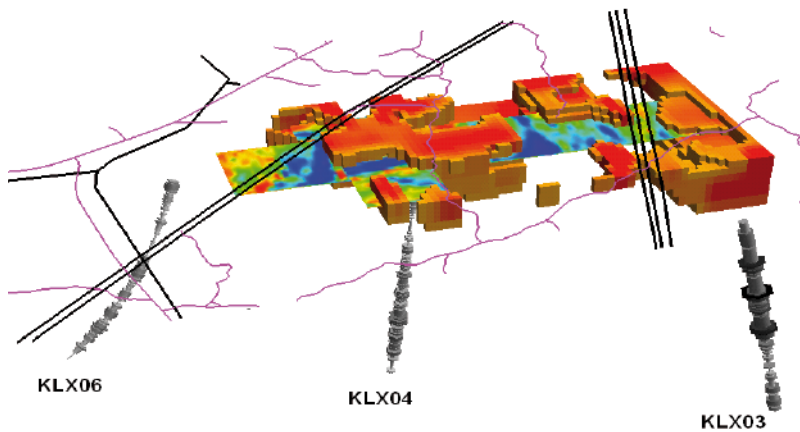
Laserskanning från flygplan (LIDAR) av hela det definierade undersökningsområdet utfördes den 23 april 2005 från en flyghöjd av 900 m. Flygfotografering i färg av hela det definierade undersökningsområdet utfördes den 26 april 2005 med en flyghöjd av 1 000 m. Från flygbildsdata har ortofoton producerats med en pixelstorlek om 10 cm.

Detaljerad terrängmodell

Kontinuerliga markknutna och extremt detaljerade terrängmodeller har skapats över sju kontrolltytor, via interpolering till en pixelstorlek om 0,25 m. Interpoleringen har föregåtts av en statistisk/rumslig analys av punktdata för att säkerställa rätt interpoleringsmetodik. Fältkontroll har även gjorts på dessa sju kontrolltytor, vars belägenhet framgår av figur 3-14.



a)



b)

Figur 3-9. a) Resultat från den detaljerade magnetiska markmätningen med tolkade magnetiska lineament presenteras omgivet av resultat från tidigare helikopterburen magnetisk mätning (Thunehed och Triumf 2005). b) Resultat från resistivitetsmätningarna. Det finns två högresistiva områden (rödbruna) ett norr (vänster i bilden) respektive ett söder om EW007 som framträder med låg resistivitet (blått) i mitten av figuren (Thunehed och Triumf 2005). Områden med låg resistivitet förekommer också intill kraftledningarna förorsakade av jordningslinor.

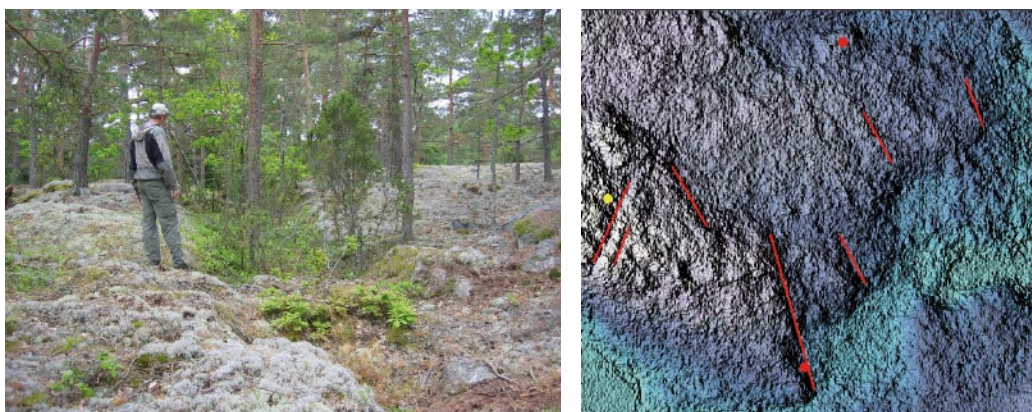
Från den interpolerade terrängmodellen har därefter gradienten i terrängen beräknats och återgetts som en sk ”shaded relief”. Denna framställning innebär att terrängen ”solbelyses” artificiellt från en bestämd riktning och bestämd solhöjd, se figurerna 3-10 och 3-12. Genom att byta riktning på belysningen kan strukturer orienterade i olika riktningar visuellt förstärkas och tolkas. Vidare har gradienten i landskapet visualiserats direkt som ett dataset som beskriver lutningen i terrängmodellen, ”slope”. Som ett extra tolkningsunderlag har även lokala lågpunkter bestämts. Mönstret som då erhålls kan liknas vid mönstret av en lokal avrinningsmodell, se figur 3-11. Raka dalstråk syns här som sammanhållna linjära enheter.

Tolkning från ortofoto och detaljerad terrängmodell

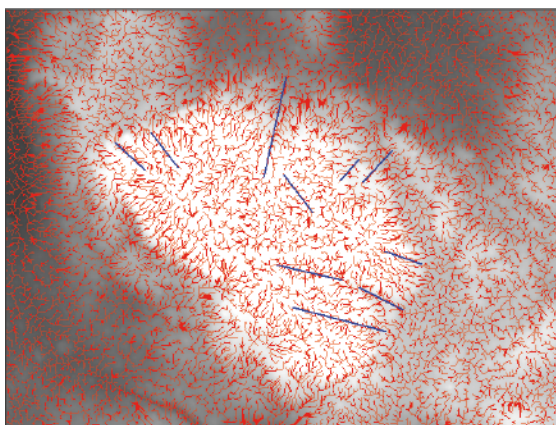
Tolkning av morfologiska strukturelement har utförts genom en kombinerad analys av ortofoto, detaljerad terrängmodell samt "shaded relief" och "slope". Arbetet gjordes på de sju ovan nämnda, ca 400×400 m stora kontrolllytorna. Stor vikt har lagts vid att kalibrera iakttagelser i fält med iakttagelser i flygbild och terrängmodell. Under arbetet framstår det tydligt att framförallt den laserbestämda terrängmodellen utgör ett mycket värdefullt tolkningsunderlag, främst genom förmågan att återge terränghöjden även i tätt skogsklädda ytor. Terrängmodellen utgör en beskrivning av områdets morfologi i en skala som tidigare inte varit tillgänglig. Flertalet av de lineament som identifierats i fält kan identifieras i den från laserskanningen framtagna terrängmodellen. Kopplingen till fältkontroll är dock viktig eftersom alla identifierade kanter inte direkt kan knytas som lineament.

Två huvudtyper av indikationer för ett lineament har särskilts; indikation genom terrängkant samt indikation genom dalstråk, se exempel i figurerna 3-10 och 3-12.

För identifiering av terrängkant har främst den kantförstärkta terrängmodellen använts tillsammans med ortofoto (ortofoto tillsammans med shaded relief och slope). De större dalstråkstyperna framstår tydligt i de gradientförstärkta modellerna. Mindre dalstråks-lineament framstår tydligast vid bestämning av lågpunkter i terrängen.



Figur 3-10. Exempel på tolkade strukturer. Lineament vid gul punkt i reliefbilden till höger indikerar en mycket skarp struktur tydlig i den Lidar-bestämda terrängmodellen. Foto till vänster visar strukturens skarphet i terrängen.



Figur 3-11. Exempel på korta dalstråkslineament indikerade via lokala lågpunkter (röda linjer) i terrängen. En ljusare gråskala indikerar högre terränghöjd.



Figur 3-12. Exempel på ett dalstråkslineament. Lineamentet har låg relief men framstår ändå som väldefinierat.

Fältkontroll

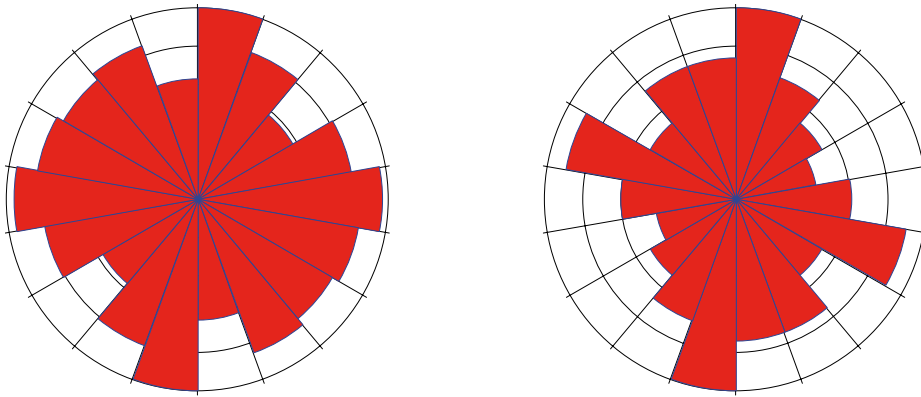
Ett kortare fältarbete initierades i maj, 2005 med syftet var att erhålla direkta fältobservationer i berggrunden, relevanta för omfattning och karaktär av mindre sprickzoner och andra typer av deformationszoner inom de sju utvalda kontrolllytorna. Dels omfattade det identifiering av tänkbara mindre zoner, ej tidigare indikerade, och dels en kontroll av befintliga topografiska och geofysiska lineament, samt även lineament tolkade från nya ortofoto och laserscanningsdata (Lidar-data). De nytillkomna ”fältlineamenten” i detta arbete är av 4 skilda typer:

1. Branta, distinkta (raka) bergskanter (längd cut-off 12–15 m). En eller flera sprickor parallellt med kanten.
2. Två-sidiga dito (motsatta kanter inom 3–4 m) (längd cut-off 12–15 m). En eller flera sprickor parallellt med kanten/kanterna.
3. Småskaliga dalstråk som inte redan indikerats (utsträckt lågområde med bergshöjder på ömse sidor) (längd cut-off ca 15 m).
4. Geologiska (plastiska och sprödplastiska zoner, samt sprickzoner) (längd cut-off < 5 m).

Typ 1 och 2 antas motsvara mindre deformationszoner och i undantagsfall enskilda sprickor. Typ 3 kan sägas motsvara storskaliga topografiska dalstråkslineament och är en indikation på möjlig deformationszon. Typ 4 är vanligen delvis blottad, och därmed är en mer precis geologisk karaktärisering möjlig.

Den utrustning som använts vid fältkontrollen består av en handdator med pekskärm och integrerad GPS som har en upplösning som normalt ger en noggrannhet i positionsbestämningen på ± 5 m. I tät skog är den sämre. Kompass har använts för att mäta orientering på de inlagda lineamenten.

Varje lineament som kontrollerats i fält (antal per kontrolllyta framgår av tabell 3-2) har tilldelats attribut enligt följande; ID-kod, huruvida hällobservation relaterat till lineamentet har kunnat göras, geologisk och morfologisk karaktär, vidd, orientering, hur lineamentet slutar i terrängen, magnetisk susceptibilitet, samt en bedömning av observationens tillförlitlighet (degree of confidence). Orienteringen på de nya lineament som identifierats i fält i de fyra nordliga, respektive tre sydliga kontrolllytorna kan överskådligt ses i figur 3-13.



Figur 3-13. Sprickrosdiagram för "fältlineament" i de fyra nordliga (vänster, 92 st) och de tre sydliga kontrolllytorna (höger, 49 st).

Tabell 3-2. Antal fältlineament per kontrolllyta.

Kontrolllyta	1	2	3	4	5	6	7
Antal lineament	20	18	14	40	27	3	19

Integrerad tolkning av bergmassans strukturer

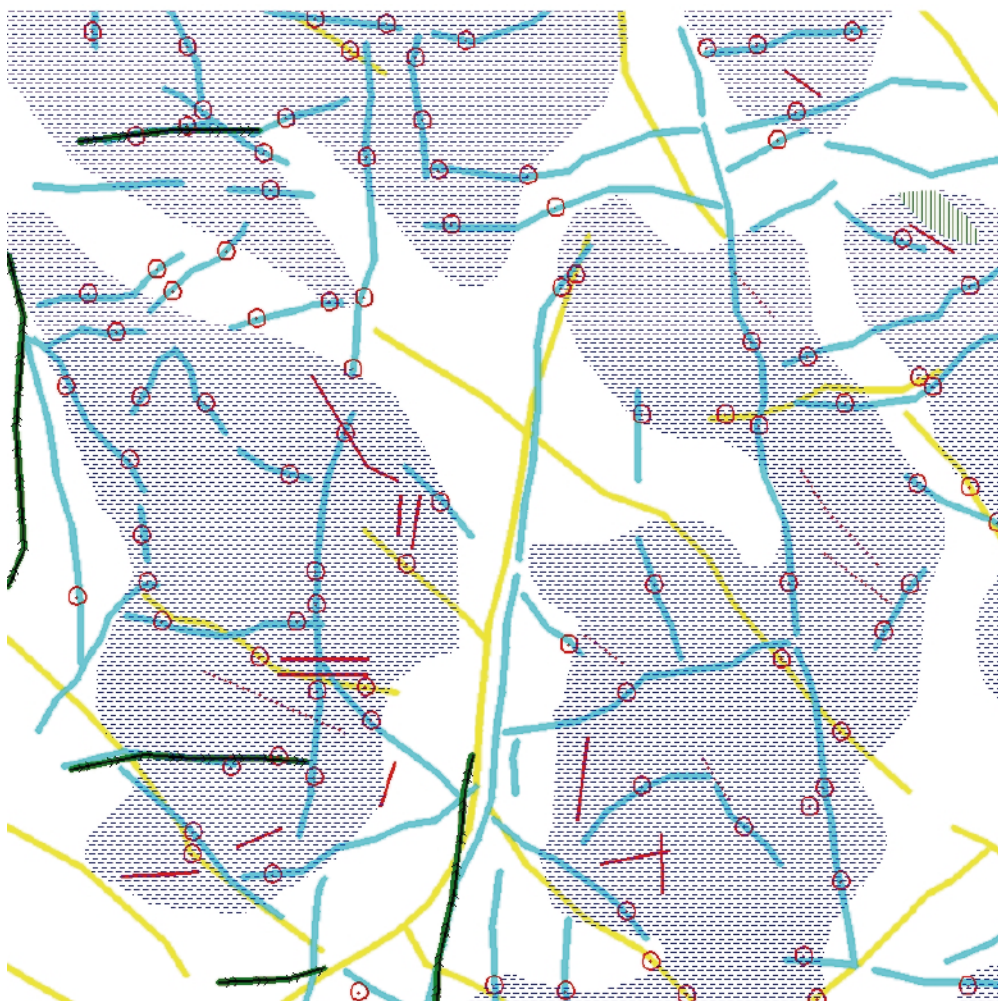
För samtliga kontrolllytor redovisas i figur 3-14 strykningen av alla lineament från fältuppföljningen i form av rosdiagram. Integrerad tolkning för kontrolllyta 2 presenteras i syfte att översiktligt exemplifiera frekvensen, strykningen och fördelningen av mindre strukturer i Laxemar, (figur 3-15). Den integrerade tolkningen baseras på identifierade lineament från geofysiska data, flygbilder, laserskanning och fältobservationer.

Rosdiagrammen visar att nord-sydliga och nord-västliga strukturer dominerar genomgående med undantag för kontrolllyta 4. I detta senare område dominerar ost-västliga orienteringar. Avseende frekvensen av lineament föreligger inga större skillnader mellan områdena norr och söder om deformationszon EW007.

Den integrerade tolkningen indikerar att de nord-sydliga lineamenten är de mest uthålliga i längd inom kontrolllyta 2. Observationer i häll t ex låg magnetisk susceptibilitet, omvandlingszon runt sprickor samt deformation bekräftar att dessa lineament ofta representerar deformationzoner.

Nordvästliga lineament är i huvudsak topografiskt indikerade.

För bestämning av strukturernas plastiska och spröda karaktär, av vilka den senare har stor betydelse för t ex vattenföring, krävs riktade insatser i form av grävning för geologisk karaktärisering samt borring.



Figur 3-15. Jämförelse mellan tolkade och fältkontrollerade lineament på kontrolllyta 2. Ljusblå färg markerar magnetiskt indikerade lineament, grön färg lineament med låg resistivitet, gul färg markerar lineament som tolkats från äldre topografiskt underlag, och röd färg indikerar lineament som påvisats i samband med fältkontroll. Bakomliggande hållraster har tagits fram i samband med tidigare geologisk kartläggning. Röda ringar markera punkter där observation gjorts i fält i anslutning till lineament. Norr är uppåt i bilden och bilden motsvarar en yta på 400×400 m.

3.4 Bergets hydrauliska egenskaper

3.4.1 Bergmassans hydrauliska konduktivitet

Hydraulisk konduktivitet i Laxemarområdet – med och utan deformationszoner

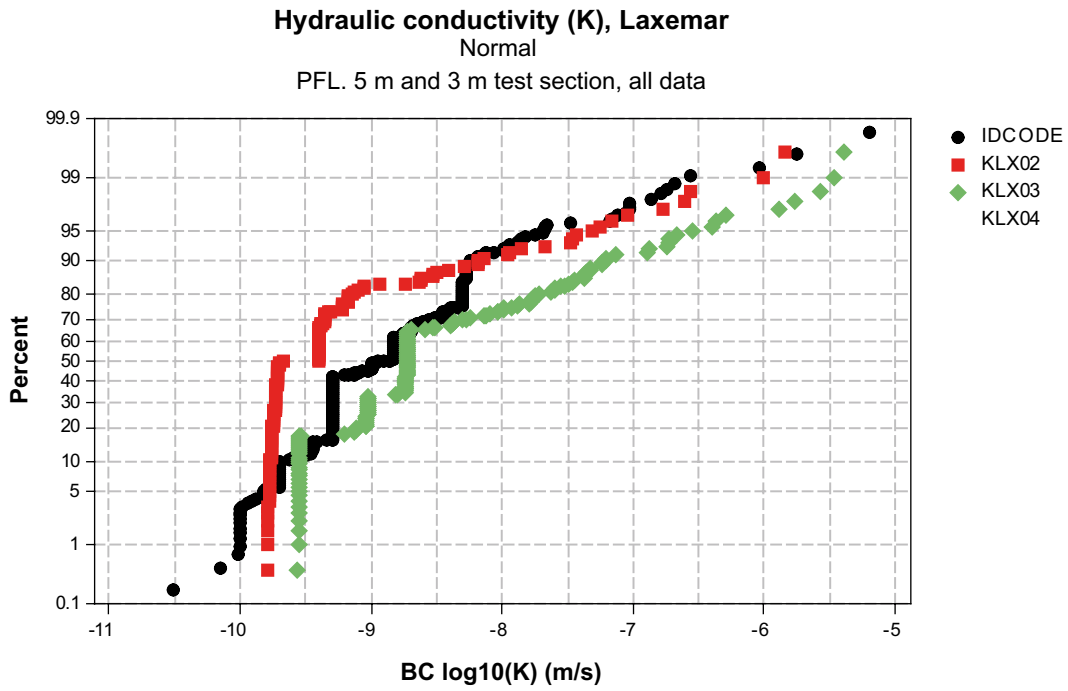
Bergets vattengenomsläpplighet har mätts i olika mätskalor och med olika metoder. De metoder vars resultat redogörs för i detta avsnitt är hydrauliska injektionstester med Pipe String System (PSS) och differensflödesmätningar med Posiva Flow Log (PFL). I tabell 3-3 har de statistiska fördelningsparametrarna sammanställts för genomförda hydrauliska tester. Fördelningarna antas vara lognormalfördelade, se exempelvis figur 3-16. Hänsyn har tagits till mätgränser vid beräkningen av de statistiska parametrarna (mätgränsvärdena påverkar hela fördelningskurvan men anpassningen för den statistiska fördelningen görs till de mätvärden som är kända), se figur 3-17, som visar anpassningen till data i figur 3-16.

Som framgår av tabell 3-3 har bergmassan något lägre hydraulisk konduktivitet mellan zoner i jämförelse med det sammanslagna datasetet som inkluderar deformationszonerna. Vidare kan noteras att det geometriska medelvärdet ökar med mätskala, vilket är i överensstämmelse med erfarenheterna från Äspölaboratoriet. Det bör noteras att för korta testsektioner erhålls ett stort antal mätningar som representerar undre mätgräns, se figur 3-17 (10–70 % av värden är mätgränsvärden). Den hydrauliska konduktiviten (K) i dessa sektioner motsvaras alltså av det undre mätgränsvärdet eller ett värde lägre än detta. I mätskalan 1–3 m bör dock K-värdet inte vara lägre än förväntad matrix konduktivitet, dvs ca $1 \cdot 10^{-13}$ m/s. (Observera att utnyttjade olika mätintervall i borrhål gör att alla mätskalor inte direkt kan jämföras i alla borrhål.)

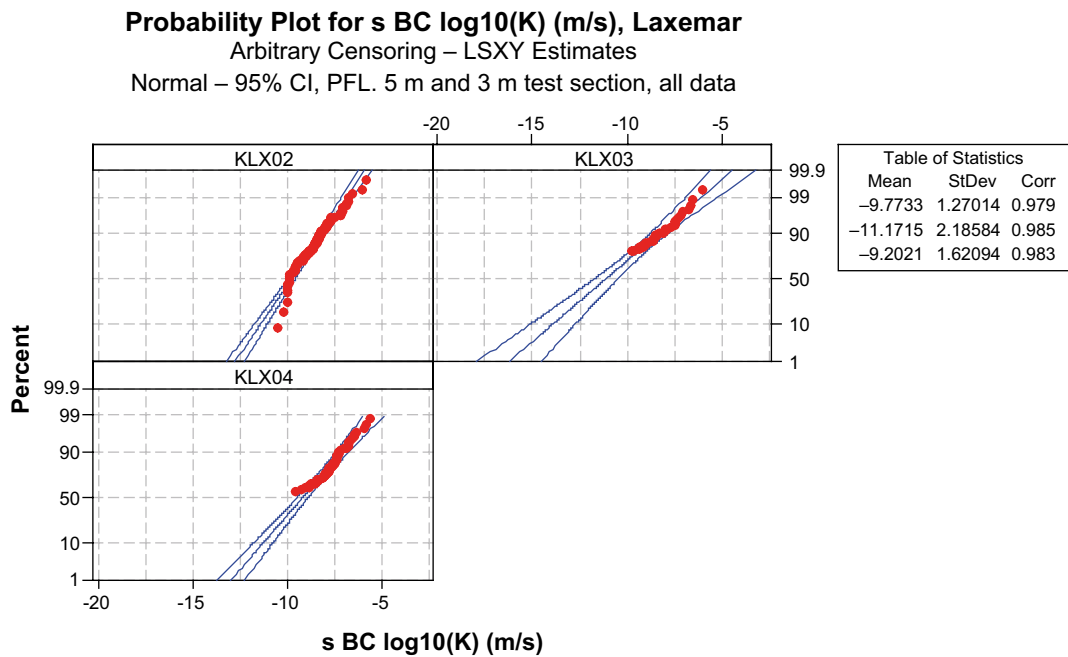
Tabell 3-3. Fördelningsparametrar beräknade för injektionstester utförda med PSS (Pipe String System) och differensflödesmätningar utförda med PFL (Posiva Flow Log) inom delområde Laxemar. Förklaringar: RD = Bergdomän (Rock Domain). DZ = Deformationszoner som tolkats skära borrhål i den geologiska enhålstolkningen eller inom regionalområdet enligt den platsbeskrivande modelleringen, se figur 3-8.

Borehole	Test type	Secup (m)	Seclow (m)	Test scale (m)	Sample size	Lower meas limit ¹ Log ₁₀ K (m/s)	All or RD without DZ	Mean Log ₁₀ K (m/s)	Std Log ₁₀ K (m/s)
KLX01	PSS	106	691	3	197	(-10,7)	All	-10,5	1,94
	PSS	106	691	3	197	(-10,4)	RD without DZ	-10,5	1,94
	PSS	103	702,11	30	20	(-)	All	-9,17	2,0
	PSS	103	702,11	30	20	(-)	RD without DZ	-9,17	2,0
	PSS	701	1 078	100	3	(-)	All	(-7,6)	(1,3)
KLX02	PFL	205,92	1 399,92	3	398	(-10)(-8,3)	All	-9,8	1,27
	PFL	205,92	1 399,92	3	329	(-10)(-8,3)	RD without DZ	-9,9	1,35
	PSS	300	545	5	49	(-11)(-8,7)	All	-11,2	2,51
	PSS	300	545	5	49	(-11)(-8,7)	RD without DZ	-11,2	2,51
	PSS	204	1 004	20	48	(-12,3)(-10,8)	All	-9,8	2,19
	PSS	204	1 004	20	37	(-12,3)(-10,8)	RD without DZ	-10,6	2,72
	Various	3,0	1 700,5	100–300	11	(-)	All	-8,35	1,79
KLX03	PFL	101,3	992,42	5	178	(-9,8)(-9,4)	All	-11,2	2,18
	PFL	101,3	992,42	5	158	(-9,8)(-9,4)	RD without DZ	-11,3	2,07
	PSS	103	1 000,42	100	3	(-)	All	-8,04	0,69
KLX04	PFL	100,2	986,22	5	177	(-9,8)(-8,2)	All	-9,8	1,62
	PFL	100,2	986,22	5	148	(-9,8)(-8,2)	RD without DZ	-9,3	1,56
	PSS	300,41	685,78	5	77	(-10,7)	All	-9,18	1,99
	PSS	300,41	685,78	5	74	(-10,7)	RD without DZ	ca -9,2	ca 1,99
	PSS	105,21	983,05	20	44	(-12,3)(-10,8)	All	-8,73	1,99
	PSS	105,21	983,05	20	33	(-12,3)(-10,8)	RD without DZ	-9,23	2,09
	PSS	105,11	986,11	100	9	(-)	All	-8,08	1,93
KLX05	PSS	111,30	987,27	100	9	(-)	All	-8,07	0,86
KLX06	PSS	103	994,94	100	9	(-)	All	-7,34	1,56

Not 1: Mätgräns skattat från hydrotest data.



Figur 3-16. Fördelningskurva för PFL mätningar i mätskala 3 m (KLX02) och 5 m (övriga håål).



Panel variable: IDCODE

Figur 3-17. Fördelningskurva med analys av fördelningsparametar med hänsyn tagen till mätgränsvärden, för PFL mätningar i mätskala 3 m (KLX02) och 5 m (övriga håål).

Korrelation mellan sprick-transmissivitet och bergart

Med Posiva flödeslogg kan transmissiviteten för enskilda sprickor, eller mycket närliggande sprickgrupper, studeras. Dessa data har korrelerats med karterad bergart och enligt tabell 3-4 är det endast mindre skillnader mellan bergarterna vad avser sprickornas transmissivitetsfördelning. Enligt tabell 3-5 ger en ökad intensitet av mindre gångar med finkorning granit i närheten av en flödesanomali ingen större påverkan på transmissivitetsfördelningen för sprickorna.

Tabell 3-4. Transmissivitetsfördelningen av de vattenförande sprickorna identifierade med Posiva Flow Log uppdelat på bergart. Beräkningen baseras på data från delområde Laxemar. Tabellen baseras på SICADA koden ROCKTYPE, dvs litologiska enheter som är längre än 1 m i borrhärnan.

Rock code	Rock type	Transmissivity (m ² /s) Geometric mean	Std Log10 T	Number of observations	Comments
All	All rocktypes	3,9·10 ⁻⁸	0,91	286	
501030	Fine-grained dioritoid	1,8·10 ⁻⁸	0,92	11	
501033	Diorite to gabbro	2,4·10 ⁻⁷		1	
501036	Quartz monzodiorite	3,5·10 ⁻⁸	0,60	17	
501044	Ävrö granite	4,2·10 ⁻⁸	0,93	220	
501058	Granite (medium- to coarse-grained)	3,0·10 ⁻⁸	0,51	19	
501061	Pegmatite	–		0	
505102	Fine-grained diorite-gabbro	4,9·10 ⁻⁸	1,14	11	
511058	Fine-grained granite	1,9·10 ⁻⁸	1,16	7	

Tabell 3-5. Transmissivitetsfördelningen hos de vattenförande sprickorna identifierade med Posiva Flow Log uppdelat på bergart. Beräkningen baseras på data från delområde Laxemar. För att undersöka om finkorninga granitgångar < 1 m påverkar transmissivitetsfördelningen för sprickorna studerades alla sprickor med finkorning granit i form av mindre gång eller dylikt (ROCK OCCURENCE i SICADA) inom ett avstånd dx (m) från den vattenförande sprickan, se tabellen.

Rock code	Rock type	Transmissivity (m ² /s) Geometric mean	Std Log10 T	Number of observations	Comments
511058	Fine-grained granite	3,0·10 ⁻⁸	0,77	23	dx = ±0,10
511058	Fine-grained granite	2,7·10 ⁻⁸	0,87	39	dx = ±0,25
511058	Fine-grained granite	2,7·10 ⁻⁸	0,88	69	dx = ±0,50
511058	Fine-grained granite	3,0·10 ⁻⁸	0,89	107	dx = ±1,00
511058	Fine-grained granite	3,5·10 ⁻⁸	0,93	127	dx = ±1,50
511058	Fine-grained granite	3,6·10 ⁻⁸	0,92	147	dx = ±2,00

Korrelation mellan hydraulisk konduktivitet i 3–5 m skalan och bergart

Korrelation mellan bergart och hydraulisk konduktivitet i 3 eller 5 m skala har studerats för data från KLX02, KLX03 och KLX04 baserat på PFL. Resultaten redovisas i tabell 3-6.

Som framgår av tabell 3-6 har finkornig granit (bergartskoder 511058) och granit (medeltill grovkornig, bergartskod 501058) ca 20 gånger högre konduktivitet än Ävrögranit (501044) och finkornig dioritoid (501030). Ävrögranit och finkornig dioritoid har i sin tur

ca 40 gånger högre hydraulisk konduktivitet än kvartsmonzodiorit (501036) och finkornig diorit-gabbro (505102). Analysen i tabell 3-6 bygger på data från SICADA:s ”rock type” som anger att bergarten har längder > 1 m i borrhärlarna. Det finns emellertid relativt rikligt med mindre gångar (< 1 m) av finkornig granit. För totalt 356 sådana sektioner med finkorniga granitgångar har det geometriska medelvärdet beräknats till $1,2 \cdot 10^{-10}$ m/s, dvs i stort sett lika som det genomsnittliga för alla tester, Influensen av mindre gångar (< 1 m) av finkornig granit på den genomsnittliga hydrauliska konduktiviteten tycks alltså vara begränsad.

Tabell 3-6. Hydraulisk konduktivitetsfördelning i mätskalan 5 m mätt med Posiva Flow Log i borrhål KLX02, KLX03 och KLX04, uppdelat på bergart. Tabellen baseras på SICADA koden ROCKTYPE, dvs litologiska enheter som är längre än 1 m i borrhärlarna. Deformationszoner från enhålstolkning och platsbeskrivande modell L1.2 är inkluderade i data (geometriskt medelvärde och standardavvikelse baseras på Anpassning av data till en lognormalfördelning).

Rock code	Rock type	Hydraulic conductivity K _v (m/s) Geometric mean	Std Log10 K	Number of observations	Comments
All	All rocktypes	$1,0 \cdot 10^{-10}$	1,65	753	
501030	Fine-grained dioritoid	$8,0 \cdot 10^{-11}$	1,11	48	
501033	Diorite to gabbro	–	–	5	Only one measurement above meas limit.
501036	Quartz monzodiorite	$2,5 \cdot 10^{-12}$	2,21	90	
501044	Ävrö granite	$1,3 \cdot 10^{-10}$	1,66	565	
501058	Granite (medium- to coarse-grained)	$2,3 \cdot 10^{-9}$	0,90	18	
501061	Pegmatite	–	–	2	Only one measurement above meas limit: K = $1,1 \cdot 10^{-9}$ m/s
505102	Fine-grained diorite-gabbro	$2,6 \cdot 10^{-12}$	2,99	20	
511058	Fine-grained granite	–	–	7	Only one measurement above meas limit: K = $4,41 \cdot 10^{-9}$ m/s
511058	Fine-grained granite	$1,8 \cdot 10^{-9}$	1,29	50	Simpevarp + Laxemar subarea

Korrelation mellan hydraulisk konduktivitet i 3–5 m skalan och bergdomän

Korrelation mellan bergdomän och hydraulisk konduktivitet i 3 eller 5 m skalan har studerats för data från KLX02, KLX03 och KLX04 baserat på PFL. Resultaten redovisas i tabell 3-7. Den geologiska definitionen av bergdomänernas fördelning längs borrhärlarna har nyttjats för att klassificera hydrotesterna.

Som framgår av tabell 3-7 är domänerna A och BA mest permeabla och domänerna D, M(A), och M(D) minst permeabla. (Bergdomänernas betydelse och utbredning framgår av figur 3-6.) Det skiljer ca en tio-potens i hydraulisk konduktivitet, ca 10^{-10} m/s för domän A och ca 10^{-11} för domän M(A). Domän D kan ha lägre hydraulisk konduktivitet, men endast ett fåtal mätningarna har hittills utförts.

Tabell 3-7. Hydraulisk konduktivitetsfördelning i mätskalan 5 m, mätt med Posiva Flow Log i borrhål KLX02, KLX03 och KLX04, uppdelat på bergdomän (rock domain). Deformationszoner från enhålstolkning och platsbeskrivande modell L1.2 är inkluderade i data.

Rock domain	Hydraulic conductivity K,(m/s) Geometric mean	Std Log10 K	Number of observations	Comments
All	$1,0 \cdot 10^{-10}$	1,65	753	
A	$2,2 \cdot 10^{-10}$	1,63	435	
BA	$2,7 \cdot 10^{-10}$	0,87	140	
D	$(2,7 \cdot 10^{-13})$	(1,97)	39	Only 2 measurements above meas limit.
M(A)	$1,5 \cdot 10^{-11}$	1,92	104	
M(D)	$3,6 \cdot 10^{-11}$	2,18	35	Only 8 measurements above meas limit.

Korrelation mellan hydraulisk konduktivitet i 3–5 m skalan och nivå under markytan

Ingen detaljerad analys har ännu gjorts men de hydrauliska testresultaten redovisade per borrhål i appendix 1 ger en viss möjlighet att diskutera olika möjliga alternativ av ett djupberoende av den hydrauliska konduktiviteten.

KLX02, KLX04, KLX05, KLX06 samt KLX07A indikerar en förhöjd hydraulisk konduktivitet (K) i intervallet från ytan ner till 300–400 m djup. Den förhöjda konduktiviteten i KLX02 och KLX04 kan delvis förklaras av deformationszon EW007. Förhöjning av K nära markyta i KLX06 motsvaras av deformationszon EW002. Den förhöjda konduktiviteten i KLX07A kan inte förklaras entydigt idag men har troligen med närheten till EW007 att göra. EW007:s komplexa karaktär omnämndes redan i avsnitt 3.3.1. Möjligen uppvisar dessa borrhål (förutom KLX06 som mer säkert kan knytas till effekter av en större deformationszon) att det finns ett djupberoende av den hydrauliska konduktiviteten. Undantag är KLX01 och KLX03 som inte uppvisar någon större tendens till djupberoende (en mer detaljerad analys av djupberoende kommer att presenteras i platsbeskrivande modell L1.2).

Korrelation mellan hydraulisk konduktivitet i 3–5 m skalan och område norr respektive söder om EW007

Ingen detaljerad analys har ännu gjorts men de hydrauliska testresultaten redovisade per borrhål i appendix 1 ger en viss möjlighet att diskutera detta förhållande.

Med hänsyn till befintlig modell av EW007 så dominerar data för södra området. Endast KLX01 visar på bergmassa som inte präglas av närhet till någon större deformationszon. Data från KLX02 och KLX04 (0–400 m djup i dessa borrhål, vilket ligger approximativt ovan tolkad deformationszon EW007) visar på en högre hydraulisk konduktivitet men är möjligen inte representativt för egenskaper längre norrut och på förvarsdjup.

Området söder om EW007 förefaller ha en lägre hydraulisk konduktivitet något söder om EW007 (KLX03 och KLX05) i jämförelse med områden närmare EW007 (KLX07A, djupare del). Bedömningarna är mycket osäkra.

Om resultaten från korrelation mellan hydraulisk konduktivitet och bergdomän betraktas (se tabell 3-7 ovan) så finns det områden söder om EW007 med lägre hydraulisk konduktivitet (bergdomän D, M(A), M(D)) jämfört med områden norr om EW007 (som domineras av bergdomän A). Det bör dock påpekas att dessa data för domän A inkluderar vad som

åtminstone delvis representerar deformationszon EW007 samt möjligen vad som kan anses som ett mer ytligt liggande konduktivt berg. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet norr och söder om EW007 på förvarsdjup är därför sannolikt mindre än vad som anges av tabell 3-6.

3.4.2 Deformationszonernas hydrauliska egenskaper

Tabell 3-8 redovisar de deformationszoner i delområde Laxemar som enligt den geologiska modellen borrhats igenom och där det också finns hydrauliska testresultat att tillgå. Vissa zoner baseras på relativt många datapunkter medan merparten baseras på en (ingen standardavvikelse redovisas i tabell) eller två observationer. Transmissiviteter från enskilda mätningar nära markytan kan ligga uppemot två tiopotenser högre än det geometriska medelvärdet.

Hydrauliska egenskaper hos EW007

EW007 har enligt tabell 3-8 ett geometrisk medelvärde på transmissivitet på $5 \cdot 10^{-5}$ m²/s. Det finns emellertid flera observationer som ligger nära $1 \cdot 10^{-4}$ m²/s i denna zon. Observationerna är dock tämligen ytnära (hammarborrhål).

Pump- och interferenstester i de översta 200 m av berget tyder på att EW007 har två separata hydrauliskt konnekterade avsnitt, se figur 3-8. Den ena ligger väster om HLX33, där hydraulisk konnektivitet konstaterats på basis av borrhingsresponser mellan HLX30, HLX31, HLX25, HLX13, HLX14 och KLX04. Den andra omfattar partiet öster om HLX31 med hydraulisk konnektivitet konstaterad med interferenstester mellan HLX33, HLX24, HLX23, HLX11, HLX10, HLX21, HLX22, KLX02 och KLX07A, se figur 3-20. Det bör dock inte ses som att EW007 är helt hydrauliskt separerat i två delar, viss hydraulisk konnektivitet finns sannolikt mellan den västra och östra skänkeln.

På större djup än 200 m har några definitiva hydrauliska samband inte kunnat konstateras. I samband med hydrauliska tester under borrhning (wl-tester) av KLX07A och KLX08 har inga responser registrerats i något av observationshålen längs EW007. Stigningsmätningar i KLX07A (den östra delen av EW007) har däremot genererat responser i flera observationshål, men då utgör hela avsnittet 12–400 m den sektion där störningen genererats. De hydrauliska egenskaperna inom och omkring den komplexa zon EW007 behöver ytterligare analyseras.

Hydrauliska egenskaper hos EW002 (Mederhultszonen)

Inom delområde Laxemar har endast borrhålen KLX06 och HLX20 borrhats genom deformationszon EW002. Dessa borrhål är inbördes hydrauliskt konnekterade. Det går dock inte att uttala sig om zonens hydrauliska utsträckning baserat på endast två hål som ligger så nära varandra, se figur 3-8. Det geometriska medelvärdet för transmissiviteten i EW002 är $4 \cdot 10^{-6}$ m²/s.

Hydrauliska egenskaper hos NE005 (Äspö skjuvzon)

Inga borrhål har borrhats i NE005 i delområde Laxemar. Däremot har denna huvudsakligen plastiska deformationszon undersökts på Äspö. Deformationszonen benämns där EW-1N och tolkningar finns presenterade i Äspö96 modellen /Rhén et al. 1997 s 124–127 samt i appendix 2, tabellerna A2-7 och A2-8/. Det geometriska medelvärdet för transmissiviteten i NE005 anges i tabell 3-8 till $2 \cdot 10^{-5}$ m²/s.

Tabell 3-8. Transmissivitet i de deterministiskt modellerade zonerna inom och nära Laxemarområdet.

Deformation zone	High, medium, low confidence 1, 2, 3	T geom mean, (m ² /s)	Log10(T) mean, (m ² /s)	Log10(T) std, (m ² /s)	No of observ	Comments
EW002	1	4·10 ⁻⁶	-5,41	1,37	5	
EW007	1	5·10 ⁻⁵	-4,34	1,05	8	
EW900	1	5·10 ⁻⁵	-4,29		2	
NE005	1	2·10 ⁻⁵	-4,66	1,02	8	
NW042	1	4·10 ⁻⁷	-6,37		1	Osäkert om värdena representerar NW042.
NS059	1					Inga data.
NW929	1	1·10 ⁻⁶	-5,90		2	
NE040	1	7·10 ⁻⁷	-6,14		2	
NW932	1	9·10 ⁻⁷	-6,06		2	
EW013	1	1·10 ⁻⁶	-5,92	1,47	5	
NW928	2	8·10 ⁻⁷	-6,12		2	
EW014	2	2·10 ⁻⁶	-5,66			HLX02
EW039	2	6·10 ⁻⁷	-6,26			HLX05
NW048	2	3·10 ⁻⁵	-4,52			HLX07

3.4.3 Grundvattenflöde och transportvägar

De deterministiska större deformationszonerna samt mindre deformationszoner och öppna sprickor mellan de större deformationszonerna utgör det nätverk som är grunden för modellberäkningar av grundvattenflöde. I beräkningarna ges berggrundens konduktiva element materialegenskaper som antingen har uppmätts eller som har uppskattats, t ex för de deformationszoner som inte har undersökts. Modellen kalibreras med hjälp av data från hydrauliska pumptester. Randvillkor ansätts i termer av tryck/flöde på modellens begränsningsytor och i termer av tidsberoende förändring av modellens randvillkor. De senare utgör beskrivning av förändringar sedan den senaste istiden dels vad gäller modellens överyta i förhållande till havsnivå (landhöjning/strandförskjutning) och av salthalten i havet. De senare randvillkoren är basen för de transienta beräkningarna av fördelningen av salt i berget.

Beräkningarna visar att grundvattenflödet generellt går från väster till öster som en direkt följd av den regionala topografiska gradienten. Flödesvägarna är starkt kopplade till de vattenförande större deformationszonerna, och speciellt de som är orienterade i öst-väst. De väsentligaste utgörs av EW002 (Mederhultzonen) i norr och EW007 som återfinns centralt i delområde Laxemar. Partiklar som frigörs på 500 m djup i delområde Laxemar transporteras en relativt kort sträcka (även om denna sträcka motsvarar större delen av transporttiden) tills de når en av de större vattenförande deformationszonerna. Utträdesspunkterna för dessa flödesvägar ligger företrädesvis längs kusten, men även längs närliggande zoner som avgränsar delområde Laxemar. De flesta flödesvägar från delområde Laxemar har sina utträden kring Äspö, med antagandet att nuvarande hydrauliska randvillkor gäller (I säkerhetsanalysen antas en strandlinjeförskjutning som medför att utsläppspunkterna förflyttas något österut med tiden.)

Vare sig flödesvägar eller transporttider bedöms i någon högre grad vara bestämmande för var inom delområde Laxemar de fortsatta undersökningarna fokuseras. Därmed inte sagt att deponeringsområdenas utseende kan påverkas av framtida flödesberäkningar.

En stor del av bergmassan i Simpevarpsområdet är omvandlad av varierande grad, vilket observerats där bergytan är blottad och på borrkärnor från djupet. Olika grader av hydrotermal omvandling har resulterat i rödfärgning av berget, främst associerad med befintliga sprickor. Det omvandlade berget antas ha retentionsegenskaper som skiljer sig från det intakta icke-omvandlade berget (i första hand högre porositet och högre diffusivitet). Frekvensen av öppna sprickor förefaller vara korrelerad med omvandlade partier av berget, vilket innebär att retentionen antas vara högre i det omvandlade berget. Preliminära resultat visar att graden av omvandling är lägre i delområde Laxemar än i delområde Simpevarp. Däremot kan med dagens förståelse inga väsentliga skillnader vad gäller retentionsegenskaper urskiljas mellan definierade bergdomäner (intakt oomvandlat berg) i delområde Simpevarp och Laxemar. Inga större skillnader i omvandling kan heller i dagsläget översiktligt urskiljas mellan olika delar av delområde Laxemar.

3.5 Bergets mekaniska egenskaper

Kunskap om bergets mekaniska egenskaper inom Laxemarområdet kommer från provning av kärnor från borrhålen KLX02, KLX03, KLX04 och KLX06. Dessutom har bergets mekaniska egenskaper sammanställts för Simpevarp /SKB 2005/. Bergartsammansättningen i delområde Simpevarp bedöms vara mycket likartad den inom delområde Laxemar.

Det finns inget som talar för att någon av de inom Laxemar förekommande bergarterna skulle ha avvikande mekaniska egenskaper.

Bergmassans storskaliga deformations- och hållfasthetsegenskaper beror förutom det intakta bergets egenskaper på sprickfrekvens och sprickors egenskaper. Kunskap om sprickors fördelning finns redan från regionala studier för Äspö /Eriksson 1988/ till de detaljerade studier som utförs inom ramen för pågående platsundersökning. Ett aktuellt exempel visas i figur 3-14. Med undantag från några lokaler, som kan vara påverkade av närliggande deformationszoner förefaller sprickorienteringarna vara tämligen konstanta över området. Det finns en allmän kunskap om variation i sprickfrekvens från borrhål. Variationen i sprickfrekvens gör att bergmassans mekaniska egenskaper kan variera något. Lokalt i anslutning till större deformationszoner kan det förväntas signifikant lägre deformations- och hållfasthetsegenskaper. De variationer i bergmassans mekaniska egenskaper som kan förväntas utanför de större deformationszonerna antas vara små och sakna betydelse för en förvarsplacering inom Laxemarområdet. De större deformationszonernas mekaniska egenskaper måste dock klargöras i de fall det blir aktuellt att bygga genom dem. Erfarenheterna från Äspös tillfartstunnel indikerar dock ur byggsynpunkt hanterbara mekaniska egenskaper.

3.5.1 Spänningsförhållanden

Bergspänningar har mätts inom delområde Laxemar i KLX02 /Ljunggren och Klasson 1997/ och KLX04 /Sjöberg och Perman 2005/ med hydraulisk spräckning respektive överborrningsmetoden.

Stor kunskap om spänningsförhållandena på Äspö HRL finns även /t ex Jansson och Stigsson 2002/, samt inom närliggande delområde Simpevarp. En aktuell sammanfattning av spänningsförhållandena finns i /SKB 2005/.

Det bedöms troligt att spänningssituationen inom delområde Laxemar i stort överensstämmer med spänningsdomän 1 i den platsbeskrivande modellen för delområde Simpevarp, version 1.2.

Erfarenheterna från mätningar i KLX04 visar dock ett för området regionalt avvikande spänningsfält, i stället för att största huvudspänningen är flack och orienterad NW-SE stryker den mer N-S och stupar ca 40° mot norr. Det har bedömts troligt att dessa resultat påverkas lokalt av en deformationszon med denna stupningsriktning. Detta har illustrerats genom spänningsmodellering /SKB 2005/.

Med referens till den samlade kunskapen om spänningsorientering och magnitud bedöms att åtminstone ner till ca 650 m djup torde spänningar inte utgöra en begränsande faktor för platsanpassning. Undantag är områden i anslutning till större deformationszoner, där ett betydligt mer variabelt spänningsfält kan förväntas. Spänningarna är troligen lägre, men uppvisar stor variation i orientering. Denna situation kan bidra till bl a hög hydraulisk transmissivitet i deformationszoner.

3.6 Bergets termiska egenskaper

Modelleringsresultat för värmeledningsförmåga redovisas här för olika termiska domäner inom delområde Laxemar. Berggrundens värmeledningsförmåga påverkar hur tätt man kan placera kapslarna i ett slutförvar, vilket inverkar på nödvändig förvarsvolym.

3.6.1 Underlagsdata och metod

Underlagsdata som ligger till grund för denna analys av termiska egenskaper inom delområde Laxemar består av

- Data från Simpevarp Site Descriptive Model S1.1
- Uppmätta data i samband med arbete med Simpevarp S1.2
- Data inkluderade i datafrys för Laxemar 1.2
- Ytterligare tillkommande data efter datafrys för Laxemar 1.2 från borrhålen KLX03, KLX05, KLX06 samt från ytprover i södra Laxemar

För att karakterisera och modellera de olika bergdomänerna inom delområde Laxemar har data från borrhålen KLX01, KLX02, KLX03, KLX04, KLX05 och KLX06, samt geologisk ytkartering använts.

Värmeledningsförmåga har tagits fram genom mätning (TPS-metoden), beräkning från mineralsammansättning (SCA-metoden), samt beräkning från densitetsloggningar. Det senare har använts endast för Ävrögranit, där ett relativt den platsbeskrivande modellen L1.2 modifierat samband mellan termisk konduktivitet och densitet har fastställts. Med undantag för Ävrögranit och kvartsmonzodiorit har modeller (Probability Density Functions, PDF:s) av termisk konduktivitet för respektive bergart skapats genom en sammanslagning av TPS-data och SCA-data. Modellerna (PDF:s) för Ävrögraniten och kvartsmonzodiorit bygger enbart på TPS-mätningar.

3.6.2 Modellering

En utgångspunkt för det geometriska ramverket vid modellering av termiska egenskaper är den upprättade bergdomänmodellen för L1.2. För Ävrögranit beräknas värmeledningsförmågan huvudsakligen från densitetsloggen, vilket ger förutsättningar för en uppskattning av rumslig variation. För övriga bergarter används statistiska fördelningsfunktioner (bergartsmodeller). Sådan används även för Ävrögraniten i de fall beräknad värmeledningsförmåga

från densitetslogg inte är tillämpbar. Ovanstående samband har använts tillsammans med detaljkarteringen av bergarter för att bestämma värmeledningsförmågans variation inom domänerna. Metodiken för uppskalning och modellering finns beskriven i de platsbeskrivande modellerna för Simpevarp /SKB 2005/ och Laxemar /SKB 2006/.

Delområde Laxemar väster om Äspö skjuvzon (domän P01) kännetecknas av fem bergdomäner, se tabell 3-9. För modellering av termiska egenskaper för Fokusering Laxemar har inledningsvis åtta domäner definierats (tabell 3-10) för att kunna beskriva bergmassan så relevant som möjligt. Därefter har förenklingar genomförts och ett mindre antal termiska domäner har skapats.

I tabell 3-10 har domän A delats upp i tre underdomäner; nord, mitt och syd på grund av skillnaden i termiska egenskaper. Ytkartering och analyser av tunnslip av Ävrögraniten visar nämligen en sammansättningsvariation som är viktigt ur ett värmeledningsperspektiv. "Ävrögranit" med låg ledningsförmåga finns i randzonen som gränsar till kvartsmonzodiorit i södra Laxemar, samt i den nordöstliga delen av området. Mellan dessa kvartsfattiga och lågt värmeledande områden finns partier med högre värmeledningsförmåga. I de punkter som djupinformation finns avspeglas egenskaperna på ytan ganska väl mot djupet. Lågt ledande partier av bergmassan återfinns huvudsakligen i borrhålen KLX03 och KLX05 i söder, samt KLX01 och nedre delen av KLX06 i norr. Ävrögranit med relativt hög värmeledningsförmåga förekommer i de centralt placerade borrhålen KLX02 och KLX04 samt även i den övre delen av KLX06. Skillnaderna i Ävrögranitens termiska egenskaper framgår även vid jämförelse mellan domän BA01 i KLX05 och domän BA03 i KLX02, och dessa har sålunda hållits isär. Domän BA03 i borrhål KLX02 påträffas endast på djupet.

Modellering av domäner E och M bygger på en uppskattning av bergartsandelar från ytkartering /Wahlgren 2005/. För domän E finns inga borrhålsdata. Domän M är, på grund av sin litologiska heterogenitet, svårast att modellera. Både KLX03 och KLX05 skär igenom denna domän men med avseende på bergartssammansättningen i dessa borrhål anses inte dessa bergarter vara representativa för denna domän. Därför har modellering av dessa domäner utförts med Monte Carlo simulering. För modellering av domän M har bergartsmodellen för Ävrögranit grundats på beräkningar av värmekonduktivitet från densitetsloggen i KLX03 och KLX05.

Tabell 3-9. Bergdomäner i delområde Laxemar. Underdomäner till dessa redovisas ej.

Domän	Beskrivning
A	Dominerad av Ävrögranit
BA	Blandning av Ävrögranit och finkornig dioritoid
D	Dominerad av kvartsmonzodiorit
E	Dominerad av diorit/gabbro
M	Blandzon med hög frekvens av diorit/gabbro i Ävrögranit eller kvartsmonzodiorit

Tabell 3-10. Data som har använts i karakterisering av domäner och underdomäner för modellering av termiska egenskaper.

Domän	Datakälla för modellering
Anord	KLX01 0–701 m
	KLX06 470–840 m
Amit	KLX02 200–540, 960–1 000 m
	KLX04 100–992 m
	KLX06 102–470 m
Asyd	KLX03 100–620 m
BA03	KLX02 540–960 m
BA01	KLX05 400–465 m
D	KLX03 620–1 000 m
	KLX05 465–1 000 m
M	Uppskattningar av bergartsandelar från geologisk ytkartering (statistisk fördelningsmodell för Ävrögranit bygger på data från densitetsloggen i KLX03 och KLX05).
E	Uppskattningar av bergartsandelar från geologisk ytkartering.

3.6.3 Resultat

I tabell 3-11 och tabell 3-12 redovisas medelvärden av termisk konduktivitet för domänerna tillsammans med standardavvikelse. För flertalet domäner har konduktiviteterna skalats upp till 0,8 m (tabell 3-11).

Inom domän D underskattas variansen eftersom ingen hänsyn tagits till den rumsliga variationen inom respektive bergart, huvudsakligen kvartsmonzodiorit i denna domän. Den rumsliga variationen bedöms emellertid för bergarten Ävrögranit, vilken utgör en väsentlig del av övriga domäner, genom att densitetsloggningarna utnyttjas. Variansen kan trots detta vara underskattad inom Ävrögraniten. Variansen inom domän M och E kan vara överskattad eftersom ingen uppskalning har kunnat göras. Genom att jämföra modelleringsresultat i 0,1 m skala (ingen uppskalning) får man ett mått på hur variansen skiljer sig mellan domänerna. En sådan jämförelse har gjorts och resultaten indikerar att variansen inom domän D är betydligt mindre än variansen inom övriga domäner, för vilka Ävrögranit utgör en viktig del.

Tabell 3-11. Termisk konduktivitet (W/(m·K)) i 0,8 m skala uppdelat per domän och underdomän tillsammans med standardavvikelse.

Domän	Medelvärde	Standardavvikelse
Anord	2,72	0,25
Amit	2,94	0,29
BA03	2,85	0,27
Asyd	2,48	0,21
BA01	2,67	0,19
D	2,74	0,13

Tabell 3-12. Termisk konduktivitet (W/(m·K)) bestämd med Monte Carlo simulering för domänerna M och E, representerande skalan 0,1 m.

Domän	Medelvärde	Standardavvikelse
M	2,61	0,33
E	2,68	0,50

3.6.4 Förslag till termisk domänmodell

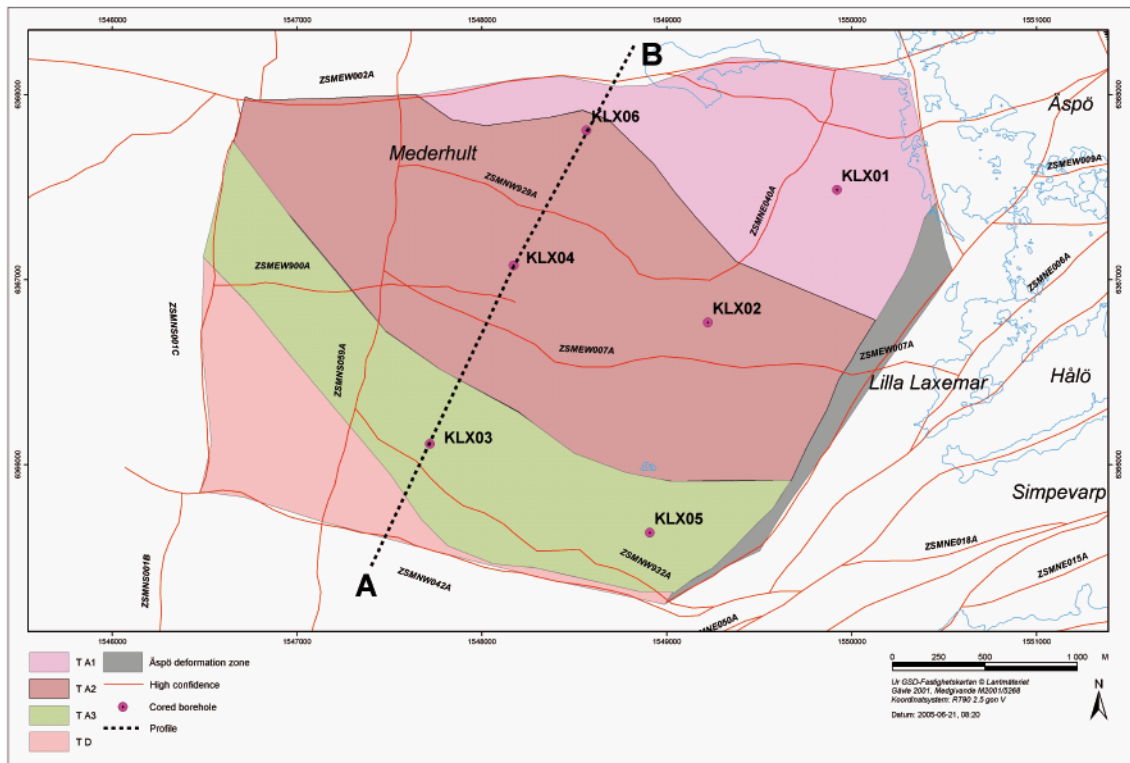
Utifrån resultaten från geologisk modellering av bergdomänerna har en termisk domänmodell upprättats. Bergdomäner som har liknande värmeledningsförmåga och som finns i anslutning till varandra har sammanförts till en större termisk domän (tabell 3-13). Medelvärden för respektive termisk domän har beräknats. Standardavvikelse har inte beräknats för de termiska domänerna men indikation på denna kan erhållas från tabell 3-11 och tabell 3-12. Den termiska domänmodellen redovisas som en ytkarta (figur 3-18) och som ett vertikalt tvärsnitt i nord-sydlig riktning (figur 3-19). Utbredningen av domäner i 3D, vilken till största delen baseras på den litologiska modellen, är att betrakta som mycket osäker. I synnerhet finns det osäkerheter kring hur långt norrut den djupaste delen av den bergdomänen M sträcker sig.

Osäkerheter i redovisade värden för termisk konduktivitet uppträder på tre olika nivåer; datanivån, bergartsnivån och domännivån. Dessa beskrivs i platsbeskrivande modell över Laxemar 1.2 som publiceras i början av 2006. Speciellt kan framhållas osäkerheterna av borrhålens representativitet för respektive domän. Gränserna mellan termiska domäner, som i grunden bygger på sammanslagna eller delade bergdomäner och som redovisas i figur 3-18, är osäkra på ytan och speciellt mot djupet. Detta gäller framför allt gränserna inom litologisk domän A, Ävrögraniten.

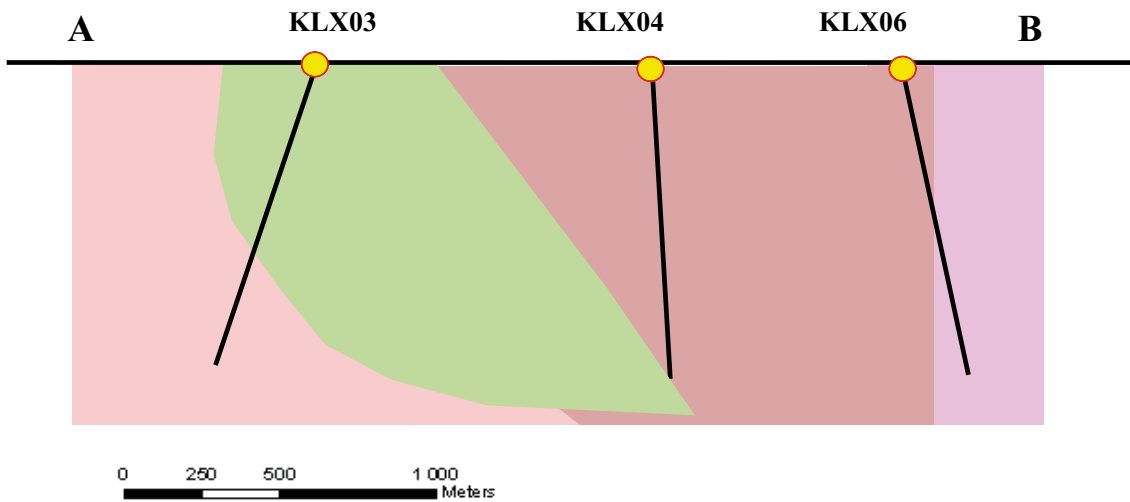
Sent inkomna data för diorit/gabbro indikerar att spridningen i värmeledningsförmåga för denna bergart är stor. På grund av att antalet mätvärden är litet är fördelningsfunktionen för diorit/gabbro mycket osäker. Denna osäkerhet påverkar framför allt resultaten för bergdomänerna M och E där diorit/gabbro är betydande. En jämförelse av uppmätta värmeledningsvärden med värden beräknade från densitetsloggningar tyder på att det senare överskattar termisk konduktivitet för partier av Ävrögranit med låg termisk konduktivitet (2,1–2,5 W/(m·K)) med ca 5–7 %. Detta indikerar att medelvärdet för värmeledningsförmågan kan vara ca 0,1 W/(m·K) för högt för de domäner där Ävrögranit med låg ledningsförmåga utgör en viktig del, nämligen TA1 och TA3.

Tabell 3-13. Modelleringsresultat av termisk konduktivitet (W/(m·K)) för domänerna TA1, TA2, TA3 och TD i delområde Laxemar, där bokstaven T indikerar termisk domän. Uppskattning av andelar av bergdomäner som ingår anges inom parentes.

Termisk domän	Bergdomäner	Medelvärde	Kommentar
TA1	Anord (85 %), D (10 %), E (5 %)	2,74	Kan vara ca 0,1 W/(m·K) för högt på grund av potentiellt bias för Ävrö granite.
TA2	Amitt (90 %), BA03 (10 %)	2,93	
TA3	Asyd (30 %), BA01 (10 %), M (60 %)	2,58	Kan vara ca 0,1 W/(m·K) för högt på grund av potentiellt bias för Ävrö granite. Osäkerhet stor för M-domän.
TD	D (100 %)	2,74	



Figur 3-18. Termiska domäner i delområde Laxemar. Utbredning av termiska domäner baseras huvudsakligen på bergdomäner inom platsbeskrivande modell Laxemar 1.2.



Figur 3-19. Principskiss i profil över termiska domäner i riktning A – B (se figur 3-19). Utbredning av termiska domäner baseras huvudsakligen på bergdomäner inom platsbeskrivande modell Laxemar 1.2.

3.7 Hydrokemiska förhållanden

Grundvatten har provtagits och analyserats från samtliga djupa borrhål i samband med borring. I många fall har dessa prov innehållit stora andelar spolvatten och därmed varit av begränsat värde vid utvärderingen. Genomgående visar dock resultaten att det ner till ca 600 m djup finns sötvatten i hela delområdet Laxemar. De enda förhöjda salthalter som påträffats är vid 630 m i KLX07; 954 mg/l Cl, och 405–514 m i KLX10; 2 376 mg/l. Det finns dock en osäkerhet i hur representativa dessa prov är för den nivå där de provtagits.

De mer detaljerade provtagningar i KLX01, KLX02 och KLX03 som utförts med kemivagn visar att vattnet är reducerande och fritt från löst syre. De variationer i vattnets sammansättning som finns mellan de olika borrhålen är tämligen små och kan inte styra fokuseringen av de fortsatta undersökningarna. Bilden av en sötvattensregim ned till ca 500–600 m djup bekräftas även av den fullständiga kemikaraktiseringen i KLX03. Några karakteristiska vattenkemiparametrar finns listade i tabell 3-14.

Tabell 3-14. Karakteristiska grundvattenkemiska parametrar valda för de nivåer som provtagits vid fullständig kemikaraktisering i borrhål KLX03. Dessa data är preliminära.

Secup m	Seclow m	HCO ₃ mg/L	Cl mg/L	SO ₄ mg/L	Fe _{tot} mg/L	Fe ²⁺ mg/L	HS ⁻ mg/l	pH pH unit	Konduktivitet mS/m	Spolvatten- halt % (ej ack analys)
193,5	198,3	328	259	36,6	0,266	0,251	< 0,002	8,20	142	0,24
408	415,3	194	1 280	116,0	0,816	0,816	0,005	7,86	446	1,71
735,5	748,03	33	3 940	398,0	0,917	0,903	0,008	7,41	1 200	10,80
964	975	7	10 500	758,0	< 0,005	< 0,005	0,115	8,68	2 800	0,04

3.8 Passage av EW007 på försvarsdjup

3.8.1 Inledning

SKB har inom ramen för djupförsvarsprojektet låtit utreda vilka tekniska lösningar som är tillämpliga vid passage av vattenförande deformationszoner /Chang et al. 2005/. Problemställningen har studerats för en generisk deformationszon med egenskaper motsvarande de som fastställts för deformationszonen NE-1 i Äspötunneln och för tunnelpassage på tre olika djup 200 m, 400 m och 600 m. De typer av problem och svårigheter som kan förekomma i samband med en tunnelpassage av en sådan deformationszon på stort djup bestäms normalt av någon, eller av kombinationer av nedanstående faktorer.

- Höga vattentryck i kombination med konduktiva partier (zoner).
- Svagt berg i kombination med relativt höga bergspänningar.
- Stabilitetsproblem som orsakas av högt vattentryck nära tunnelns periferi.

3.8.2 Syfte och avgränsning

Syftet med denna studie är att göra en bedömning av möjligheterna att med rimliga insatser med avseende på berguttag, förstärknings- och tätningståtgärder passera deformationszonen EW007 med en eller flera förbindelsetunnlar på försvarsdjup, här översiktligt ansatt till 500 m. Bedömningen har gjorts genom att applicera befintliga data om EW007 på relevanta analyser och resultat presenterade av /Chang et al. 2005/, enligt 4.2.1.

Data samt tolkade egenskaper från platsundersökningen och andra beskrivningar avseende EW007 presenteras huvudsakligen i avsnitten 3.3, 3.4 och 3.5. Beträffande olika hypoteser rörande den geometriska tolkningen av zonens stupning beaktas här endast det subvertikala alternativet. Anledningen till det är att om EW007 har en flackare stupning bedöms zonen genomkorsa förvarsdjupet utanför området för förvarets planerade placering.

3.8.3 Problembeskrivning

Svårigheterna med att passera EW007 med en tunnel bedöms i huvudsak vara avhängiga de hydrogeologiska egenskaperna, där kombinationen med höga vattentryck och konduktivt berg har störst betydelse. Erfarenheter från byggandet av Äspölaboratoriet, där NE-1 och andra deformationszoner passerades med tillfartstunneln, pekar på att det krävdes relativt omfattande insatser i form av tid och tätningsåtgärder för att täta berget i sådan omfattning att inläckningen till tunneln var acceptabel ur bygg- och driftsynpunkt.

Stabilitetsproblem som kan förknippas med stora deformationer bedöms ha underordnad betydelse i sammanhanget. Denna slutsats grundar sig på observationer från upptagna borrhäror som genomkorsat EW007. Berget i anslutning till tolkade partier associerade med EW007 har betydligt bättre kvalitet än motsvarande borrhäror från NE-1. Bergmassan i anslutning till EW007 påvisar inte heller sådana egenskaper som normalt skulle kunna ge upphov till storskaliga stabilitetsproblem, det vill säga geologiskt betingade kärnförluster, hög andel krossat och/eller hög grad av leromvandlat eller vittrat berg.

Bredden på EW007 bedöms vara i intervallet 20 m till 60 m. Transmissiviteten för hela zonens bredd anges till intervallet 10^{-4} till 10^{-5} m²/s.

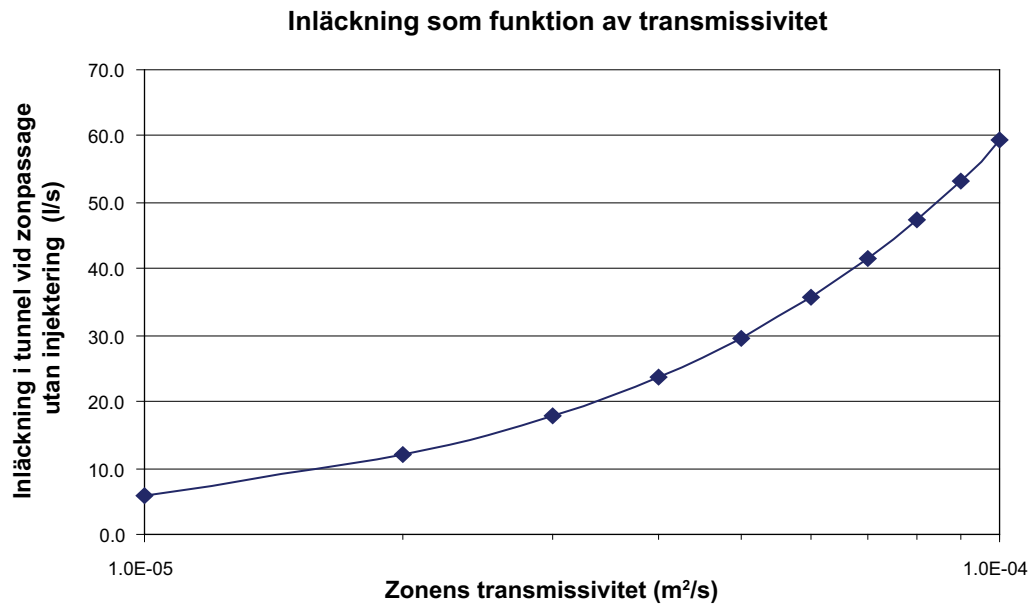
3.8.4 Tätningsåtgärder

Graden av (tekniska) svårigheter vid passage av en vattenförande zon beror på en kombination av rådande vattentryck, transmissivitet samt zonens bredd. Inläckningen till tunneln vid passage av en zon med en given transmissivitet och utan tätningsåtgärder kan uppskattas med analytiska metoder. Den beräknade inläckningen som redovisas i figur 3-20 är oberoende av zonens bredd, som enligt den plastbeskrivande modellen kan uppgå till 60 m. Beräkningsmodellen som baseras på /Alberts och Gustavsson 1983/ finns också redovisad i /SKB 2004b/. I beräkningarna har tunnelns radie ansatts till 5 m.

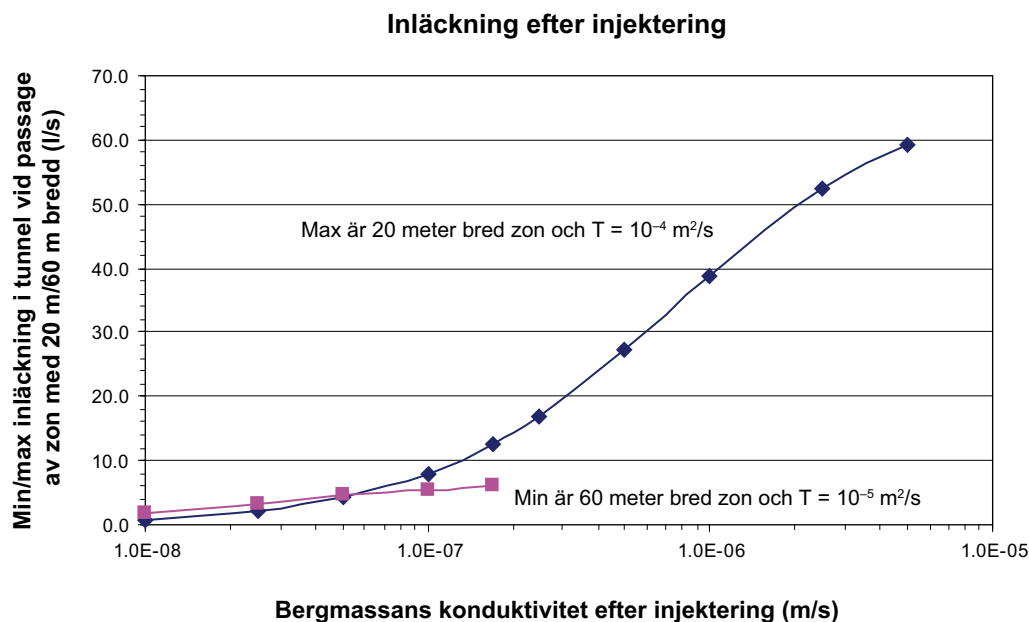
Resultatet av utförda tätningsåtgärder beror dels på sprickornas eller sprickzonens egenskaper, dels på injekteringsbrukets reologiska egenskaper samt på den metodik som används. Med dagens teknik och med cementbaserade metoder är det rimligt att anta att bergmassan kan tätas till en transmissivitet per längdmeter tunnel som är 10^{-8} m²/s. Med speciellt utprovade injekteringsbruk och förfinad metodik är det troligt att ytterligare förbättrade resultat kan åstadkommas.

Den totala inläckning till tunneln efter injektering kan uppskattas med analytiska metoder. Den beräknade inläckningen för två zoner med olika transmissiviteter redovisas i figur 3-21 som funktion av bergmassans konduktivitet efter injektering. Observera att inläckningen avser två fall, dels en zon som är 20 m bred, dels en zon som är 60 m bred (min och max enligt zonbeskrivningen ovan). Beräkningsmodellen som baseras på /Alberts och Gustavsson 1983/ finns också redovisad i /SKB 2004b/. I beräkningen har tjockleken på den injekterade zonen runt tunneln ansatts till 5 m.

Att notera är att den totala inläckningen når samma nivå, oavsett zonens transmissivitet, då konduktiviteten i den tätade zonen uppgår till mindre än cirka $5 \cdot 10^{-7}$ m/s. I praktiken kan dock transmissiviteten få stor betydelse. När kraven på liten inläckning till tunneln är höga i relation till zonens transmissivitet kommer svårighetsgrad och omfattning på tättningsarbetet att öka.



Figur 3-20. Beräknad total inläckning till tunneln vid passage av en vattenförande deformationszon som funktion av zonens transmissivitet.



Figur 3-21. Beräknad total inläckning till tunneln vid passage av en zon med en given initial konduktivitet som funktion av bergmassans konduktivitet efter injektering.

3.8.5 Slutsatser

Det bedöms finnas goda möjligheter att med rimlig omfattning av tätnings- och förstärkningsåtgärder passera deformationszon EW007 med en eller flera förbindelsetunnlar på ett försvarsdjup av 500 m. Denna slutsats gäller under förutsättningen att förhållanden, som dels ges av den aktuella platsmodellen, och dels beskrivs av de antaganden som gjorts inom ramen för denna studie, är uppfyllda. De bakomliggande faktorerna till slutsatsen beskrivs nedan.

Med förinjektering och känd tätningsmetodik är det troligt att inläckningen till tunneln vid passage av EW007 kan reduceras till en tillfredsställande nivå ur bygg- och driftsynpunkt. Denna resulterande täthet uppfyller också de byggtekniska krav som kan ställas om tunneln behöver betonginklädas. Det är en möjlig teknisk lösning för att nå ytterligare täthet om ställda täthetskrav överskrider de som kan uppnås med cementbaserade metoder.

Observationer av upptagna borrhärlor från borrhålen KLX07A, KLX07B och KLX08 indikerar att transmissiviteten, i en skala som motsvarar den prognostiserade bredden av EW007, kan lokaliseras till diskreta zoner med förhöjd sprickfrekvens. Den representativa bredden av dessa diskreta zoner uppvisar stor varians och synes vara i intervallet 50 mm till 5 m. Frekvensen och bredden av den här typen av diskreta vattenförande zoner är en av de parametrar som kommer att vara styrande när det gäller hur omfattande tätningsåtgärder som behöver utföras. Det är därför rimligt att inrikta undersökningsmetodik och tätningsåtgärder på att detektera och tätta dessa diskreta zoner. En annan styrande parameter är den initiala konduktiviteten som kan få stor betydelse för utförandemetoder och tidsåtgång när det ställs höga krav på att reducera inläckningen. Grundläggande för att framgångsrikt kunna tätta den här typen av konduktiva zoner på stort djup är dels att använda rätt utrustning, dels att utföraren samt platsorganisationen bemannas av erfaren och kunnig personal. Dessa förhållanden och förutsättningar bör beaktas i samband med planering av injekteringsarbetet.

Observationer av bergets mekaniska egenskaper i upptagna borrhärlor från borrhålen KLX07A, KLX07B och KLX08 pekar på att bergets kvalitet är betydligt bättre än vad som indikeras i kärnborrhål som passerade deformationszonen NE-1. Passage av EW007 bör därför kunna ske med hjälp av konventionella drivnings- och förstärkningsåtgärder. Det går inte att utesluta att lokala stabilitetsproblem som till exempel instabila block förekommer, men de bedöms inte ha sådan dignitet att de inverkar på möjligheterna att passera zonen. Då EW007 kan bestå av en eller flera diskreta vattenförande zoner kan inte heller uteslutas att stabilitetsproblem kan uppkomma på grund av höga vattentryck nära tunnelns periferi. Relevanta tekniska lösningar för att kontrollera och för att hantera sådana problem redovisas i /Chang et al. 2005/.

Vilken storlek på inläckning som kan tillåtas med avseende på miljökonsekvenser har inte beaktats i denna bedömning och måste således prövas separat.

4 Bedömning av resultat och val av område för komplett platsundersökning

Det inledande steget av den kompletta platsundersökningen i delområde Laxemar har till uppgift att höja kunskapen om berggrundens väsentliga egenskaper för ett slutförvar för använt kärnbränsle. Denna kunskap (juli 2005) presenterades i kapitel 3. En samlad värdering har därefter gjorts mot de faktorer för fokusering av fortsatta undersökningar som presenterades i avsnitt 2.2. En redogörelse för denna värdering och val av fokuserat område lämnas i avsnitt 4.1, medan inriktningen för fortsatt platsundersökning i delområde Laxemar redovisas i 4.2.

4.1 Värdering av platsens egenskaper

I kapitel 2 redovisades de geovetenskapliga faktorer som har betydelse för fokuseringen. Vissa av dessa bedöms ha större betydelse än andra, vilket tas hänsyn till vid värderingen i detta avsnitt, t ex om olika faktorer pekar åt skilda håll, och en jämkande sammantagen värdering måste göras.

Störst betydelse måste ges till faktorer av betydelse för den långsiktiga säkerheten. Där bedöms faktorer kopplade till eventuell transport av radionuklider från en defekt kapsel såsom läge och egenskaper hos deformationszoner och bergmassans vattenförande egenskaper vara viktiga för fokuseringen inom Laxemar. Övriga resultat från ämnesområdena geologi, bergmekanik, hydrogeologi och hydrogeokemi måste också vägas in.

Miljöaspekter är främst förknippade med slutförvarets ovanmarksdel och tillhörande infrastruktur (vägar, transporter, m m). Underjordsdelarna förväntas inte negativt påverka friluft-, natur- och andra miljöintressen. Ovanmarksdelen måste naturligtvis ha en lämplig förbindelse med underjordsdelen, men i huvudsak finns det ganska stora frihetsgrader vad det gäller dess placering på marken. Öster om kustvägen gäller särskilda bestämmelser för hushållning med mark och vatten enligt kapitel 4§3 i miljöbalken. Därmed bedöms en placering av en ovanmarksanläggning där vara olämplig. Väster om kustvägen håller flera ovanjordsalternativ på att studeras. Vår bedömning är att en central eller sydvästlig placering av ovanjordsdelen är gynnsam med hänsyn till områdets natur- och kulturmiljö. När den fortsatta platsundersökningen kommer att resultera i en mer preciserad förvarsutformning kommer miljöaspekterna att ha en central roll vid placering och utformning av ovanjordsdelarna.

I den nedanstående texten ges en värdering kopplad till de olika faktorer och förhållanden som diskuteras i denna rapport.

4.1.1 Regionala och lokala större deformationszoner

Regionala deformationszoner finns utanför delområde Laxemar. Ett par av dem sammanfaller med delområdets avgränsning. Några lokala större deformationszoner sammanfaller med delområdets avgränsning medan några förekommer inom delområdet. Ingen deformationszon inom delområde Laxemar bedöms vara av sådan karaktär att den inte får förekomma inom det område som omfattas av förvaret.

Zon EW007 bedöms vara möjlig att passera på förvarsnivå, vilket då innebär att förvaret kan utbreda sig både norr och söder om denna deformationszon. En högre frekvens av sprickor karakteriserar området nära zonen i karterade borrkärnor. Av den anledningen kan delar av bergvolymen kring EW007 vara olämpliga som deponeringsområden.

4.1.2 Bergmassans vattenförande egenskaper (mellan större deformationszoner)

Förekomst av mindre deformationszoner och sprickor i bergmassan mellan de större deformationszonerna och dess vattenförande egenskaper har betydelse för nyttjandegraden av berget.

Enligt avsnitt 3.3.2 finns det inget som tyder på någon större skillnad i frekvens och orienteringar för de mindre deformationszonerna och sprickorna i bergmassan norr och söder om EW007. Dominerande sprickriktningar bildar ett mönster som återfinns över hela området.

I avsnitt 3.4, om hydrauliska egenskaper, diskuteras eventuella korrelationer mellan hydrauliska egenskaper och andra förhållanden/aspekter. Spricktransmissiviteten verkar inte variera mellan olika bergarter. Den hydrauliska konduktiviteten i 3–5 m skalan tenderar vara något lägre i kvartsmonzodiorit och i de mer basiska bergarterna än i granit, finkornig granit och Ävrögranit. Jämfört med medelvärdet för alla bergarter verkar inte enstaka gångar av finkornig granit i andra bergarter öka den hydrauliska konduktiviteten. Den hydrauliska konduktiviteten är förhöjd i de översta ca 300 metrarna, men någon entydigt djupberoende kan inte bekräftas. Partiet kring EW007 är mer konduktivt, men söder därom förefaller den hydrauliska konduktiviteten vara lägre än norr därom. En fokusering till den södra delen av delområde Laxemar skulle därmed kunna vara befogad, men skillnaderna är för små i förhållande till osäkerheterna i aktuellt dataunderlag för att denna faktor enskilt kan fälla ett avgörande.

4.1.3 Bergets värmeledande egenskaper

Värmeledningsförmågan har i avsnitt 3.8 redovisats för fyra definierade termiska domäner. Lägsta och högsta medelvärde är 2,6 till 2,9 W/m·K, men inom de enskilda domänerna är variationerna stora. Värmeledningstalen är förhållandevis låga och även det högre värdet kan innebära att avståndet mellan kapslarna måste bli större än de 6 m som antagits i referensutformningen. Den högsta värmeledningsförmågan finns i ett centralt stråk med nordvästlig utsträckning. På ömse sidor om denna domän är värmeledningsförmågans medelvärde lägst, medan värdet för domänen längst i syd och sydväst ligger däremellan.

4.1.4 Litologisk homogenitet

Den geologiska kunskapen om delområde Laxemar bedöms vara god. De bergartsdomäner som förekommer är väl kända på ytan men sämre mot djupet. Områdets två huvudbergarter har egenskaper som bedöms gynnsamma för slutförvaret. De underordnade bergarterna (gångar av finkornig granit och pegmatit) bedöms förekomma jämt fördelade i huvudbergarterna. De i avsnitt 3.2 beskrivna kropparna av diorit till gabbro i gränsområdet mellan Ävrögranit och kvartsmonzodiorit bedöms vara av underordnad betydelse för slutförvarets inplacering.

Denna lokaliseringsfaktor bedöms därför ha låg vikt.

4.1.5 Övriga faktorer

Bergets mekaniska egenskaper bedöms vara lämpliga för ett förvar. I anslutning till större deformationszoner kan dock lokal vittring inte uteslutas. Passage av sådana partier diskuteras i avsnitt 3.8. Sprickigheten beskrivs med viss osäkerhet i DFN-modeller, men bedöms inte ha någon större påverkan på bergets stabilitet på större djup.

Spänningssituationen är troligen tämligen lika den som dokumenterats i Äspö, även om ett delvis varierande spänningsfält i anslutning till större deformationszoner inte kan uteslutas.

Erfarenheterna från tunnarna i det närliggande Äspö Hard Rock Laboratory kan ses som en av de starkaste referenserna till att bergmekaniska förhållanden torde vara gynnsamma, för att bygga ett slutförvar, åtminstone ner till minst ca 600 m djup.

Vad det gäller bergets transportegenskaper som eventuell fokuseringsfaktor kan konstateras att vi med dagens tillgängliga information inte kan urskilja några skillnader i retentions-egenskaper mellan olika delar av delområde Laxemar. Transportegenskaper bedöms därför inte påverka fokuseringen inom delområde Laxemar.

De hydrogeokemiska förhållandena bedöms gynnsamma i hela området, varför denna faktor inte heller kan vägleda vid prioriteringen.

4.1.6 Sammantagen värdering/viktning

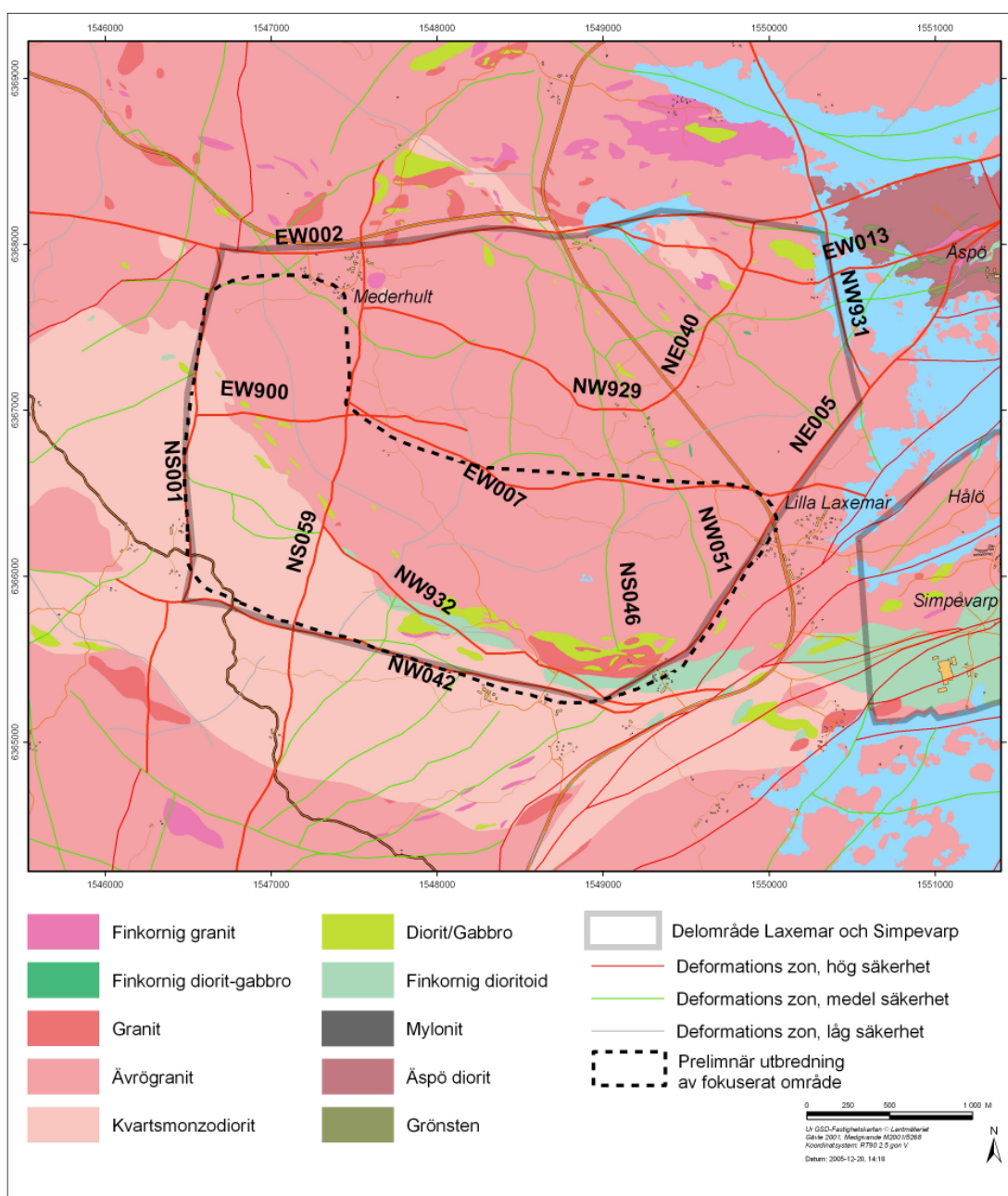
De två faktorer som bedöms ha den största betydelsen för val av lämpliga deponeringsområden för ett slutförvar inom delområde Laxemar är värmeledningsförmågan och bergets vattenförande egenskaper. Enligt redovisningar i kapitel 3 är värmeledningsförmågan mest gynnsam (högst) i den centrala delen av delområdet i riktning mot nordväst, medan de gynnsammaste (lägsta) vattenförande egenskaperna verkar finnas i den södra delen av delområde Laxemar. En tredje väsentlig, men ej avgörande, faktor är deformationszon EW007. Zonen bedöms visserligen kunna passeras på förvarsdjup varvid deponeringsområden ska kunna placeras på båda sidor. Den tolkade nordliga stupningen hos zonen tyder på möjligheter till större sammanhängande potentiella deponeringsområden söder om zonen än norr därom. Vår kvarstående osäkerhet om zonens geometriska utbredning mot djupet innebär dock en osäkerhet i hur bergvolymen på förvarsdjup kan utnyttjas som deponeringsområden.

Eftersom bergets vattenförande egenskaper har betydelse både för byggbarhet/nyttjandegrad och långsiktig säkerhet bedöms den vara av större vikt än värmeledningsförmågan som endast påverkar bergets nyttjandegrad. Detta innebär att den södra delen av delområde Laxemar bedöms vara något mer gynnsam för ett slutförvar än den norra delen. De termiska egenskaperna i nordväst gör det intressant att också inkludera den delen av delområdet. Hela området väster om NS059 visar ur strukturgeologisk synpunkt en förhållandevis homogen bild.

Den samlade geovetenskapliga bedömningen enligt ovan ger att de fortsatta undersökningarna i första hand ska inriktas till den södra och västra delen av delområde Laxemar. Det på detta sätt avgränsade området benämns ”det fokuserade området” i delområde Laxemar, se figur 4-1. Denna fokusering ger, med hänsyn till möjligheten att kunna passera EW007, goda möjligheter att vid behov också kunna gå mot den norra delen av delområde Laxemar.

Studier av möjliga layouter för slutförvaret visar – utifrån nuvarande kunskap om bergets deformationszoner på förvarsdjup – att förutsättningarna är mer gynnsamma söder än norr om EW007. Flera placeringar av ovanjordsanläggningen har studerats, både med hänsyn till lämpligt utförande och till miljöpåverkan. Två av de studerade platserna är belägna söder om EW007.

Det fokuserade området för fortsatta undersökningar enligt figur 4-1 är huvudsakligen inramat av några tolkade deformationszoners utgående på markytan. Avgränsningen är till sin natur ungefärlig och styrs i synnerhet mot djupet av bergets väsentliga egenskaper. Den givna geografiska inriktningen ger ett tillräckligt underlag för att kunna planera de fortsatta platsundersökningarna, se vidare avsnitt 4.2.



Figur 4-1. Fokuserat område för fortsatta undersökningar inom delområde Laxemar.

4.2 Inriktning för KPLU-program

Inriktningen för den fortsatta platsundersökningen (det andra steget av den kompletta platsundersökningen) inom delområde Laxemar är:

- Undersökningarna ska utgå från den centrala delen av delområde Laxemar och omfatta ett så stort område däromkring att tillräckligt stora bergvolymmer som bedöms lämpliga för slutförvaret kan verifieras.
- Undersökningarna inriktas i första hand mot den södra och västra delen eftersom detta område sammantaget bedöms vara mest gynnsamt för slutförvaret.
- Denna inriktning ger goda möjligheter att vid behov också gå mot den norra delen av delområde Laxemar.

Denna inriktning innebär att:

- Ett program för den återstående delen av den kompletta platsundersökningen i delområde Laxemar kan upprättas utifrån dessa utgångspunkter. Programmets mål är att beskriva de undersökningsinsatser som krävs för att en ansökan för slutförvaret ska kunna lämnas in under 2008. Undersökningarna ska vara slutförda sommaren 2007.
- Undersökningarna genomförs i huvudsak i den södra och västra delen av delområde Laxemar i syfte att belägga deformationszoner, deras geometri och deras geologiska och hydrauliska egenskaper samt bergmassans egenskaper i anslutning till zonerna och i anslutande deponeringsvolymmer.
- Fortsatta undersöknings- och modelleringsresultat kommer successivt att klarlägga egenskaperna för bergområden, inklusive deformationszoner som kan påverka slutförvarets utformning. Särskilt viktigt är att klarlägga berggrundens system av lokala mindre deformationszoner, främst med avseende på geometrier och vattenförande egenskaper.
- Undersökningar i den regionala omgivningen görs i den omfattning som platsspecifik information erfordras för säkerhetsanalys och annan övergripande bedömning av platsens lämplighet.

Referenser

Alberts C, Gustavsson G, 1983. Underground construction in weak rock – Water problems and sealing measures, Technical Report No 106, BeFo.

Chang Y, Swindell R, Bogdanoff I, Lindström B, Termén J, Starsec P, 2005. Study of tunnelling through water-bearing fracture zones – Baseline study of technical issues with NE-1 as reference. SKB R-05-25, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Eriksson L O, 1988. Fracture mapping study on Äspö island. Findings of directional data. SKB PR 25-88-10, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Jansson T, Stigsson M, 2002. Test with different stress measurement methods in two orthogonal bore holes in Äspö HRL. SKB R-02-26, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Juhlin C, Bergman B, Palm H, 2004. Reflection seismic studies performed in the Laxemar area during 2004. Oskarshamn site investigation. SKB P-04-215, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Ljunggren C, Klasson H, 1997. Drilling KLX02, Phase 2. Lilla Laxemar, Oskarshamn. Deep hydraulic fracturing rock stress measurements in borehole KLX02, Laxemar. SKB PR U-97-27, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Persson Nilsson K, Bergman T, Eliasson T, 2004. Oskarshamn site investigation. Bedrock mapping 2004 – Laxemar subarea and regional model area. Outcrop data and description of rock types. SKB P-04-221, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Rhén I (ed), Gustafson G, Stanfors R, Wikberg P, 1997. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/5. Models based on site characterization 1986–1995. SKB TR-97-06, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Sjöberg J, Perman E, 2005. Oskarshamn site investigation. Overcoring rock stress measurements in borehole KLX04. SKB P-05-69 (på tryckning), Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2003. Prioritering av områden för platsundersökningen i Oskarshamn. SKB R-03-12, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004a. Platsundersökning Oskarshamn. Program för fortsatta undersökningar av berggrund, mark och vatten. SKB P-04-300, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2004b. Deep repository. Underground design premises, Edition D1/1. SKB R-04-60, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2005. Preliminary Site Description. Simpevarp subarea – version 1.2. SKB R-05-08, Svensk Kärnbränslehantering AB, Stockholm.

SKB, 2006. Preliminary Site Description, Laxemar subarea – version 1.2. SKB R-06-10 (Report in progress), Svensk Kärnbränslehantering AB.

Streckeisen A, 1976. To each plutonic rock its proper name. Earth Science Reviews 12, 1–33.

Thunhed H, Triumf C-A, 2005. Detailed ground geophysical survey at Laxemar. Magnetic total field and resistivity. SKB P-05-188, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Wahlgren C-H, Bergman T, Persson Nilsson K, Eliasson T, 2005. Oskarshamn site investigation. Bedrock map of the Laxemar subarea and surroundings. Description of rock types, modal and geochemical analysis. SKB P-05-180, Svensk Kärnbränslehantering AB.