

R-00-46

Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet

Jämförelse av borrhålsdata från Äspö, Laxemar och Klipperås

Sven Follin
SF GeoLogic AB

Per Askling, Seje Carlsten, Allan Stråhle
GEOSIGMA AB

December 2000

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864
SE-102 40 Stockholm Sweden
Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00
Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-00-46

Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet

Jämförelse av borrhålsdata från Äspö, Laxemar och Klipperås

Sven Follin
SF GeoLogic AB

Per Askling, Seje Carlsten, Allan Strähle
GEOSIGMA AB

December 2000

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarens(nas) egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

Förord

Denna rapport har tillkommit på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB). Rapportens syfte är att analysera i vad mån vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Äspöområdet är representativ för vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Laxemarområdet och Klipperåområdet. Analysen baseras på en ett begränsat antal borrhålmätningar i sammanlagt sju djupa kärnborrhål i tre olika undersökningsområden.

Sammanfattning

Underlaget till SKB:s säkerhetsanalys SR 97 tyder på att uppmätta värden för urbergets vattengenomsläpplighet i Äspöområdet med god marginal faller inom det vida spridningsintervall som kan sägas täcka in data för svenskt urberg i allmänhet, men att värdena för Äspöområdet, genomsnittligt sett, är något högre än motsvarande genomsnittsvärden på många andra håll.

I den föreliggande rapporten görs ett försök att analysera några tänkbara orsaker till detta förhållande, samt i vad mån vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Äspöområdet är representativ för vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Laxemarområdet och Klipperåsområdet. Analysen baseras på en översiktlig studie av ett **begränsat** antal borrhålmätningar i sammanlagt sju djupa kärnborrhål i tre olika undersökningsområden.

I rapporten jämförs i första hand geometriska medelvärden av borrhålmätningar av bergets vattengenomsläpplighet från tre kärnborrhål i Äspöområdet med motsvarande mätningar från två kärnborrhål i Laxemarområdet och två kärnborrhål i SKB:s typområde i Klipperås i Nybro kommun. Hänsyn tas till faktorer som skillnader i mätskala, mätgräns, mätfel, bergartsfördelning och sprickfrekvens. De två sista faktorerna har använts för att, om möjligt, skilja mätningar i bergpartier med enbart Smålandsgranit från mätningar i bergpartier utan Smålandsgranit, samt, om möjligt, skilja på mätningar i bergmassa med/utan sprickzoner.

Man kan med befintligt dataunderlag som grund konstatera att man inte kommer särskilt långt beträffande definitiva slutsatser i den fråga som rapportens rubrik gör anspråk på. Därtill är osäkerheterna i det analyserade dataunderlaget alltför stora. Följande iakttagelser presenteras dock i rapporten:

- Om man noggrant skiljer på mätintervall där bergmassan innehåller sprickzoner från mätintervall där bergmassan saknar sprickzoner ger studien att (det geometriska medelvärdet av) vattengenomsläppligheten för den första kategorin (bergmassa med sprickzoner) är 10–100 gånger större än för den andra.
- Jämförelse av mätresultat från två mätskalor, 3 meters respektive 20–30 meters mätskala, indikerar att (det geometriska medelvärdet av) vattengenomsläppligheten hos bergpartier med **bergmassa utan sprickzoner** är tämligen likartad i detta intervall.
- För bergpartier där bergmassan saknar sprickzoner förefaller det inte finnas någon positiv korrelation mellan sprickfrekvens och vattengenomsläpplighet. Inte heller antalet bergartskontakter tycks vara positivt korrelerat med vattengenomsläppligheten för dessa bergpartier.
- Den genomsnittliga vattengenomsläppligheten för bergpartier med enbart Smålandsgranit skiljer sig inte nämnvärt från bergpartier utan Smålandsgranit. Iakttagelsen gäller jämförelser av olika bergartspartiets vattengenomsläpplighet för ett **enskilt** borrhål. Om man upprepar beräkningarna för flera borrhål och jämför resultaten finner man att olika borrhål har olika stora genomsnittsvärden.

- Enligt de borrhålsdata som analyseras i denna rapport förefaller Smålandsgranit vara mer dominant i Laxemar- och Klipperåsområdet än i Äspöområdet. I Äspöområdet förekommer fler borrhålsavsnitt, relativt sett, där bergmassan innehåller gångar av finkornig granit (aplit). Det borrhål i Äspöområdet där förekomsten av aplit är som störst uppvisar de högsta genomsnittliga vattengenomsläppligheterna. De lägsta genomsnittliga vattengenomsläppligheterna uppvisar de studerade kärnborrhålen i Klipperåsområdet i Nybro kommun. Laxemarområdet intar i detta avseende en mellanposition.

Det är i alla sammanhang viktigt att komma ihåg att eventuella generaliseringar (extrapoleringar) av data och analysresultat, som avser enskilda borrhål, måste göras med stor försiktighet. Av denna anledning bör iakttagelserna som diskuteras i denna rapport ses som preliminära. Sammantaget konstateras att man inte kan avgöra om förhållandena i Laxemarområdet är bättre eller sämre än de i Äspöområdet med enbart den föreliggande studien som grund. Den bedömning som i nuläget ligger närmast till hands är att förhållandena i de två delområdena förmodligen är likvärdiga vad avser Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet.

De viktigaste slutsatsen i denna rapport är att skillnaden i genomsnittlig vattengenomsläpplighet mellan mätintervall som enbart innehåller Smålandsgranit respektive saknar Smålandsgranit är relativt liten. Den enskilt viktigaste faktorn för vattengenomsläppligheten är om mätintervallet innehåller en sprickzon eller inte. Vattengenomsläppligheten hos bergpartier med normalt uppsprucken Smålandsgranit är således helt jämförbar med den som konstaterats för normalt uppspruckna bergpartier som saknar Smålandsgranit.

Innehållsförteckning

	Sida
1 Inledning	9
1.1 Bakgrund och syfte	9
1.2 Dataunderlag och metodik	9
1.2.1 Äspöområdet	11
1.2.2 Laxemarområdet	12
1.2.3 Klipperåsområdet	12
1.3 Rapportens disposition	13
2 Översiktlig beskrivning av berggrunden i Kalmar län och Oskarshamns kommun	15
2.1 Bergarter	15
2.2 Deformationszoner	17
2.3 Vattengenomsläpplighet	17
3 Osäkerheter i definitioner, metoder och data	21
3.1 Kärnkartering	21
3.1.1 Enskilda sprickor	21
3.1.2 Sprickzonsbegreppet	22
3.2 Bergartskategorier	23
3.3 Nollreferens	25
3.4 Längdfel	25
3.4.1 Allmänt	25
3.4.2 Längdfel vid hydrotester	25
3.5 Tolkningsfel	25
4 Dataunderlag	29
5 Resultat	47
5.1 K-värdets beroende av mätskala och förekomst av sprickzoner	47
5.2 T-värdets beroende av sprickfrekvens och antalet bergartskontakter	49
5.3 Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet	50
6 Slutsatser	53
7 Referenser	55

1 Inledning

1.1 Bakgrund och syfte

Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har genomfört förstudier i ett antal kommuner. Förstudiernas huvudsyfte är att utvärdera förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle i dessa kommuner utifrån befintligt bakgrundsmaterial. Vidare ska förstudierna belysa de konsekvenser som en sådan lokalisering skulle kunna få.

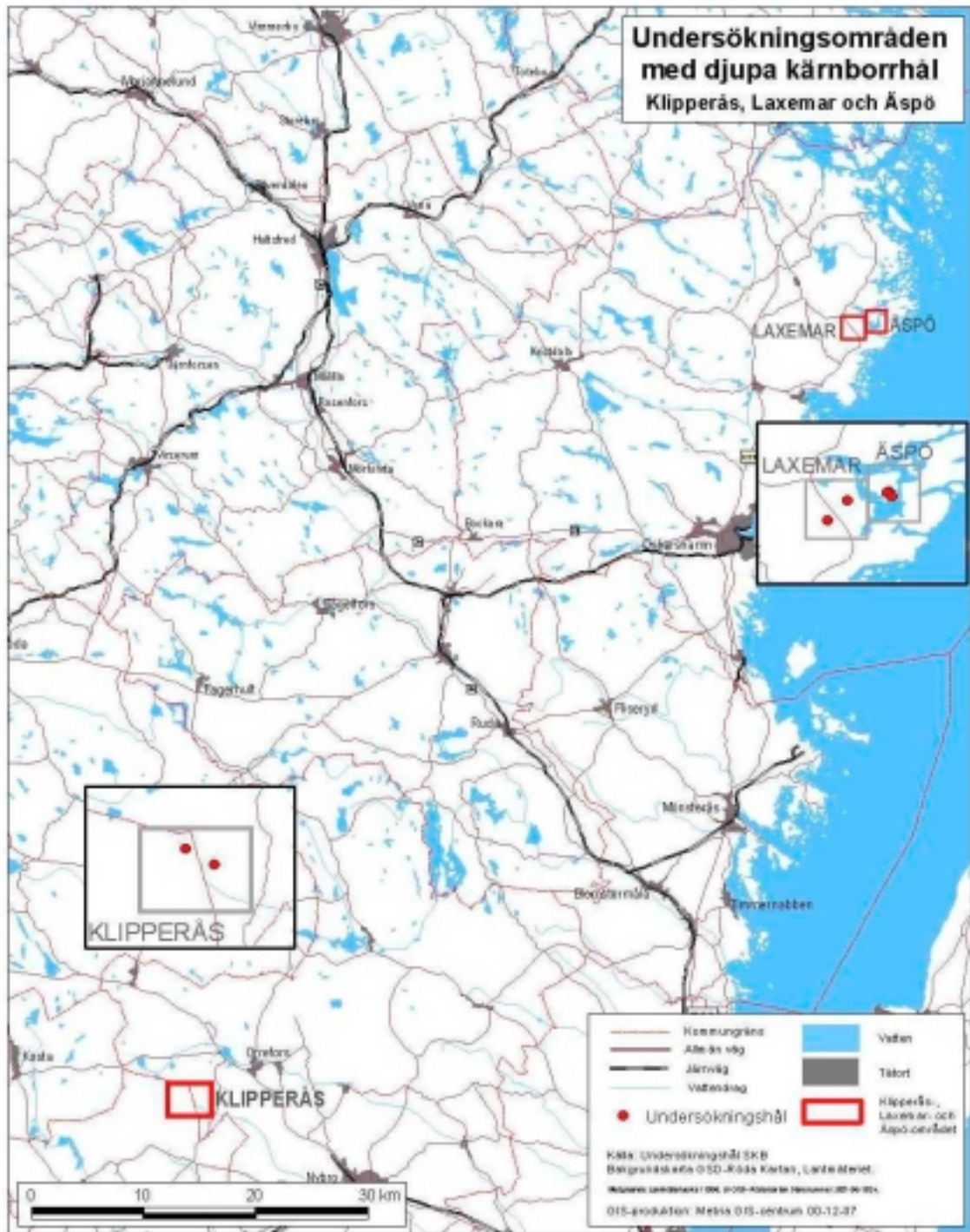
I samtliga förstudier har det geovetenskapliga arbetet begränsats till att sammanställa och analysera befintliga data. Utgående enbart från detta underlag kan inga detaljerade säkerhetsanalyser utföras. Ett undantag är de omfattande undersökningarna i Äspöområdet i den nordöstra delen av Oskarshamns kommun, där resultaten har använts i SKB:s säkerhetsanalys SR 97 /SKB, 1999/. För övriga delar av Oskarshamns kommun kan man inte fastslå att någon viss plats verkligen har de säkerhetsmässiga förutsättningarna för ett djupförvar. Däremot kan man översiktligt bedöma de generella förutsättningarna i olika delar av kommunen vad avser långsiktig säkerhet. Bedömningarna baseras på de lokaliseringsfaktorer som diskuteras i slutrapporten för Förstudie Oskarshamn /SKB, 2000/ och på allmän kunskap om sambanden mellan berggrundsförhållanden vid markytan respektive på förvarsdjup.

Underlaget till SR 97 tyder på att uppmätta värden för bergmassans vattengenomsläpplighet i Äspöområdet med god marginal faller inom det vida spridningsintervall som kan sägas täcka in data för svenskt urberg i allmänhet, men att värdena för Äspö, genomsnittligt sett, är något högre än motsvarande genomsnittsvärden¹ på många andra håll /Walker m fl, 1997/. I den föreliggande rapporten görs ett försök att analysera detta förhållande, samt i vad mån vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Äspöområdet är representativ för vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Laxemar- och Klipperåsområdet. Analysen baseras på en översiktlig studie av ett **begränsat** antal borrhålmätningar i sammanlagt sju djupa kärnborrhål i de tre områdena, se figur 1-1.

1.2 Dataunderlag och metodik

Dataunderlaget för de studerade borrhålen är lagrat i SKB:s geovetenskapliga databas, SICADA. Materialet härrör från olika perioder, vilket innebär att kvaliteten varierar. Äldst är hydrotestmätningarna i Klipperåsområdet, som daterar sig till första halvan av 1980-talet. Yngst är några av mätningarna i Laxemarområdet, vilka ännu inte är fullständigt avrapporterade. SKB har kvalitetsgranskat mätningarna i Laxemarområdet och ställt samman resultaten för vidare analys i denna rapport.

¹ Med genomsnittsvärde menas i denna rapport i allmänhet geometriskt medelvärde.



Figur 1-1. Karta över Kalmar län med läget för de studerade kärnborrhålen i Klipperås- (KKL01 och KKL02), Laxemar- (KLX01 och KLX02) och Äspöområdet (KAS02, KAS05 och KAS06).

I rapporten tas hänsyn till faktorer som mätskala, tolkningsmetod, mätgräns, mätfel, bergartsfördelning och sprickfrekvens i analysen av bergets vattengenomsläpplighet. De två sista faktorerna – bergartsfördelning och sprickfrekvens – har använts för att jämföra mätningar i bergpartier med enbart Smålandsgranit med mätningar i bergpartier utan Smålandsgranit, samt för att jämföra mätningar i bergmassa med/utan sprickzoner. Dessa två typer av jämförelser utgör rapportens tyngdpunkt.

Med **mätskala** avses i denna rapport längden på den mätsektion som används för att bestämma det studerade bergpartiets vattengenomsläpplighet. Enligt /Walker m fl, 1997/ uppvisar bergmassans vattengenomsläpplighet i Äspöområdet ett skalberoende, som man måste ta hänsyn till vid statistiska jämförelser av det slag som redovisas i denna rapport.

Med **tolkningsmetod** avses här det sätt som det studerade bergpartiets vattengenomsläpplighet beräknas. Aktuella metoder i denna rapport är Moye /Moye, 1967/, Cooper-Jacob /Cooper och Jacob, 1946/ och Theim /Theim, 1906/.

Med **mätgräns** avses här det lägsta värde på vattengenomsläppligheten som kan bestämmas för ett givet mätinstrument, en given sektionslängd och en viss tolkningsmetod.

Med **mätfel** avses olika typer av tekniska ofullkomligheter som t ex töjning i mät-systemens kablar, skilda referenspunkter vid längdmätning, karteringsfel, etc, vilket i sin tur skapar problem vid korrelation av olika typer av information.

På grund av att många egenskaper hos sprickigt berg är inhomogena (egenskaperna varierar från punkt till punkt) används vanligtvis statistiska beräkningar för att analysera faktorer som påverkar bergmassans. Matematiken bakom de statistiska mått som används i denna rapport är enklast tänkbara, medan stor möda har lagts på kvalitetskontroll av indata. Eventuella osäkerheter hos ovanstående faktorer, som inte är kvantifierbara på förhand, blir likafullt en del av analysresultatet. Detta försvårar möjligheterna att dra tydliga slutsatser. Det största problemet i sammanhanget är dock att de naturliga variationerna är så stora och att antalet datapunkter är förhållandevis få. Med tanke på detta är det i alla sammanhang viktigt att komma ihåg att eventuella generaliseringar (extrapoleringar) av data och analysresultat, som avser enskilda borrhål, måste göras med stor försiktighet. Av denna anledning bör de iakttagelser som diskuteras i rapporten ses som preliminära.

1.2.1 Äspöområdet

I Äspöområdet har undersökningar pågått sedan 1986. Uppgifter om undersökningarna och analyser av mätresultaten finns redovisade i /Stanfors m fl, 1997a,b; Rhén m fl, 1997a,b,c/. Hydrotestdata från området finns för 14 kärnborrhål borrade från markytan. I denna rapport har tre av dessa studerats närmare, nämligen KAS02, KAS05 och KAS06. Två av dessa är nästan vertikala (85° från horisontalplanet) medan det tredje lutar 60° från horisontalplanet. Alla tre är hydraultestade till stora djup. I denna rapport har data mellan 102–792 meter, 157–541 meter respektive 105–591 meter analyserats.

Mätningarna i KAS02 utfördes 1989 i två mätskalor, 3 meter och 30 meter, och tolkades med två metoder, Moye och Cooper-Jacob. Den vanligaste testutrustningen som användes var sk multislangustrustning. Den nedre mätgränsen för denna typ av utrust-

ning är ca $1.5 \cdot 10^{-11}$ m/s för 3 meter långa mätsektioner och ca 10^{-11} m/s för 30 meter långa mätsektioner. På grund av mättekniska problem vid 3 meters mätningarna har endast 30 meters mätningarna studerats närmare i denna rapport.

Mätningarna i KAS05 och i KAS06 utfördes 1989 i 3 meters mätskala och tolkades med två metoder, Moyer och Cooper-Jacob. Även i detta fall användes den s k multislangutrustningen.

1.2.2 Laxemarområdet

I Laxemarområdet finns två kärnborrhål, KLX01 och KLX02. Dessa är nästan vertikala (85° resp 85°) och hydraultestade till stora djup. I denna rapport har data mellan 106–691 meter respektive 206–1 150 meter analyserats.

Mätningarna i KLX01 utfördes 1989 i två mätskalor, 3 meter och 30 meter, och tolkades med två metoder, Moyer och Cooper-Jacob. Använd utrustning vid testerna var den s k multislangutrustningen.

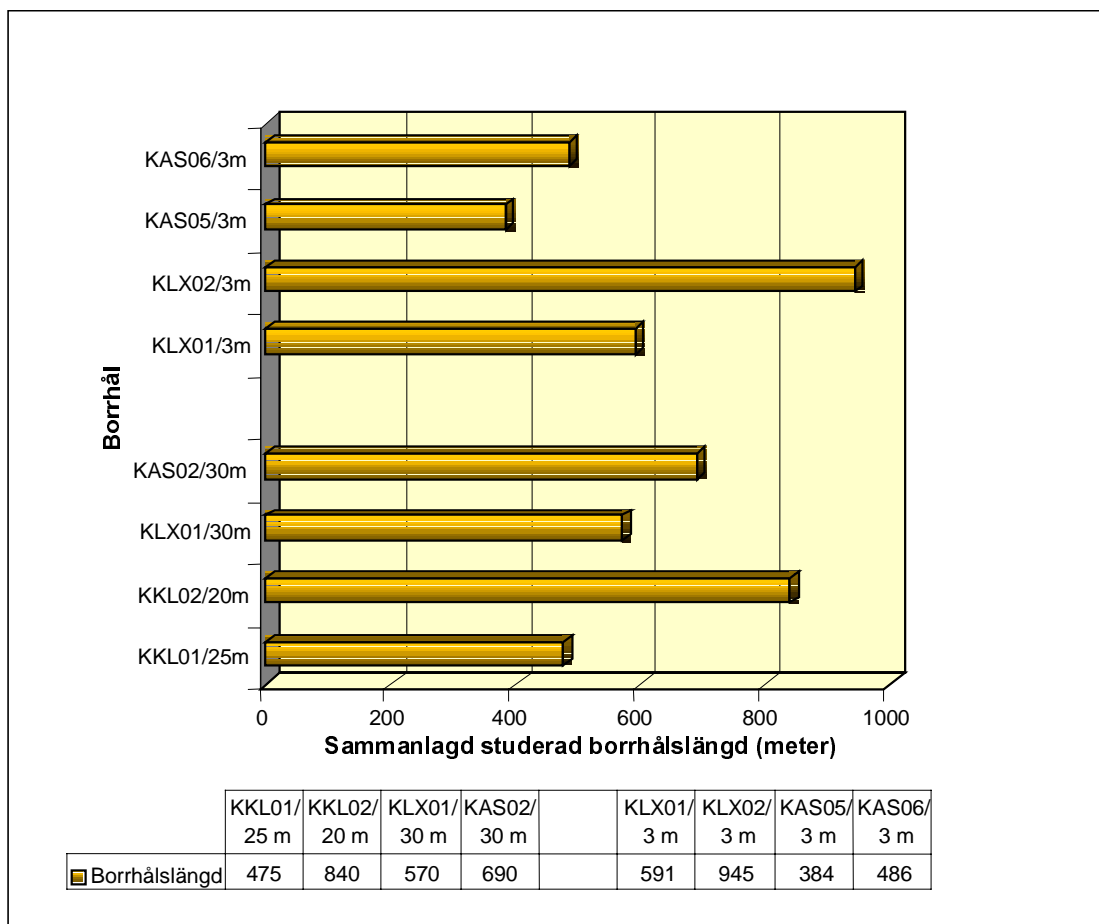
Mätningarna i KLX02 utfördes våren 2000 i 3 meters mätskala och är tolkade med Thiems metod. Testerna gjordes med Posivas flödeslogg /Öhnberg och Rouhiainen, 2000/ s k differensflödesmätning. Den nedre mätgränsen för denna utrustning är ca 10^{-10} m/s för 3 meter långa mätsektioner, dvs något högre än för multislangutrustningen. I analysen har därför alla mätvärden som ligger på mätgränsen i KLX02 justerats nedåt med en faktor $(1 \cdot 10^{-10} / 1.5 \cdot 10^{-11}) \approx 6,67$. En utförligare förklaring till justeringen redovisas i avsnitt 3.5.

1.2.3 Klipperåsområdet

I Klipperåsområdet pågick undersökningar mellan 1982–1985. Uppgifter om undersökningarna och analyser av mätresultaten finns redovisade i /Gentzschein, 1986; Nilsson m fl, 1987; Andersson och Lindqvist, 1988; Ahlbom m fl, 1992/. I området finns sju kärnborrhål borrade från markytan med hydrotestdata. Två av dessa, KKL01 och KKL02, är förhållandevis vertikala (80° resp 78° lutning från horisontalplanet) och hydraultestade till stora djup. I denna rapport har data mellan 31–556 meter respektive mellan 60–930 meter analyserats.

Mätningarna i KKL01 och KKL02 utfördes 1983 och 1984 i 25 respektive 20 meters mätskala, och tolkades med Moyes metod. Utrustningen vid testerna var s k multislangutrustning. Den nedre mätgränsen för denna typ av utrustning är ca 10^{-11} m/s för 20–30 meter långa mätsektioner.

I figur 1-2 visas sammanlagd studerad borrhålslängd för vart och ett av de sju kärnborrhål som analyseras i denna rapport.



Figur 1-2. Sammanlagd studerad borrhålslängd för vart och ett av de sju kärnborrhålen. Talet efter borrhålsbeteckningen anger mätsektionens längd.

1.3 Rapportens disposition

I kapitel 2 ges en översiktlig beskrivning av förekommande bergarter och deformationszoner, samt av vattengenomsläppligheten i den ytnära berggrunden. Kapitel 3 handlar om olika typer av osäkerheter. Dataunderlagen för vart och ett av de sju borrhålen presenteras i kapitel 4. I kapitel 5 redovisas resultaten av de utförda analyserna och, slutligen, i kapitel 6 återfinns rapportens slutsatser.

2 Översiktlig beskrivning av berggrunden i Kalmar län och Oskarshamns kommun

2.1 Bergarter

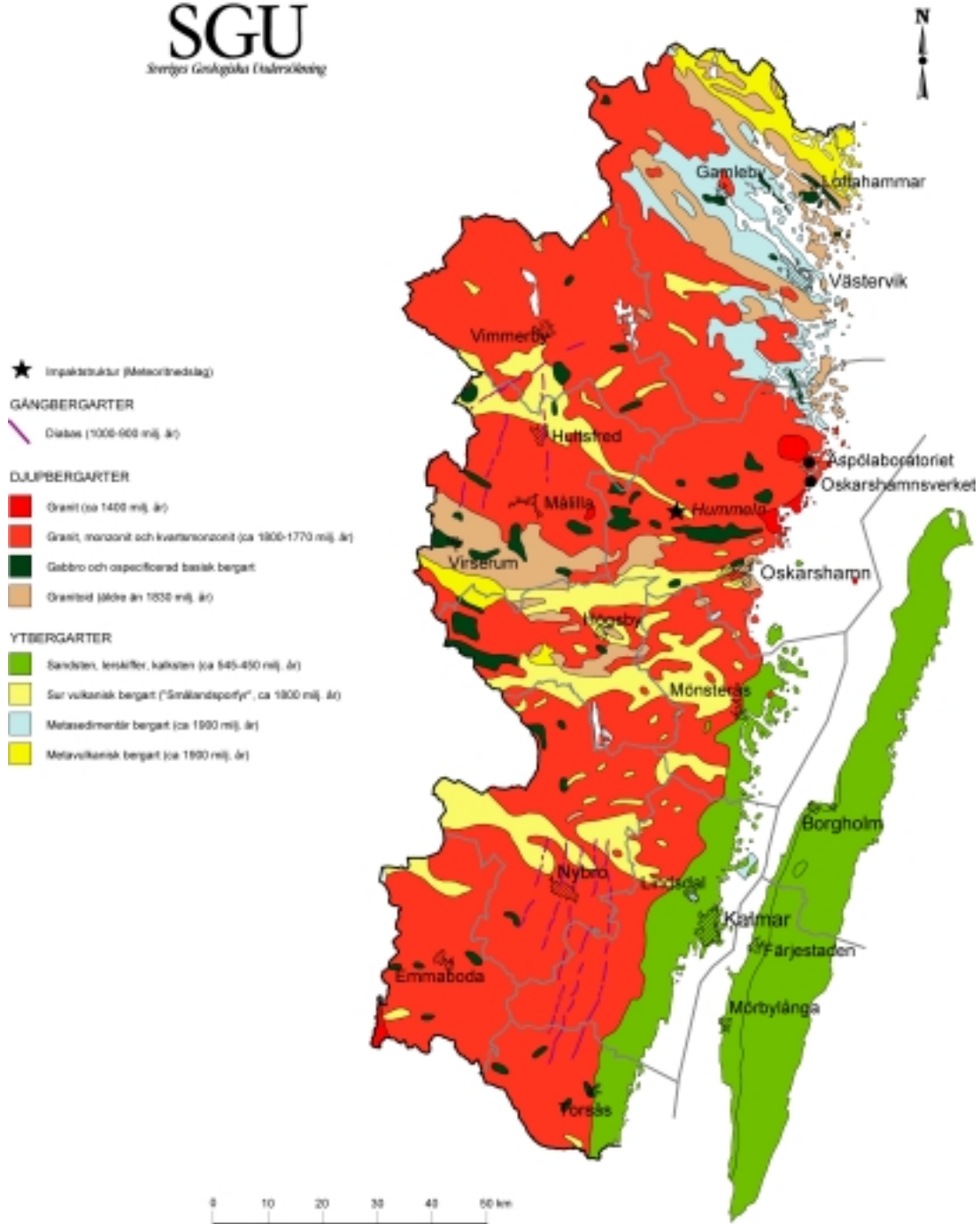
Figurena 2-1 till och med 2-3 visar, något modifierade, de översiktskartor som tagits fram på basis av befintlig information inom länsstudien för Kalmar län /SGU, 1998/

Berggrundskartan över Kalmar län återges i figur 2-1. De arealmässigt dominerande bergarterna är cirka 1 800 miljoner år gamla graniter, granodioriter och monzoniter. I denna del av landet går dessa bergarter under samlingsnamnet ”Smålandsgranit” (röd färg på kartan). I delutredningen om jordarter, bergarter och deformationszoner i Oskarshamns kommun /Bergman m fl, 1998/ indelas Smålandsgraniten i ett antal varianter, alltefter sammansättning och utseende. Gränserna mellan dessa är flytande. Ett exempel på en något mer basisk variant av Smålandsgranit är Äspödiorit, vilken vanlig i området mellan Äspö och Laxemar.

Sammantaget består berggrunden i hela den norra halvan av Oskarshamns kommun till övervägande del av Smålandsgranit. Det samma gäller kommundelen söder om Oskarshamn. Smålandsgraniten är i regel massformig och kan vara homogen över stora områden. Den saknar såvitt bekant mineraliseringar av betydelse. För Klipperåsområdet i Nybro kommun (jmf kartan i figur 1-1) är Smålandsgranit också den helt dominerande bergartskategorin.

I anslutning till Smålandsgranit förekommer kroppar av gabbro och diorit, s k grönstenar, som är basiska (kvartsfattiga) djupbergarter. De största områdena med sådana bergarter finns i ett stråk från Virkvarn strax norr om Oskarshamn, och västerut till länsgränsen för Kalmar län.

Det finns också några områden med granit som bildats för cirka 1 400 miljoner år sedan (mörkröda på kartan), alltså väsentligt senare än områdena med Smålandsgranit. Dessa yngre graniter bildar väl avgränsade massiv, bland annat nordväst om Äspölaboratoriet, utefter kusten söder om Oskarshamnsverket, samt ön Blå Jungfrun öster om Oskarshamn. Efter sina utbredningsområden benämns dessa Götemarggranit, Uthammargranit och Jungfrugranit (namnen är ej med på kartan).



Figur 2-1. Förenklad berggrundskarta över Kalmar län (modifierad efter /SGU, 1998/.

2.2 Deformationszoner

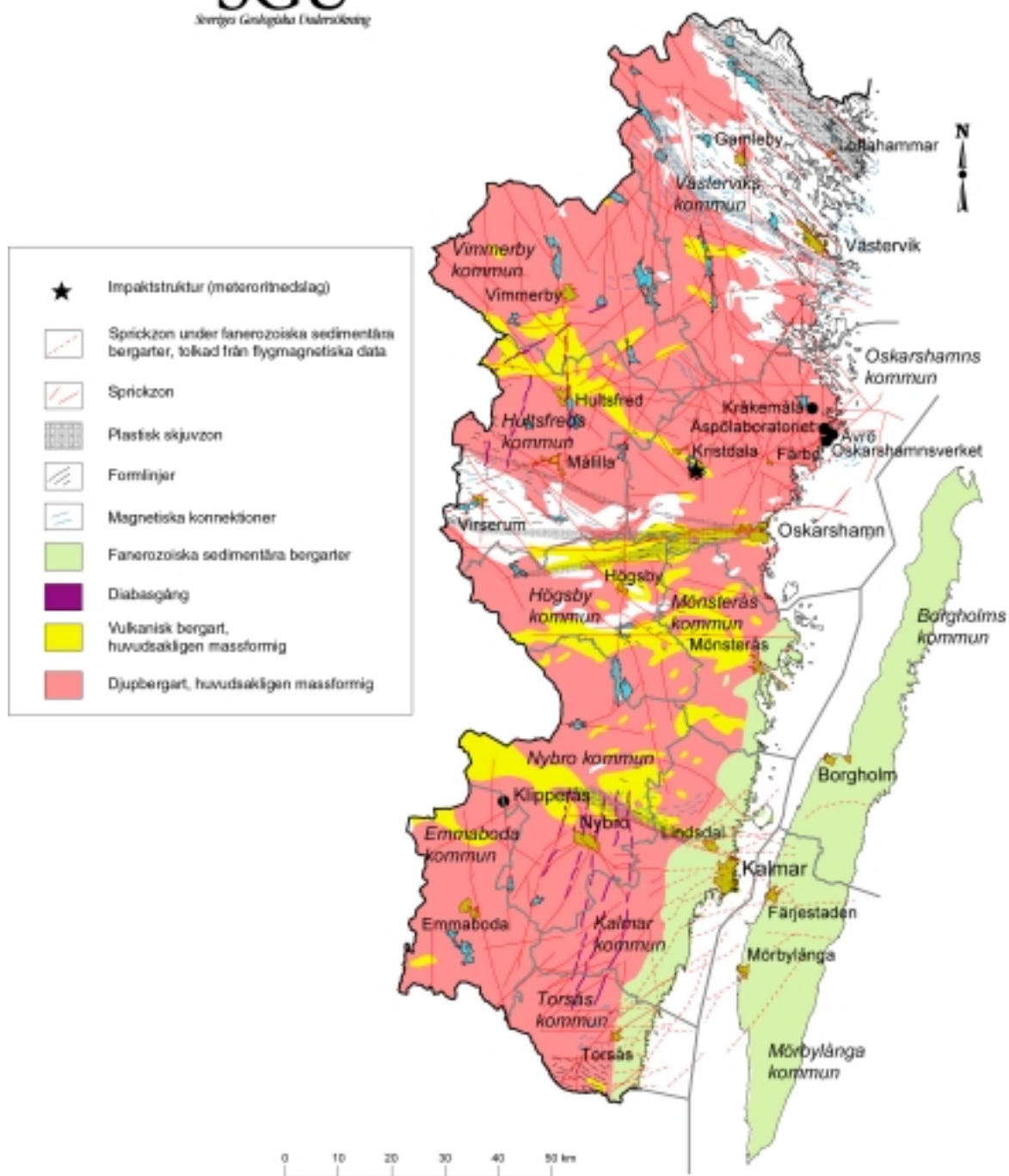
Deformationszonskartan över Kalmar län återges i figur 2-2. Kartan bygger på en samtolkning av omfattande information från en rad källor som inkluderar i första hand geofysiska (främst magnetiska) och topografiska data, samt fältobservationer i samband med geologisk kartering. Även tidigare tolkningsarbeten har beaktats. Kartan visar tolkade sprickzoner och plastiska skjuvzoner, formlinjer, magnetiska konnektioner, fanerozoiska sedimentära bergarter, diabasgångar och huvudsakligen massformiga vulkaniska bergarter och djupbergarter.

De röda linjerna på kartan markerar sprickzoner som framträder tydligt i den aktuella skalan och som kan följas tiotals kilometer. Zonerna bildar ett mönster som är typiskt för områden med väl bevarade, massformiga bergarter. Kartan anger också områden med plastiskt deformerad berggrund samt observationer av starkt deformerade bergarter (krossbreccia och mylonit). Berggrunden i centrala delen av länet är skenbart fattig på sprickzoner. Detta beror dels på avsaknaden av flygmagnetiskt underlag för tolkning av sprickzoner, dels på att höjddata inte ger mycket information beroende på den flacka topografin i ett 5–7 kilometer brett område utmed kusten, från Oskarshamn och söderut. I berggrunden väster om Simpevarpsområdet förekommer relativt sett fler sprickzoner. De zoner som framträder i förstudiens undersökningsskala (1:100 000) avgränsar berggrundsblock i den nordöstra delen av Oskarshamns kommun som är upp till 10–15 kvadratkilometer stora /Bergman m fl, 1998/. Enligt de undersökningar som utförts med anledning av byggandet av Äspölaboratoriet förekommer ett flertal lokala mindre sprickzoner och skjuvzoner i anslutning till Äspötunneln /Stanfors m fl, 1997b/.

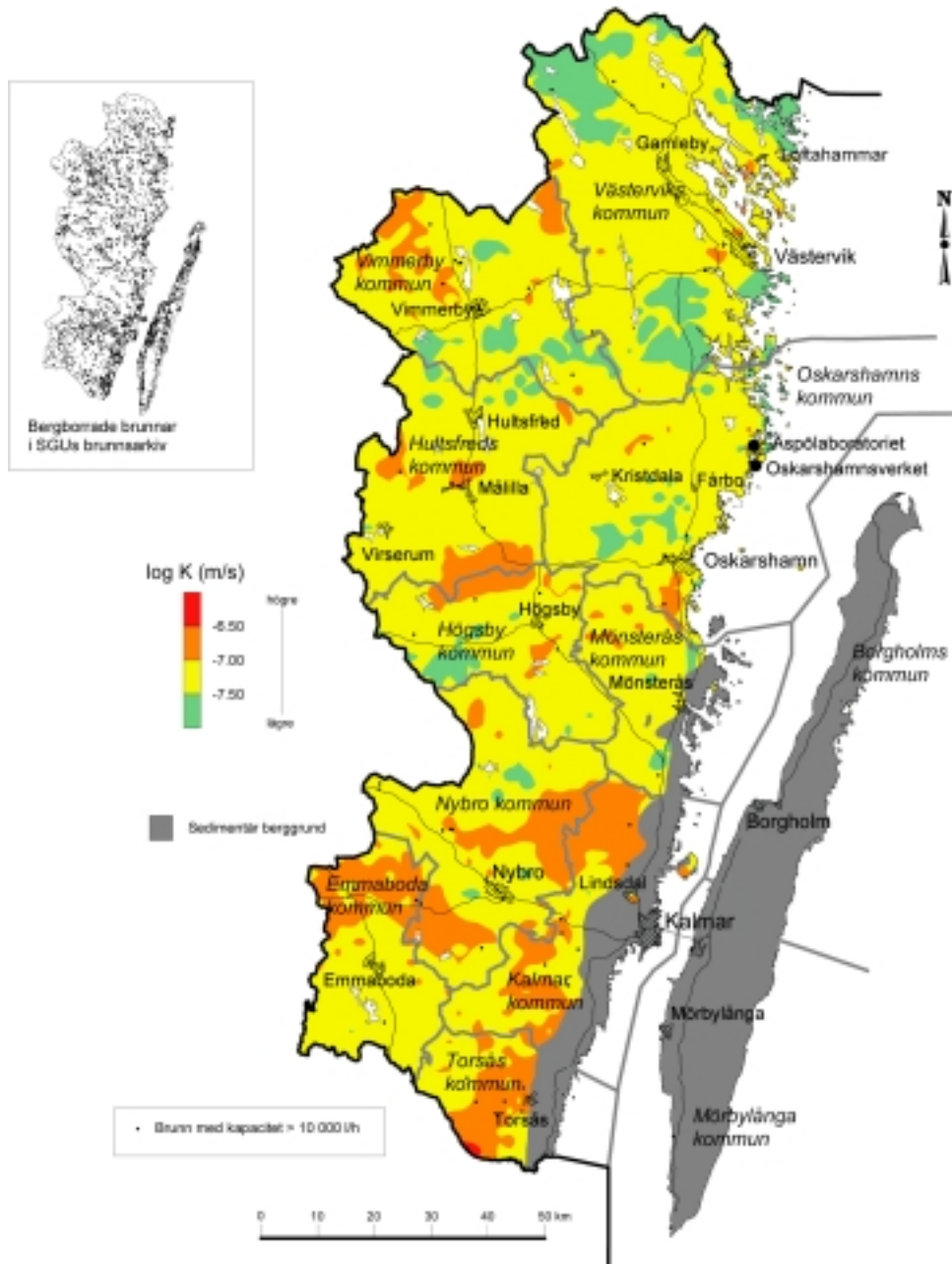
2.3 Vattengenomsläpplighet

Kartan i figur 2-3 återger den ytliga berggrundens vattengenomsläpplighet (K-värde) i Kalmar län. Kartan bygger på en interpolation av K-värden som beräknats på basis av brunnsuppgifter från ca 2 500 brunnar i SGU:s brunnsarkiv. De beräknade värdena bedöms representativa ned till ca 100 meters djup. Medianvärdet för beräknat K-värde är $5,9 \cdot 10^{-8}$ meter/sekund.

Det gulmålade området i figur 2-3, som sammanfaller väl med utbredningen av Smålandsgranit, representerar enligt legenden en vattengenomsläpplighet (uttryckt som $\log K$) mellan $(-7,5)$ och (-7) , dvs $3,2 \cdot 10^{-8}$ meter/sekund. I delutredningen om grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar i Oskarshamn kommun /Follin m fl, 1998/ uppskattades berggrundens genomsnittliga K-värde för den nordöstra delen av kommunen till $6,3 \cdot 10^{-8}$ meter/sekund. Enligt utredningen om grundvattensänkning och dess effekter vid byggnation och drift av ett djupförvar /Axelsson och Follin, 2000/ motsvarar dock angivet inläckage till Äspötunneln ett genomsnittligt K-värde som är ca fyra gånger högre än kommungenomsnittet beräknat utifrån data i SGU:s brunnsarkiv. Det höga värdet visar att vattenförande sprick- och skjuvzoner står i kontakt med Äspötunneln.



Figur 2-2. Förenklad deformationszonskarta över Kalmar län (modifierad efter /SGU, 1998/).



Figur 2-3. Karta över den yt nära berggrundens vattengenomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K -värde) i Kalmar län (modifierad efter /SGU, 1998/). Antalet bergbrunnar som analyserats är ca 2 500.

3 Osäkerheter i definitioner, metoder och data

Detta kapitel presenterar och diskuterar osäkerheter i definitioner, metoder och data. Osäkerheterna orsakar en högre varians, vilket i sin tur påverkar signifikansen i de statistiska beräkningarna.

3.1 Kärnkartering

Information om sprickor, sprickzoner och bergarter inhämtas genom s k kärnkartering. Under de senaste tjugo åren har fyra olika metoder för kärnkartering tillämpats vid SKB:s borrhålsundersökningar:

- Protokollskartering, som användes fram till 1983.
- ABC-kartering, som användes mellan 1983–1988.
- PetroCore-kartering, som användes mellan 1988–1998.
- Boremap-kartering, som successivt kommit att användas allt mer sedan 1998.

Protokollskartering: Den tidigaste formen av kärnkartering utfördes med hjälp av tumstock, papper och penna. Geologen stod vid kärnkarteringsbordet och antecknade de geologiska iakttagelserna i ett protokoll. Iakttagelserna nivåbestämde med tumstocken.

ABC-kartering: Vid tiden då Klipperås var aktuellt för undersökning användes det första datoriserade kärnkarteringssystemet.

PetroCore-kartering: Vid undersökningarna på Äspö och Laxemar användes ett nykonstruerat datorbaserat karteringssystem, PetroCore. I ett inledande skede med inkörningsproblem med PetroCore, användes dock ABC-systemet vid kartering av delar av KAS02 och KAS05. Data från dessa karteringar konverterades omgående till PetroCore-systemet.

Boremap-kartering: Med introduktionen av ett avancerat TV-loggningssystem (BIPS), finns numera möjlighet till orienterad kärnkartering. Detta har medfört att ett nytt borrhålskarteringssystem har utvecklats.

3.1.1 Enskilda sprickor

I tabell 3-1 anges de koder som används för skilda typer av sprickor i de olika kärnkarteringssystemen.

Tabell 3-1. Kärnkarteringskoder. C = coated (N = naturlig; 2); S = sealed (L = läkt; 3); F = fresh (F frisk; 1).

Spricktyp	Kärnkarteringssystem			
	ABC(eng)	ABC(sve)	PetroCore	Boremap
Naturlig	C	N	2	2
Läkt	S	L	3	3
Frisk	F	F	1	1

Bedömningsgrunden för de olika spricktyperna är dock oförändrad mellan de olika kärnkarteringssystemen:

Naturlig – Spricka som delat kärnan och uppvisar sprickmineral eller -omvandling.

Läkt – Spricka som ej delat kärnan och som uppvisar sprickmineral.

Frisk – Spricka som delat kärnan men ej uppvisar sprickmineral eller -omvandling.

Här finns dock en paradox. Naturliga sprickor omfattar, förutom öppna sprickor, även de läkta sprickor som brutits upp under borrnings- och kärnhanteringsprocesserna. Friska sprickor är artificiella sprickor uppkomna genom yttre våld, t ex då kärnan slås av för att passa i kärnlådan.

3.1.2 Sprickzonsbegreppet

Bedömningsgrunden för olika spricktyper är, som nämnts, densamma för de olika kärnkarteringssystemen. Sprickzonsbegreppet skiljer sig, däremot, enligt nedan.

Protokollskartering och ABC-kartering: En zon definierades i dessa kärnkarteringssystem som en sektion där sprickfrekvensen var högre än 10 sprickor/meter för sprickzon och högre än 20 sprickor/meter för krosszon.

PetroCore-kartering och Boremap-kartering: Sprickzonsbegreppet finns ej i dessa kärnkarteringssystem. Krosszon definieras som sektioner av kärnan som ej går att rekonstruera (pussla hop). Individuella sprickor karteras så lång det är möjligt. Det resterande uppspruckna berget blir sedan krosszon. I utvärderingen av respektive område definieras sedan gränsvärden för kross- och/eller sprickzon (jmf ABC-kartering).

Noteras bör att vad som karteras som krosszon med PetroCore-metoden och/eller Boremap-metoden i själva verket kan vara svagt uppspruckna partier som rivits sönder ytterligare under själva borrningen. Om sådan mekanisk krossning skett i friskt berg är det i allmänhet noterat som ”mech crush” i kommentarsfältet.

3.2 Bergartskategorier








Som påpekats i kapitel 2 domineras de tre undersökningsområdena av det som vanligtvis kallas Smålands-Värmlandsintrusionerna. Intrusionerna domineras i sin tur av granitiska till dioritiska plutoniter (granitoider), vanligen benämnda Smålands-Värmlandsgraniter. Dessa granitoid-massiv har genom pulserande intrusioner under perioden för 1,85–1,65 miljarder år sedan trängt in i området. Bergarterna varierar i ålder och sammansättning, men anses ändå såsom bildade ur samma modernmagma.

Den bergart som kallas Äspödiorit är att betrakta som en något mer basisk variant än medelsammansättningen för Smålandsgraniterna.

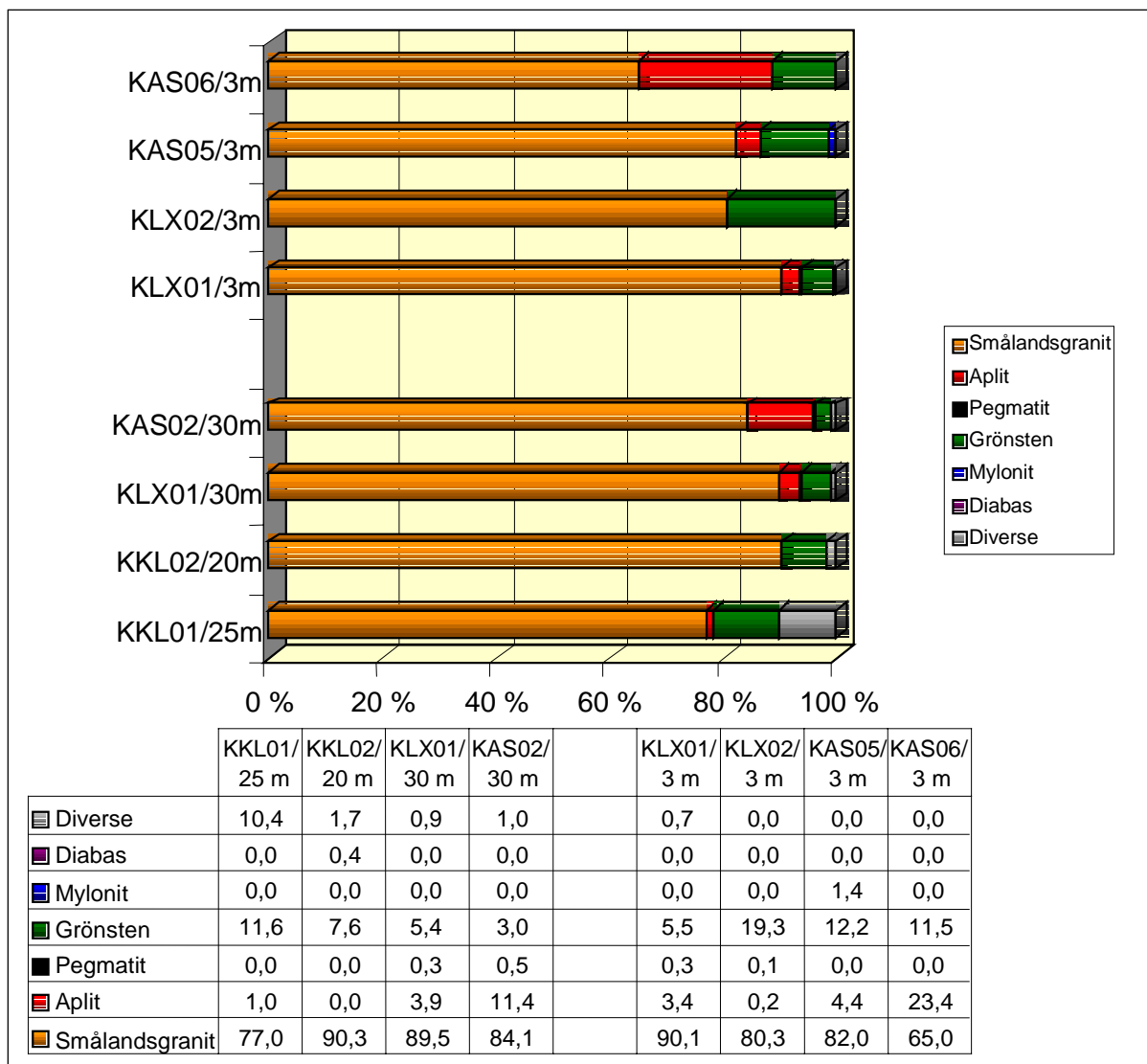
I tabell 3-2 visas den bergartsnyckel som konstruerats för att knyta samman borrhäns-karteringen i SICADA med SGU:s bergartskategorier i förstudien /Bergman m fl, 1998/. Den juställiga färgkodning som visas i tabellen används genomgående i denna rapport.

Tabell 3-2. Bergartsnyckeln med tillhörande färgkoder.

Benämning i denna studie	Kod i SICADA	Benämning: SGU enl /Bergman m fl, 1998/; resp SKB (inom
Smålandsgranit	PSE	Granit till kvartssyenit; (Smålandsgranit)
-"	PSF	Granit till granodiorit till kvartsmonzodiorit; (Äspödiorit)
Aplit	HSC	Gångar av finkornig granit; (Aplit; Äspö och Laxemar)
Pegmatit	HSB	Pegmatit; (Pegmatit)
Grönsten	VB	Gabbro och Diorit; (Grönsten; Äspö och Laxemar)
-"	MMB	Gabbro och Diorit; (Grönsten; Klipperås)
Mylonit	MTA	-; (Mylonit; Äspö)
-"	MTF	-; (Mylonit; Äspö)
Diabas	HBB	Diabas (Diabas; Klipperås)
Diverse	MKH	-; (Kontaktmetamorfiserat hybridberg; Äspö och Laxemar)
-"	MTB	-; (Tektoniserad breccia; Laxemar)
-"	*)	
-"	BGT	-; (Obestämd bergart; Klipperås)
-"	HSE	-; (Kvartsgång; Klipperås)
-"	VS (HSF)	-; (Sur vulkanit; Klipperås, HSF i KKL=1, VS i KKL02)

Benämning i denna studie	Färgkod	B O R R H Ä L						
		KAS02	KAS05	KAS06	KLX01	KLX02	KKL01	KKL02
Smålandsgranit		PSE,PSF	PSE,PSF	PSE,PSF	PSE,PSF	PSE,PSF	PSE	PSE
Aplit		HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC	HSC
Pegmatit		HSB	—	—	HSB	HSB	—	—
Grönsten		VB	VB	VB	VB	VB	MMB	MMB
Mylonit		MTA	MTA	MTF	—	—	—	—
Diabas		—	—	—	—	—	HBB	HBB
Diverse		MKH	—	—	MKH,MTB	—	*)	*)

I figur 3-1 visas en översiktsbild av bergartkategoriernas procentuella andel av den studerade borrhålslängden för vart och ett av de sju kärnborrhålen. Av figuren framgår att förekomsten av Smålandsgranit procentuellt sett är lägst i kärnborrhålen KKL01, KLX02 och KAS06, att förekomsten av aplit procentuellt sett är högst i KAS02, KAS05 och KAS06, samt att förekomsten av grönsten procentuellt sett är högst i KKL01, KLX02 och KAS05.



Figur 3-1. Översiktsbild av bergartkategoriernas procentuella andel av den sammanlagt studerade borrhålslängden för vart och ett av de sju kärnborrhålen. Förekomsten av Smålandsgranit är procentuellt sett lägst i kärnborrhålen KKL01, KLX02 och KAS06. Förekomsten av aplit är procentuellt sett högst i borrhålen från Äspöområdet, dvs KAS02, KAS05 och KAS06.

3.3 Nollreferens

Vid borring utförs längdmätning av borrhålet genom jordlagren med hjälp av foderrören, som vanligtvis borraras fast i berget i början av borringen. Det helt dominerande sättet att ange nollreferensen, är att använda överkanten av det översta foderröret (top of casing, TOC). En komplikation inträder ofta precis vid borrstart innan alla foderrören borraras ned. Eftersom det då inte finns någon TOC använder man temporärt mark-/bergytan eller bormaskinens golv som nivåreferens. Detta gäller vanligtvis de första 3–6 metrarna. De första metrarna av borrhålen är därför osäkra i längdhänseende.

I de fall foderrör ej sätts, används berg- eller markytan som nollreferens.

3.4 Längdfel

3.4.1 Allmänt

Fel i längdangivelser är svåra att undvika vid mätningar i borrhål. Det gäller dock att minimera felet så mycket som möjligt. Hittills har kärnborringens längdmätning ansetts som den mest tillförlitliga och därför använts som referens i borrhålen. Vid borring mäts borrhållslängden genom att, då borrkronan står på botten, antalet borrarstänger multipliceras med standardlängden och subtraheras med övermåttet. Övermåttet är den del av borrarsträngen som sticker upp ur borrhålet (ovanför TOC). Andra undersökningar i borrhålen har egna längdmätningssystem, t ex kablar och linor som leds via mätjul. Dessa mätningar ska kalibreras, så att de, så långt det är möjligt, överensstämmer med den ursprungliga mätningen från borringen. Vid mätning med kablar och linor finns ett antal felkällor som i viss mån är svåra att kalibrera för. En kables töjning beror av längd, material, temperatur etc. Borrhålets vinkel mot horisontalplanet och friktionen mot borrhållsväggen är exempel på andra svårkalibrerade parametrar.

3.4.2 Längdfel vid hydrotester

SKB:s hydrotester har för samtliga borrhål i studien utom ett utförts med sk multislangutrustning. Enda undantaget är KLX02 vilket har hydrotestats med Posivas flödeslogg. Multislangutrustningen är behäftad med en rad felkällor (se 3.4.1). Enligt uppgift från Kent Hansson, GEOSIGMA AB, har multislangen ett längdfel på drygt 1,2 %. På 600 meters djup blir följaktligen längdfelet mer än sju meter. Felet är då alltså större än två 3-meters mätsektioner, vilket otvivelaktigt menligt inverkar på datakvaliteten i denna rapport. Posivas flödeslogg är i detta avseende bättre, eftersom denna utrustning nivåregleras med en rörgång av aluminium, som har en marginell töjning.

3.5 Tolkningsfel

Valet av metod för tolkning av hydrotester är delvis beroende av testutförandet. För hydrotesterna i Klipperåsområdet har endast en tolkningsmetod använts, nämligen Moyes metod. För hydrotesterna i Äspö- och Laxemarområdet har två tolknings-

metoder, Moyes och Cooper-Jacobs metod, tillämpats parallellt i fyra av kärnborrhålen, nämligen KAS02, KAS05, KAS06 och KLX01. I KLX02 har Thiems metod använts.

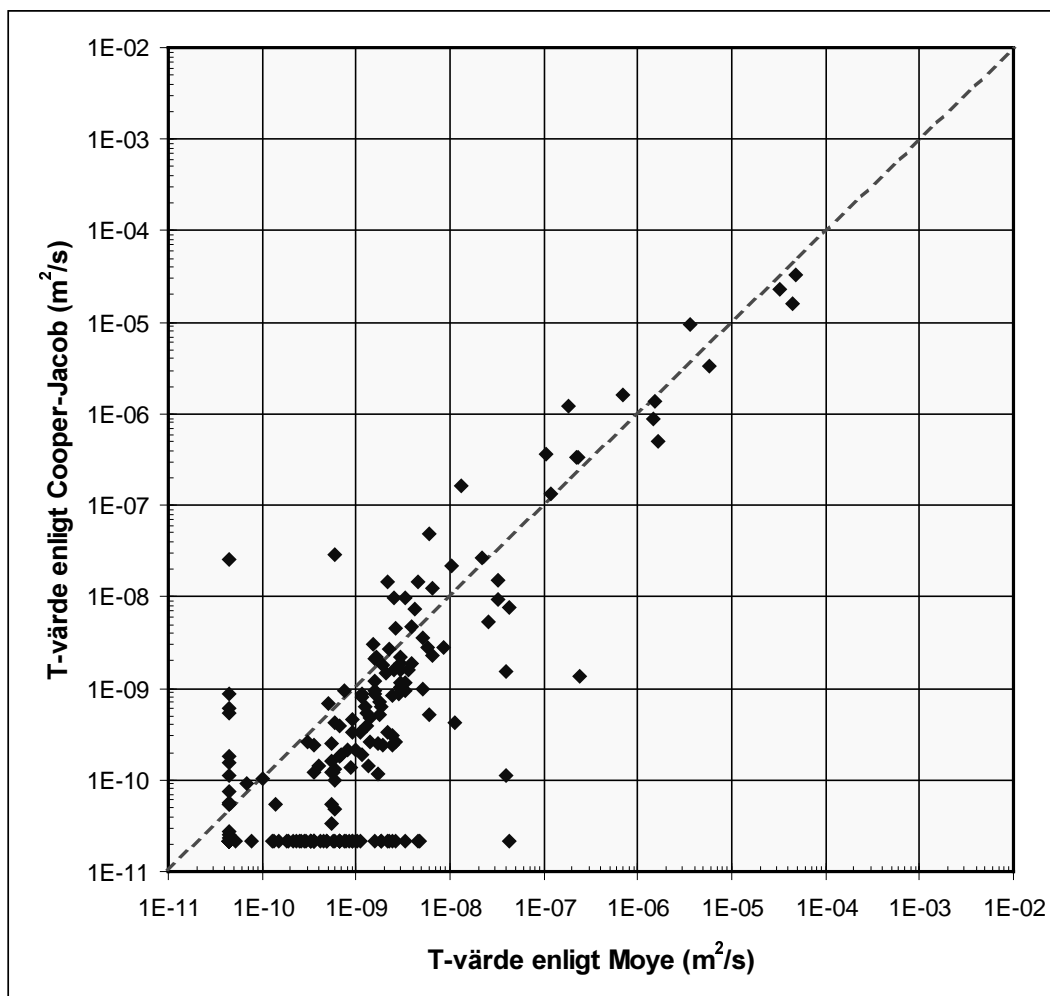
Som regel är de konceptuella osäkerheterna vid tolkning av hydrotestdata långt större än de mättekniska. Valet av tolkningsmetod är till viss del en fråga om erfarenhet, där skickligheten hos den som utför tolkningen har stor betydelse.

Figur 3-2 och 3-3 visar två diagram som belyser problemet med valet av tolkningsmetod; figur 3-2 refererar till utvärderingen av 3 meters testerna i KLX01 medan figur 3-3 refererar till utvärderingen av 30 meters testerna i KAS02. På den ena axeln visas tolkat transmissivitetvärde² (T-värde) med Moyes metod och på den andra axeln tolkat T-värde med Cooper-Jacobs metod. Som framgår skiljer sig resultaten för de två metoderna åt på ett osystematiskt sätt i KLX01, medan skillnaden mellan metoderna förefaller vara något mer systematisk i KAS02.

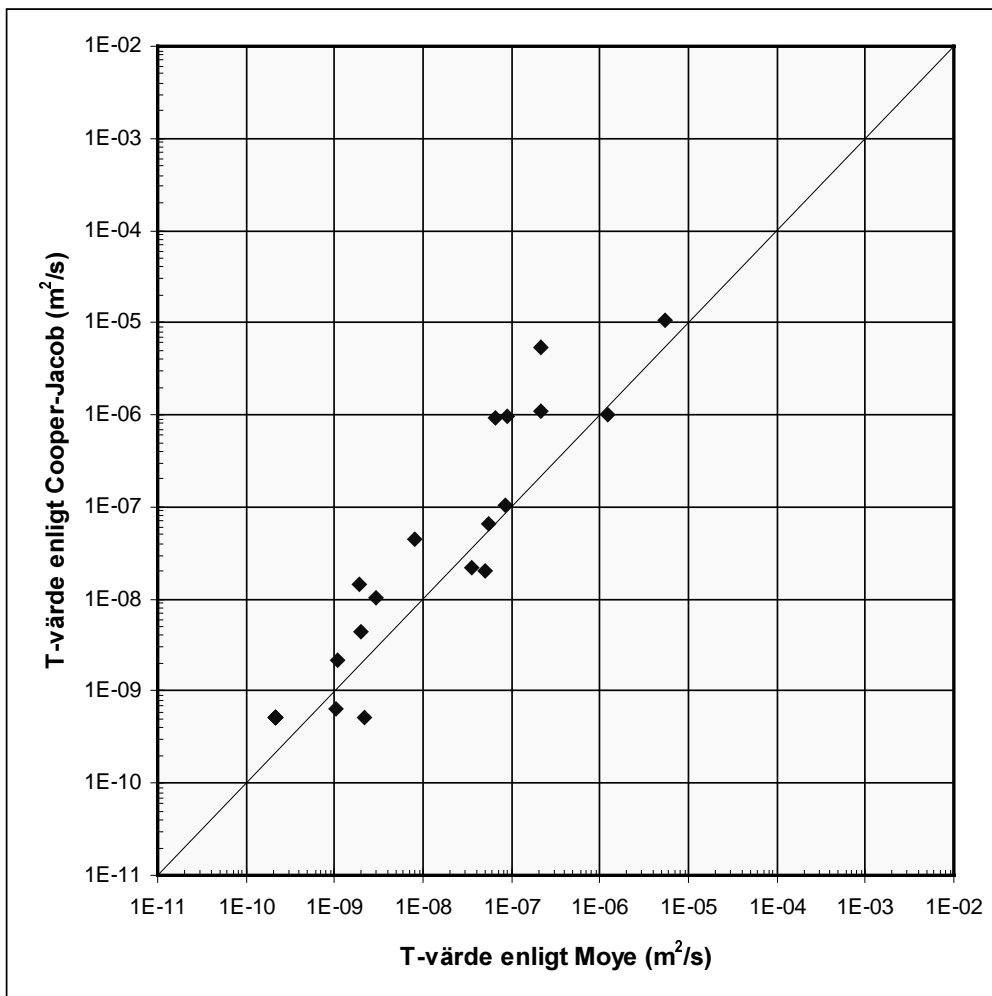
För att undvika problem med olika tolkningsmetoder baseras analysen i denna rapport enbart på data tolkade med Moyes metod. Enda undantaget från denna regel är data från KLX02, där mätningförfarandet för Posivas flödeslogg kräver en tolkning med Thiems metod. Som påpekades i avsnitt 1.2 är den nedre mätgränsen för Posivas flödeslogg högre än för multislangutrustningen (ca en tiopotens). I analysen har därför alla mätvärden som ligger på mätgränsen i KLX02 justerats nedåt med en faktor $(1 \cdot 10^{-10} / 1.5 \cdot 10^{-11}) \approx 6,67$. Förfarandet kan synas spekulativt men är inte helt omotiverat emedan 63 % av de okorrigerade mätningarna med Posiva flödeslogg ligger under eller på mätgränsen 10^{-10} m/s. Effekten på det geometriska medelvärdet är således begränsad (ca 2–4 gånger lägre) och påverkar inte resultatet av analysen i denna rapport i någon närmare utsträckning (se vidare avsnitt 5.3).

I sammanhanget ska sägas att antalet mätningar med Posivas flödeslogg i KLX02 som beaktats i denna rapport har begränsats. Anledningen till att inte alla data tagits med beror på att förekomsten av salt grundvatten i KLX02 kraftigt ökar under ca 1 150 meters djup, vilket stör mätnoggrannheten. Trunkeringen i denna rapport har skett i samråd med Jan-Erik Ludvigson, GEOSIGMA AB, som har i uppdrag att specialstudera användningen av Posivas flödeslogg. Rapporten ifråga är under utarbetande.

² Transmissiviteten (T-värdet) för en mätsektion är lika med mätsektions K-värde multiplicerat med sektionens längden.



Figur 3-2. 3 meters hydrotestdata från kärnbrorrhål KLX01; T-värden enligt Moye resp Cooper-Jacob. Idealt sett borde talparen ligga på den streckade enhetslinjen.



Figur 3-3. 30 meters hydrotestdata från kärnbrorrhål KAS02; T-värden enligt Moye resp Cooper-Jacob. Idealt sett borde talparen ligga på den streckade enhetslinjen.

4 Dataunderlag

I detta kapitel presenteras de dataunderlag som använts i studien. Underlagen för varje borrhål presenteras med två bilder; ett diagram med uppmätta T-värden för de olika mätsektionerna plottat mot mätsektionernas position i borrhålet, samt en översiktsbild med all information integrerad (bergartskategorier, K-värden, sprickfrekvenser för naturliga, läkta och färska sprickor). Underlagen presenteras i följande ordning:

20–30 meters mätskala

Figur 4-1 och 4-2: KKL01 – 25 m (Klipperås)

Figur 4-3 och 4-4: KKL02 – 20 m (Klipperås)

Figur 4-5 och 4-6: KLX01 – 30 m (Laxemar)

Figur 4-7 och 4-8: KAS02 – 30 m (Äspö)

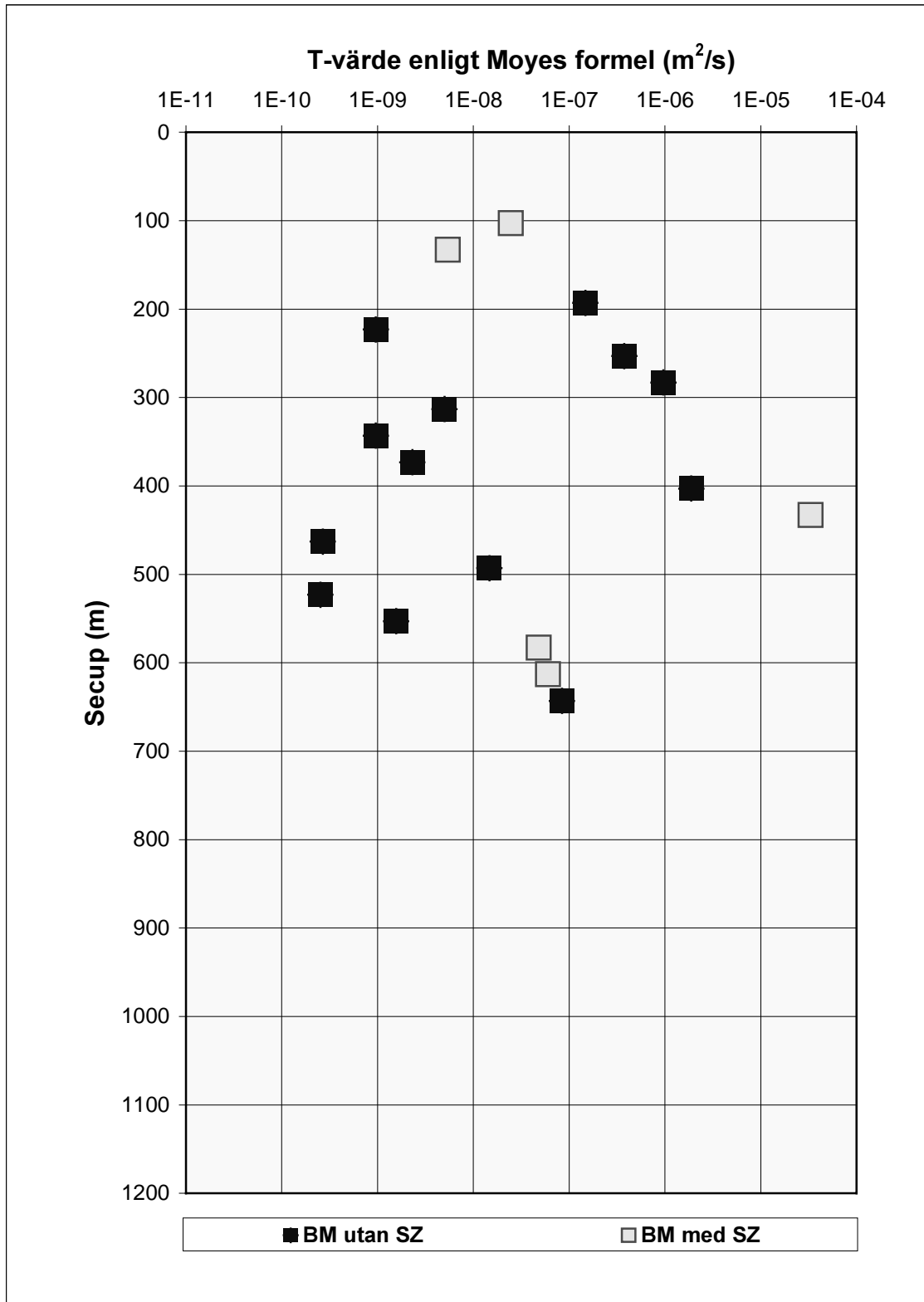
3 meters mätskala

Figur 4-9 och 4-10: KLX01 – 3 m (Laxemar)

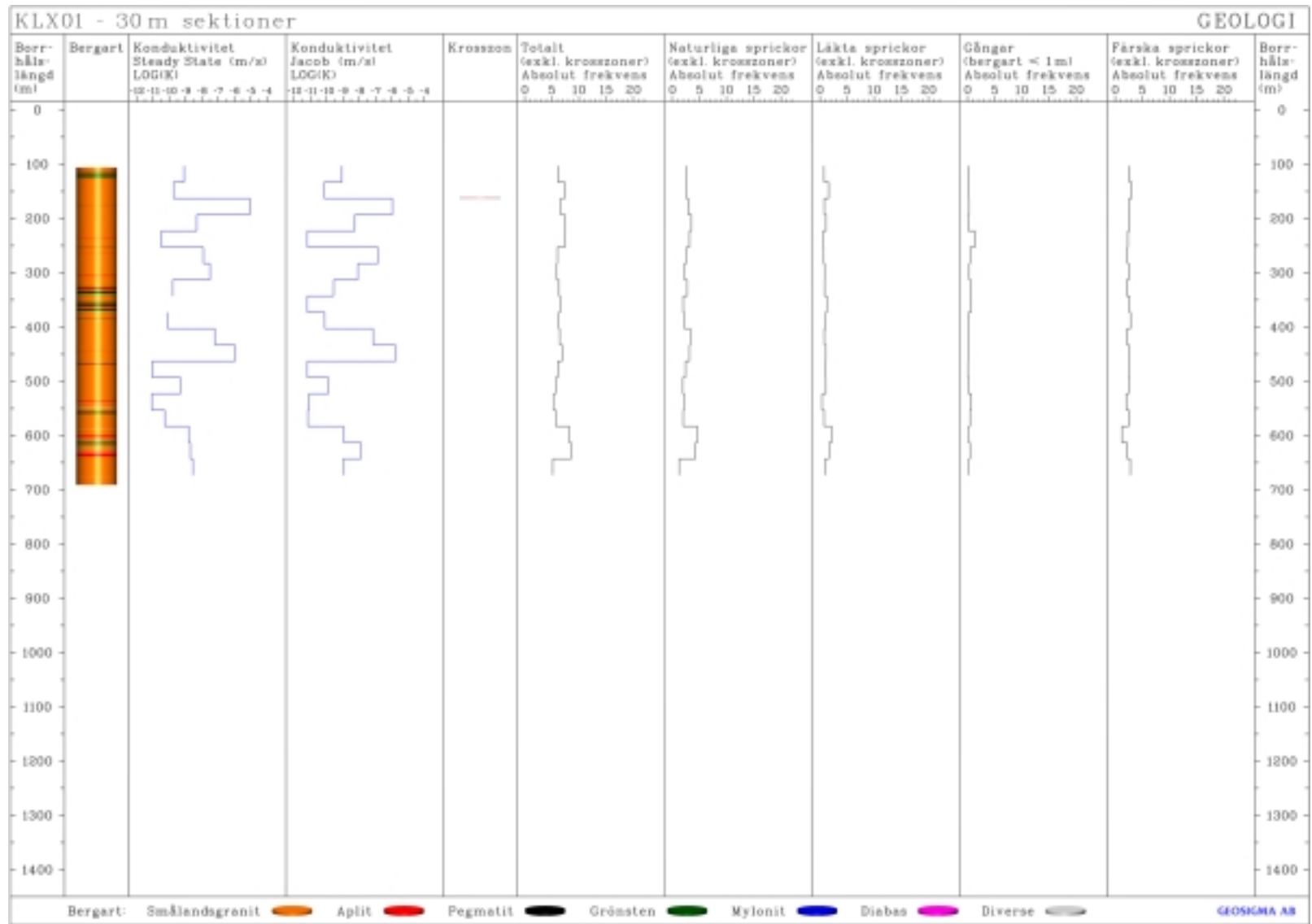
Figur 4-11 och 4-12: KLX02 – 3 m (Laxemar)

Figur 4-13 och 4-14: KAS05 – 3 m (Äspö)

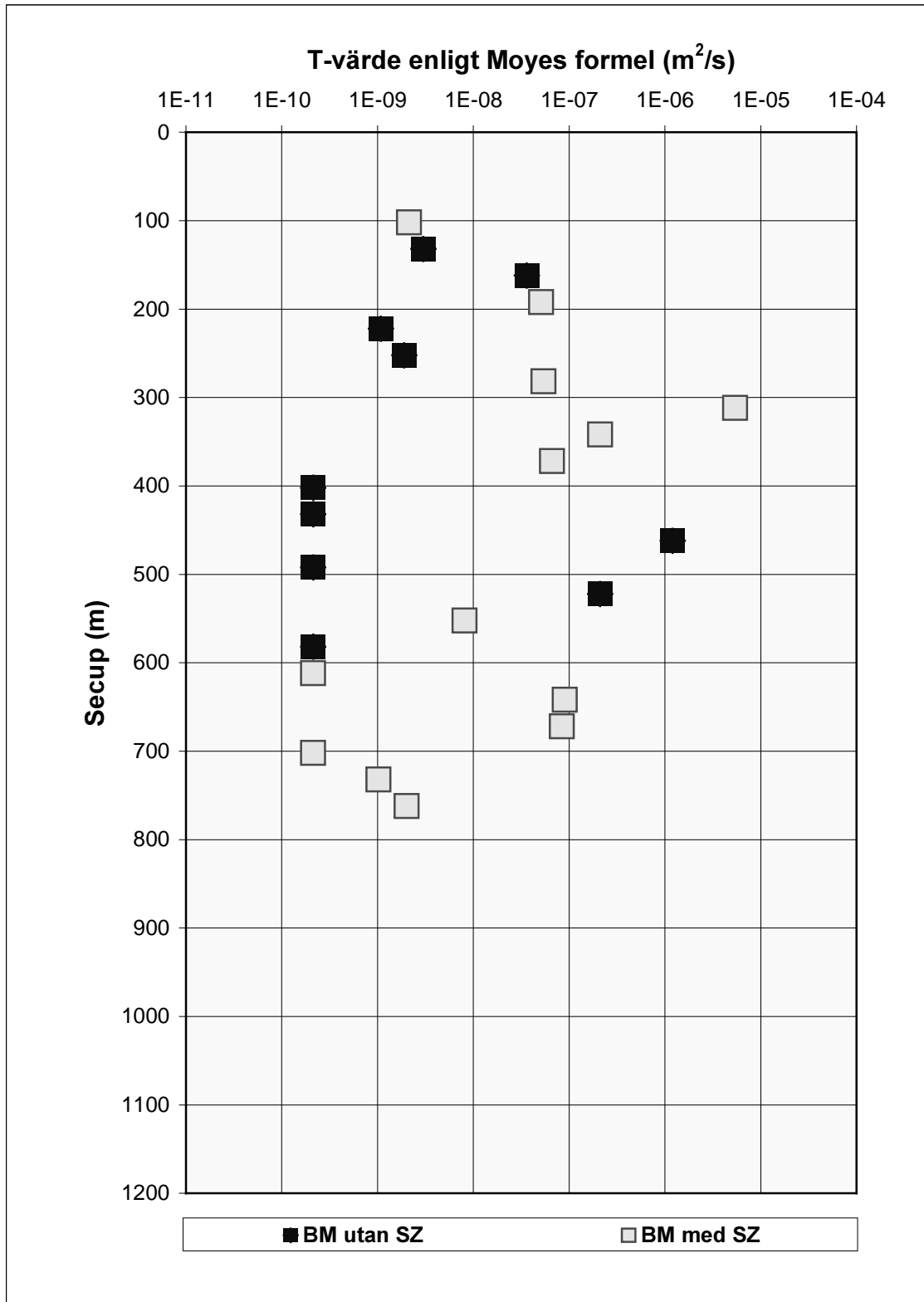
Figur 4-15 och 4-16: KAS06 – 3 m (Äspö)



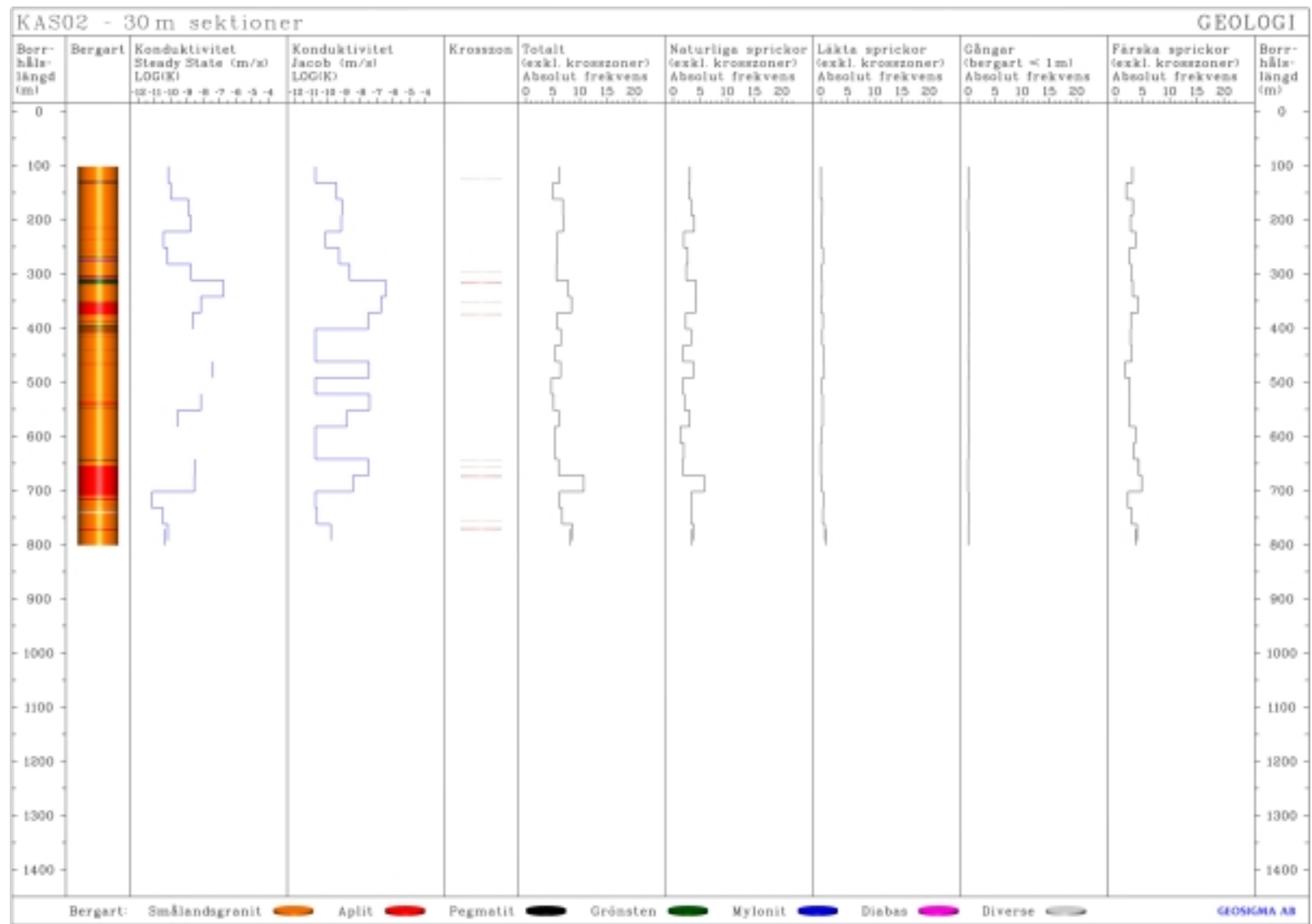
Figur 4-5. Uppmätta T-värden för de olika mätsektionerna plottat mot mätsektionernas position i borrhål KLX01 – 30 meters mätskala. BM = bergmassa, SZ = sprickzon.



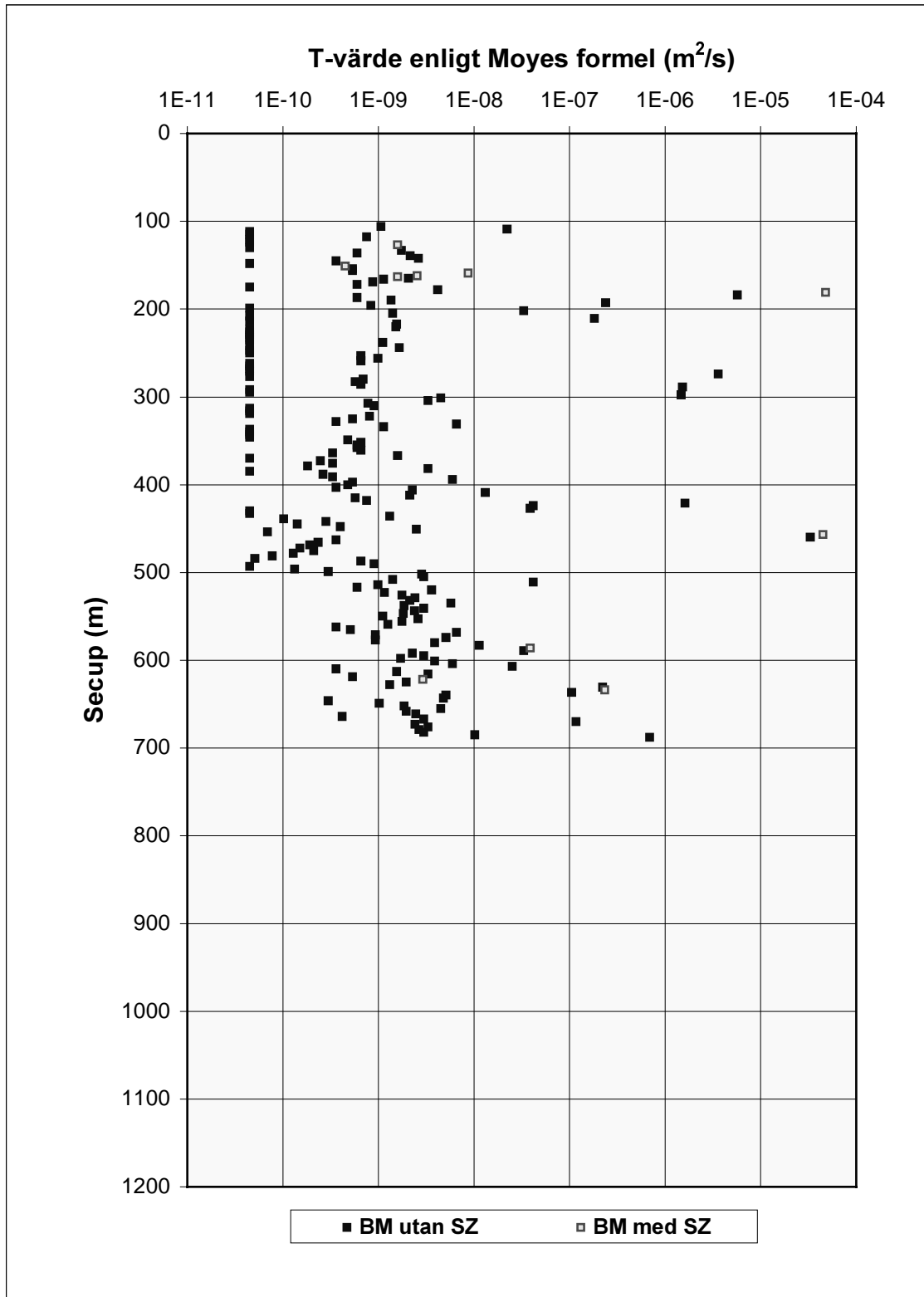
Figur 4-6. Översiktsbild för borrhål KLX01 – 30 meters mätskala.



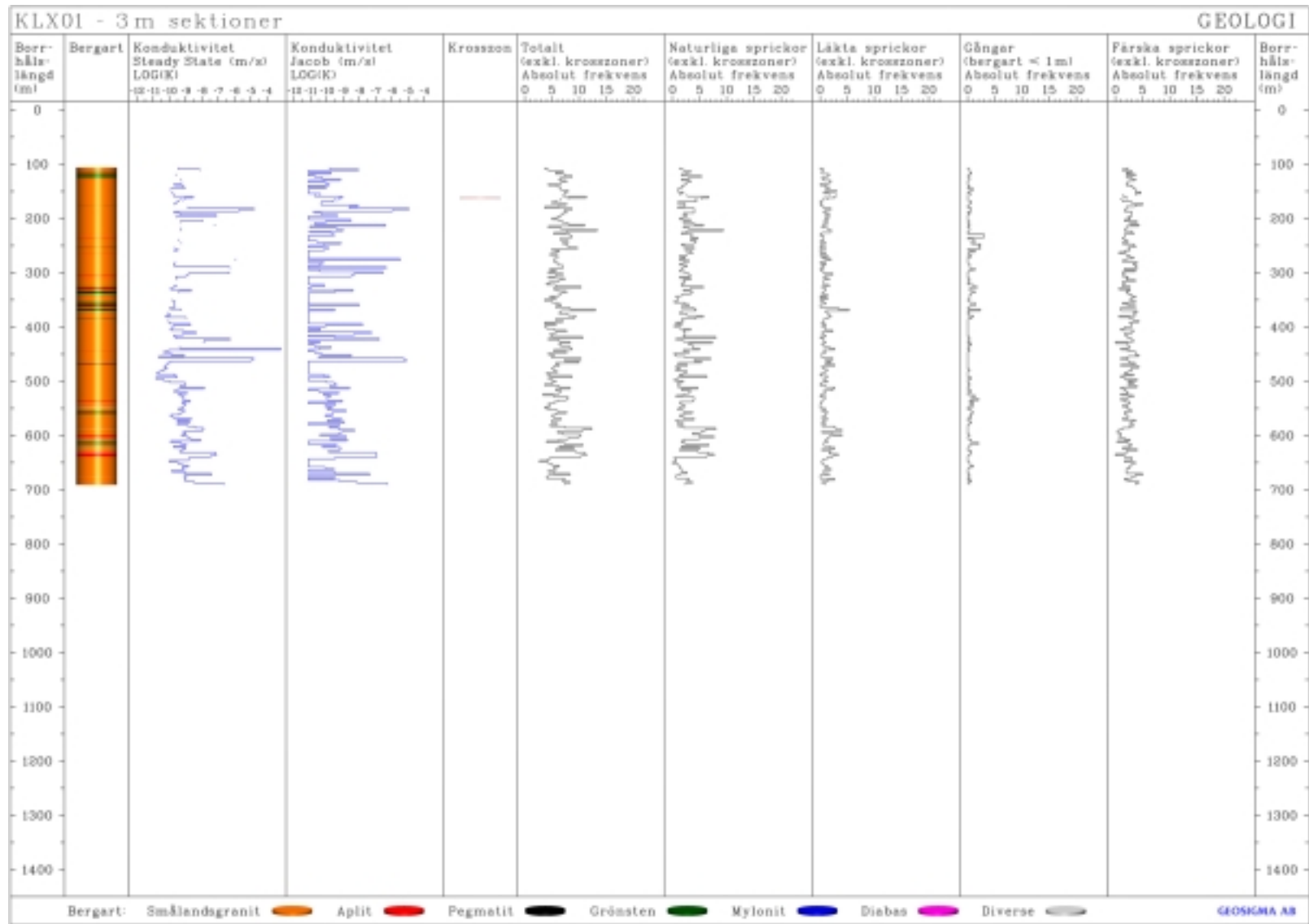
Figur 4-7. Uppmätta T-värden för de olika mätsektionerna plottat mot mätsektionernas position i borrhål KAS02 – 30 meters mätskala. BM = bergmassa, SZ = sprickzon.



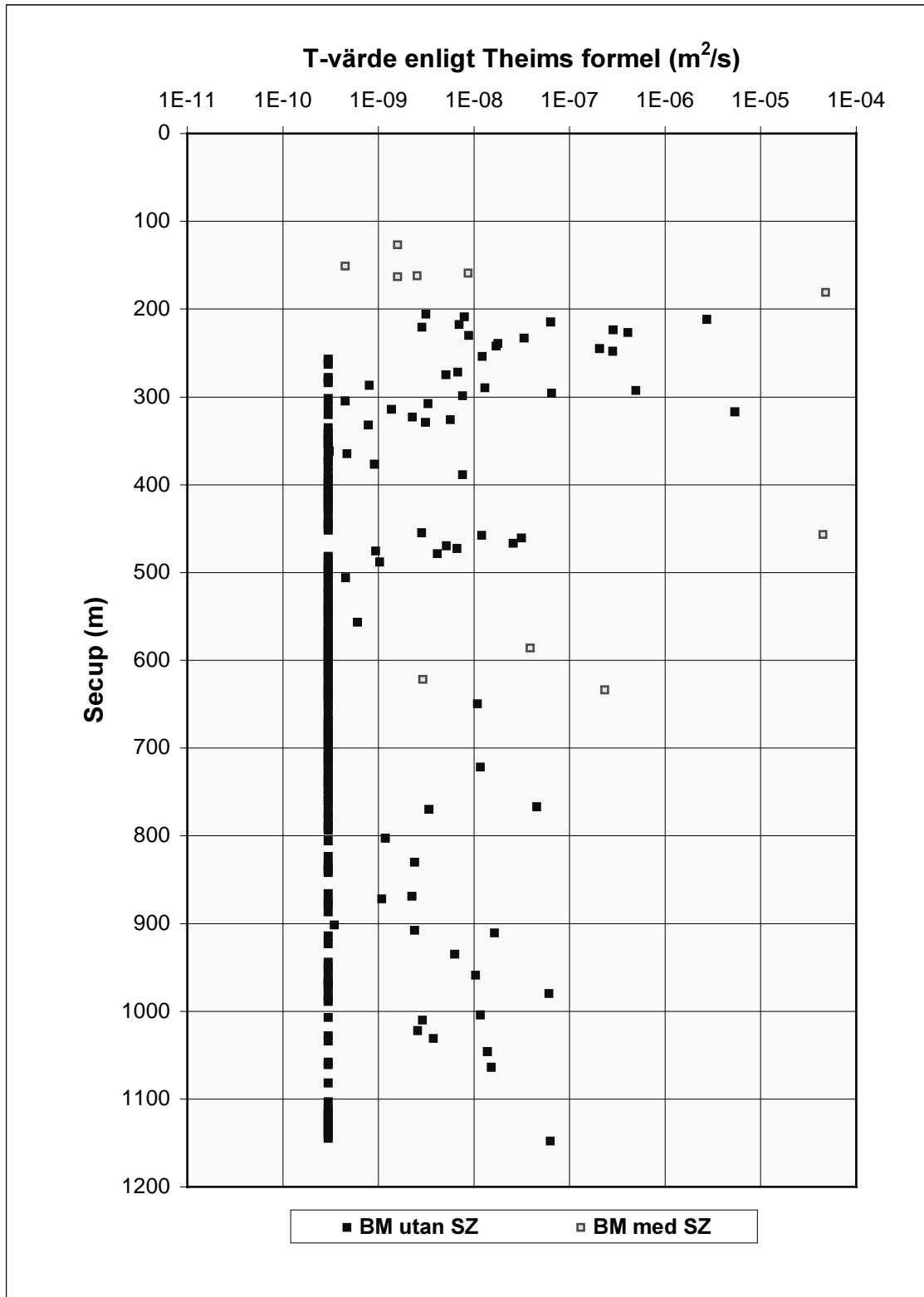
Figur 4-8. Översiktsbild för borrhål KAS02 – 30 meters mätskala.



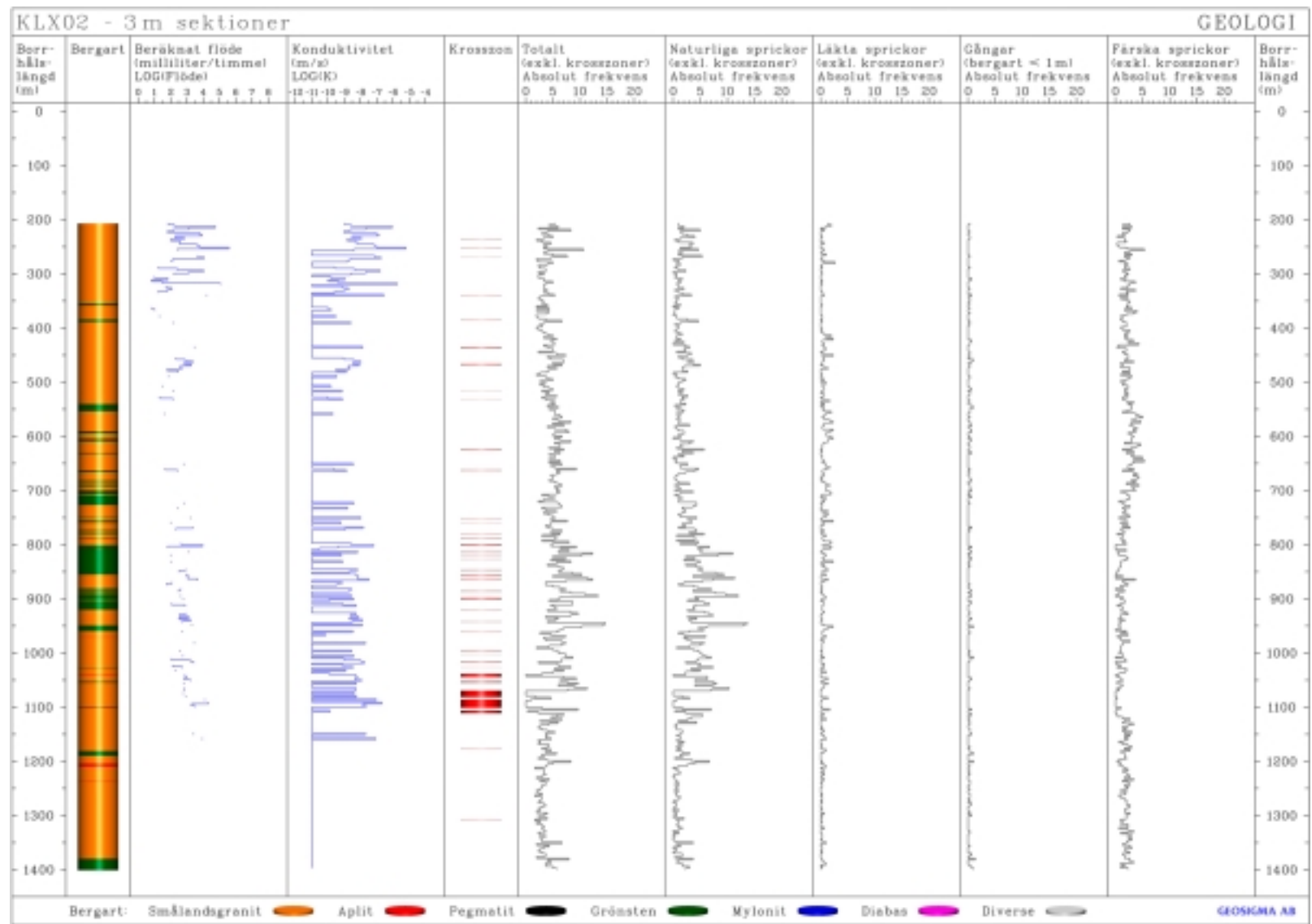
Figur 4-9. Uppmätta T-värden för de olika mätsektionerna plottat mot mätsektionernas position i borrhål KLX01 – 3 meters mätskala. BM = bergmassa, SZ = sprickzon.



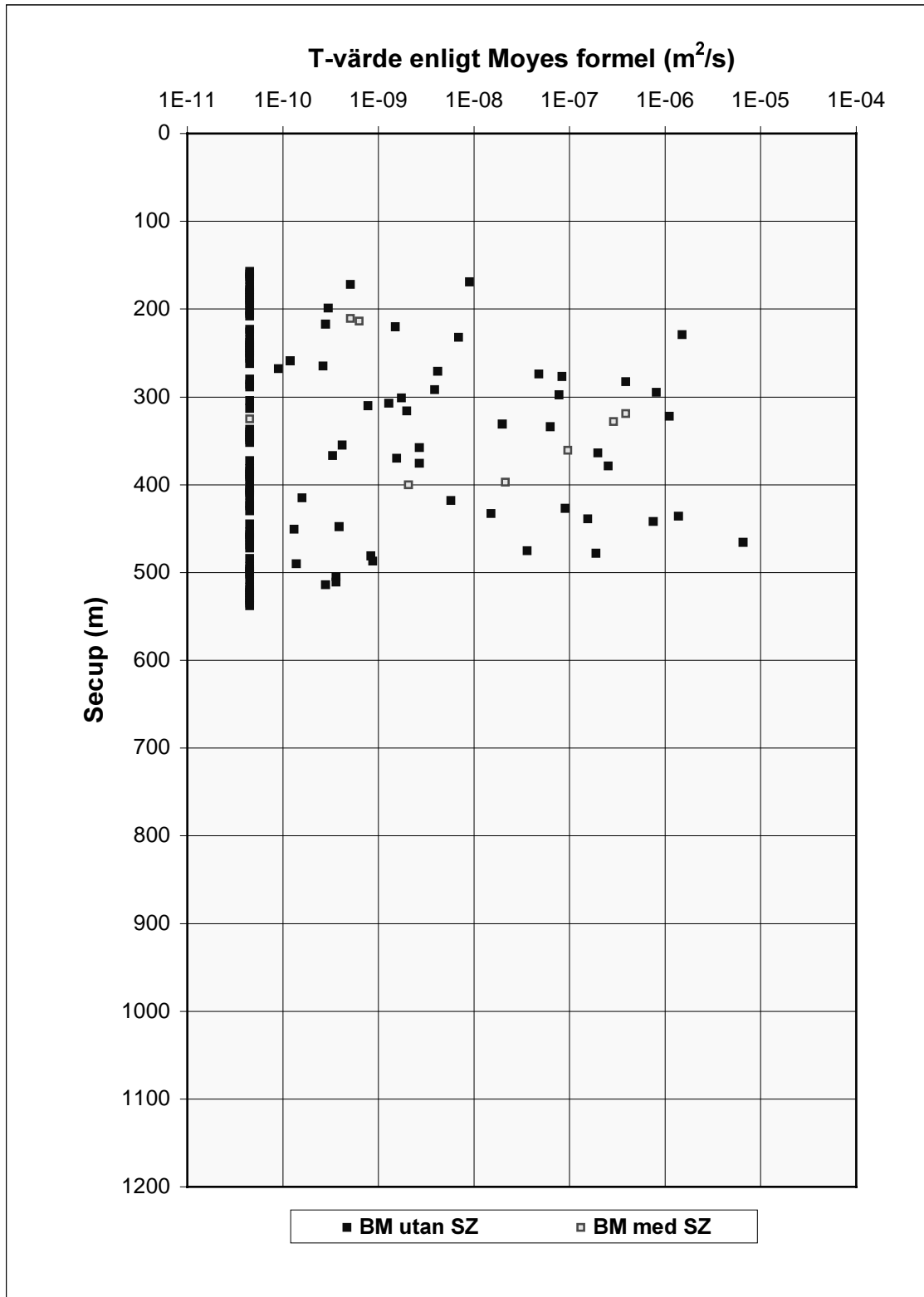
Figur 4-10. Översiktspild för borrhål KLX01 – 3 meters mätskala.



Figur 4-11. Uppmätta T-värden för de olika mätsektionerna plottat mot mätsektionernas position i borrhål KLX02 – 3 meters mätskala. BM = bergmassa, SZ = sprickzon.



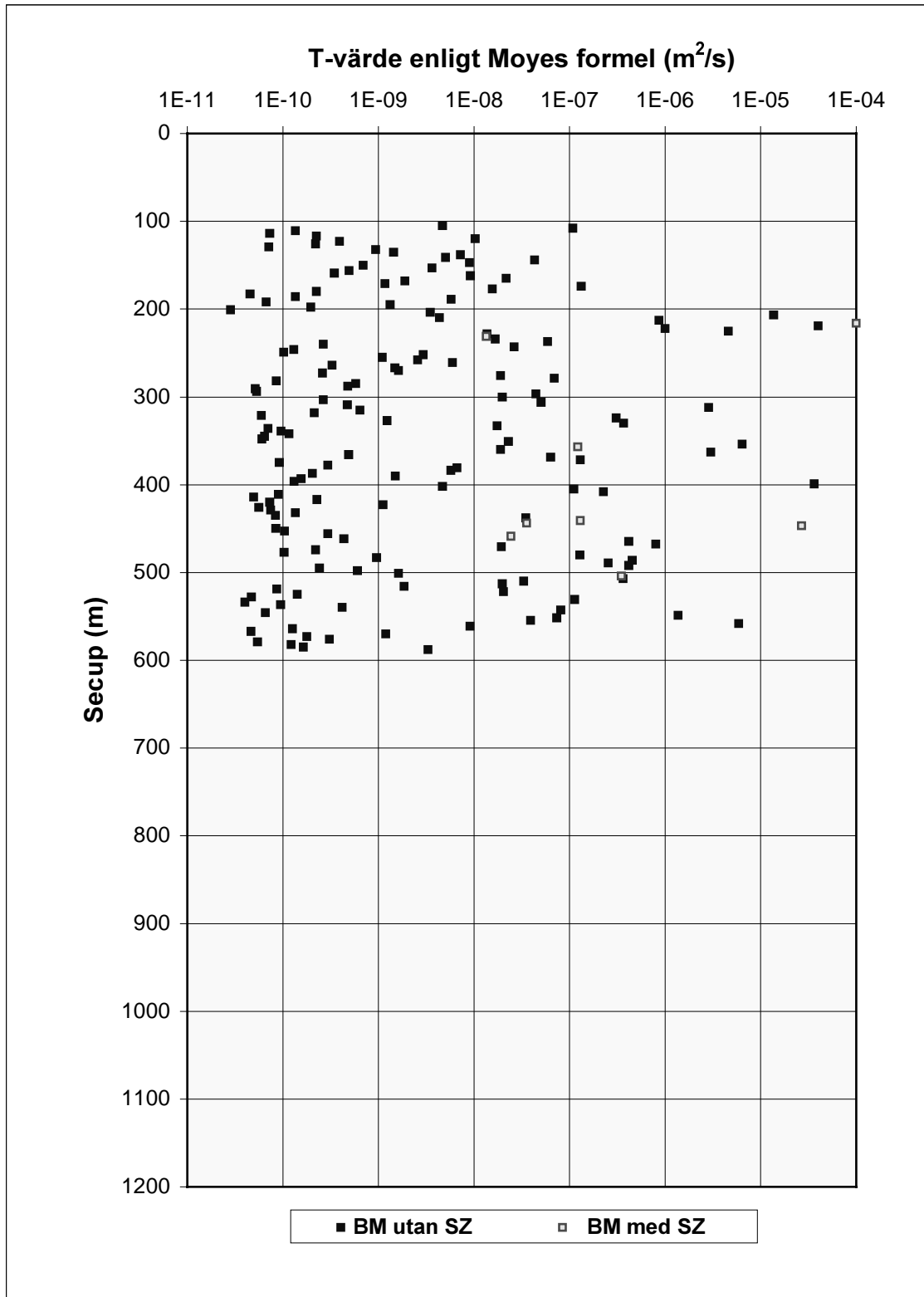
Figur 4-12. Översiktsbild för borrhål KLX02 – 3 meters mätskala.



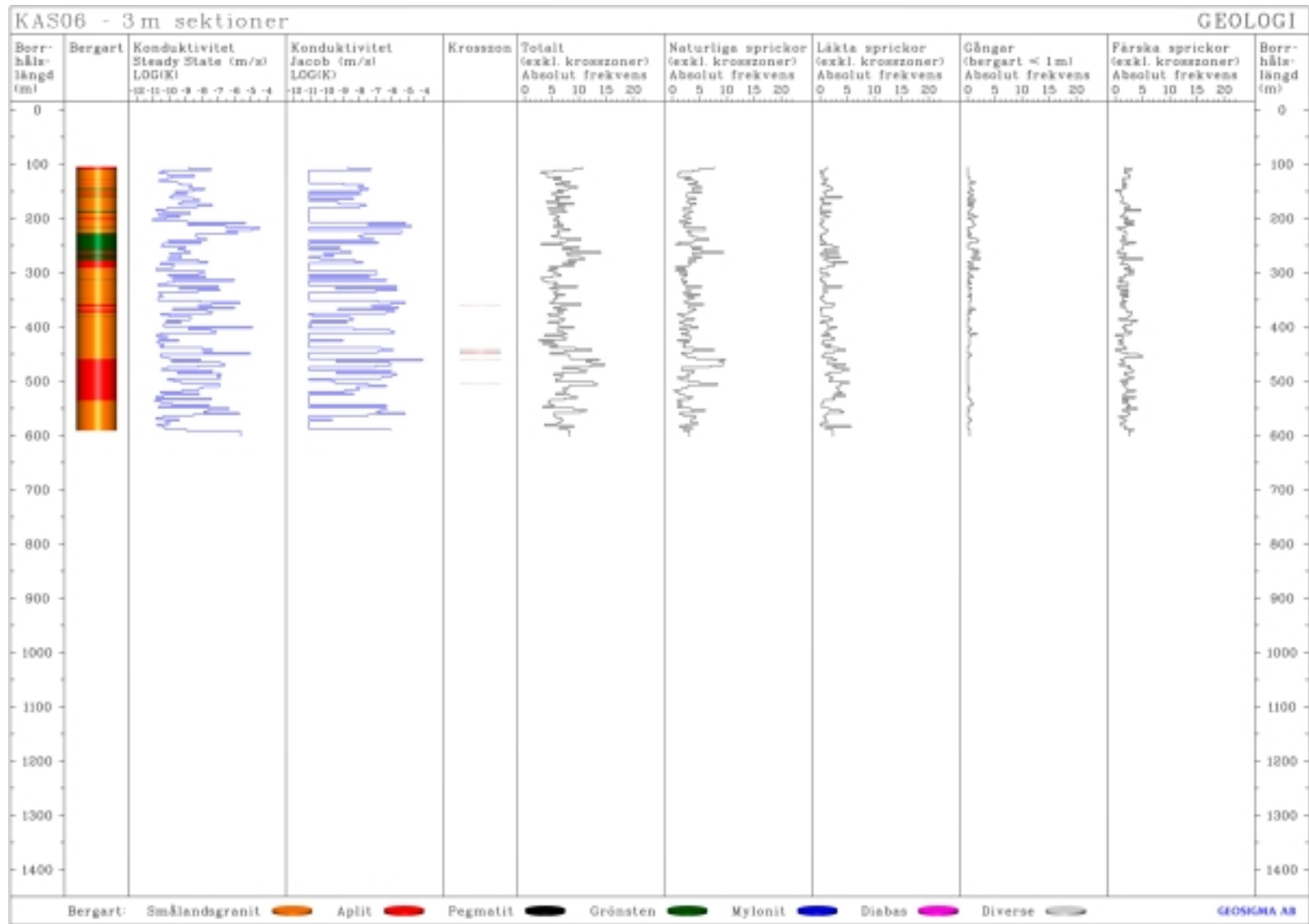
Figur 4-13. Uppmätta T-värden för de olika mätsektionerna plottat mot mätsektionernas position i borrhål KAS05 – 3 meters mätskala. BM = bergmassa, SZ = sprickzon.



Figur 4-14. Översiktsbild för borrhål KAS05 – 3 meters mätskala.



Figur 4-15. Uppmätta T-värden för de olika mätsektionerna plottat mot mätsektionernas position i borrhål KAS06 – 3 meters mätskala. BM = bergmassa, SZ = sprickzon.



Figur 4-16. Översiktsbild för borrhål KAS06 – 3 meters mätskala.

5 Resultat

5.1 K-värdets beroende av mätskala och förekomst av sprickzoner

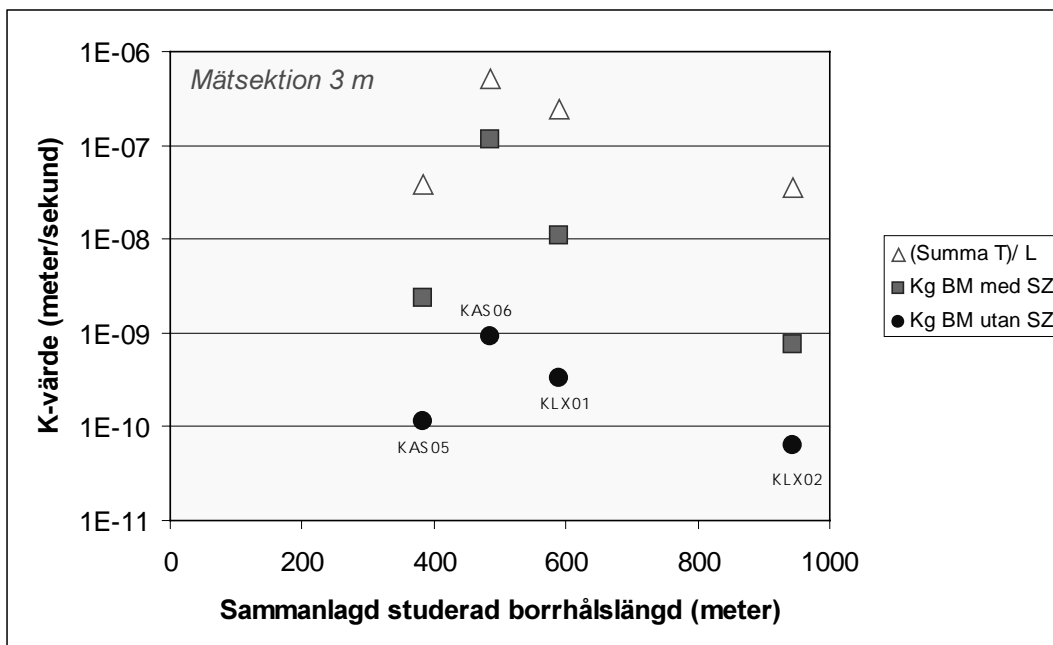
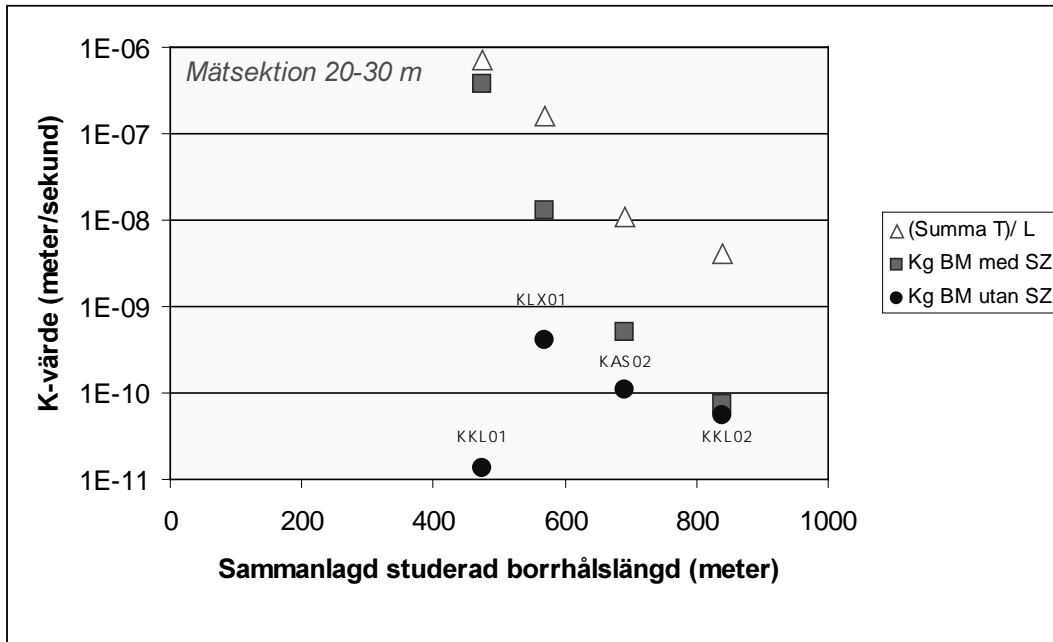
I figur 5-1 visas genomsnittlig vattengenomsläpplighet plottad som funktion av sammanlagd studerad borrhålslängd. I analysen har inte hänsyn tagits till bergartskategori. I det översta diagrammet visas data med 20–30 meters mätskala för kärnborrhålen KKL01, KKL02, KLX01 och KAS02. I figurens understa diagram visas data med 3 meters mätskala för kärnborrhålen KLX01, KLX02, KAS05 och KAS06. I respektive figur visas tre olika genomsnittsvärden:

- $(\text{Summa } T) / L$, vilket är detsamma som ett viktat aritmetiskt medelvärde, K_a , för alla mätningar i bergmassan (BM) utan hänsyn till om mätintervallen innehåller sprickzoner (SZ) eller inte,
- geometriskt medelvärde, K_g , för alla mätningar i bergmassan utan hänsyn till om mätintervallen innehåller sprickzoner eller inte, och
- geometriskt medelvärde, K_g , för enbart mätningar i bergmassa utan sprickzoner.

Figur 5-1 visar sprickzonernas betydelse för det beräknade K-värdet. För så gott som samtliga borrhål kan följande approximation tillämpas:

- $K_a / K_g = 10\text{--}50$ där K_g avser mätningar i "BM med SZ", och
- $K_a / K_g = 100\text{--}1000$ där K_g avser mätningar i "BM utan SZ".

Resultatet indikerar att om man *noggrant* skiljer på mätintervall där bergmassan innehåller sprickzoner från mätintervall där bergmassan saknar sprickzoner ger studien att vattengenomsläppligheten för den första kategorin (bergmassa med sprickzoner) är 10–100 gånger större än för den andra. Resultatet indikerar dessutom att vattengenomsläppligheten hos bergpartier med bergmassa utan sprickzoner (BM utan SZ) är tämligen likartad i intervallet 3–30 m. Den sistnämnda iakttagelsen kommenteras ytterligare i avsnitt 5.3.



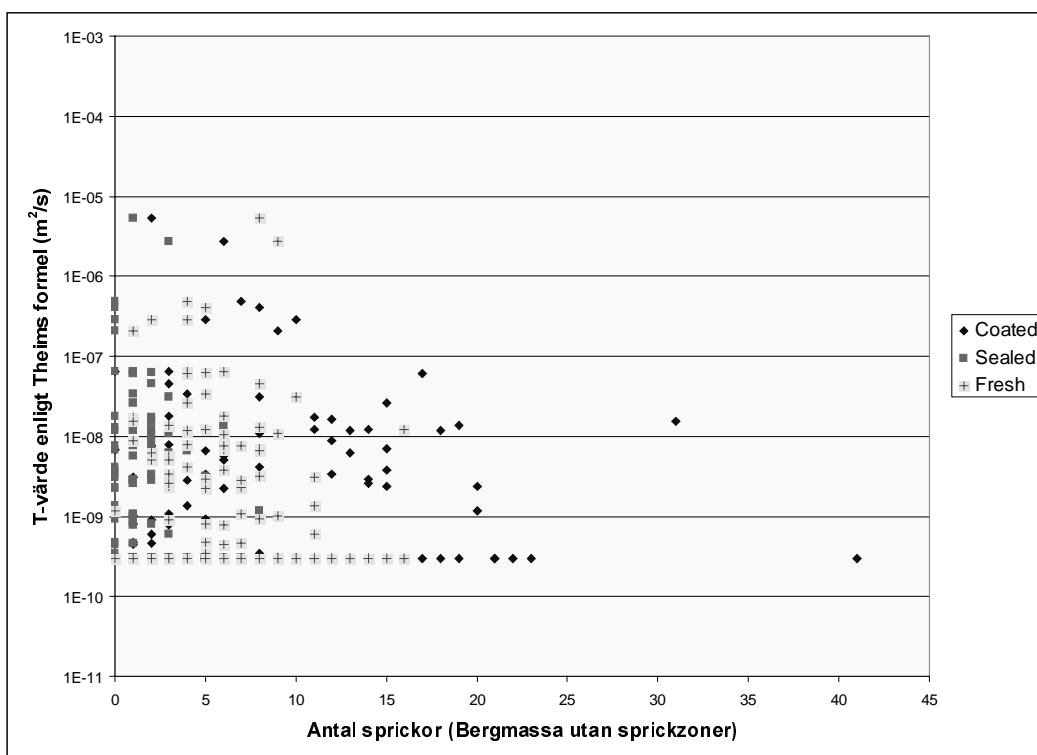
Figur 5-1. Genomsnittlig vattengenomsläpplighet plottat som funktion av sammanlagd studerad borrhålslängd. I figurens översta diagram visas data med 20–30 meters mätskala för kärnborrhålen KKL01, KKL02, KLX01 och KAS02. I figurens understa diagram visas data med 3 meters mätskala för kärnborrhålen KLX01, KLX02, KAS05 och KAS06. I respektive figur visas tre olika genomsnittsvärden.

5.2 T-värdets beroende av sprickfrekvens och antalet bergartskontakter

Figur 5-2 visar T-värden³ för bergpartier utan sprickzoner plottat som funktion av uppmätta sprickfrekvenser i mätsektionen. Resultatet i figur 5-2 gäller specifikt för kärnborrhål KLX02, men motsvarande tolkning erhålls för samtliga borrhål oavsett måtskala. Att en ensam spricka kan ha mycket större T-värde än många sprickor tillsammans kan förklaras med att T-värdet hos varje spricka i princip är proportionell mot sprickans spaltvidd (apertur) i kubik. 10 sprickor var och en med aperturen ”1” har alltså 100 gånger mindre T-värde än en ensam spricka med aperturen ”10”.

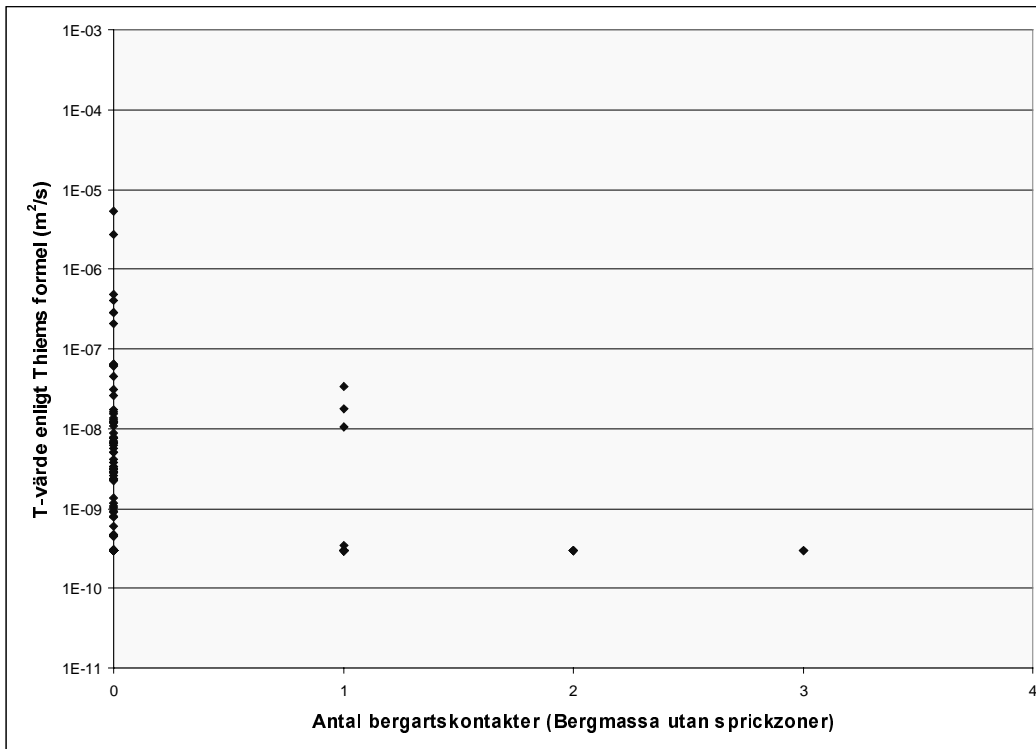
Resultatet i figur 5-2 stöds av ett stort antal liknande analyser på andra platser i Sverige inklusive undersökningarna vid Äspölaboratoriet, se t ex /Rhen och Forsmark, 2000/.

Figur 5-3 visar T-värden för bergpartier utan sprickzoner plottat som funktion av antalet bergartskontakter i mätsektionerna. Resultatet i figur 5-3 gäller specifikt för kärnborrhål KLX02, men motsvarande tolkning erhålls för samtliga borrhål oavsett måtskala. Resultatet i figur 5-3 stöds av /Rhen och Forsmark, 2000/.



Figur 5-2. T-värden för bergpartier utan sprickzoner i KLX02 plottat som funktion av uppmätta sprickfrekvensen i mätsektionerna. Måtskalan är 3 meter. Indelningen i Coated, Sealed och Fresh anger om sprickan är naturlig, läkt respektive frisk, se tabell 3-1.

³ Transmissiviteten (T-värdet) för en mätsektion är lika med mätsektionens K-värde multiplicerat med sektionens längden.



Figur 5-3. T-värden för bergpartier utan sprickzoner i KLX02 plottat som funktion av antalet bergartskontakter i mätsektionerna. Måtskalan är 3 meter.

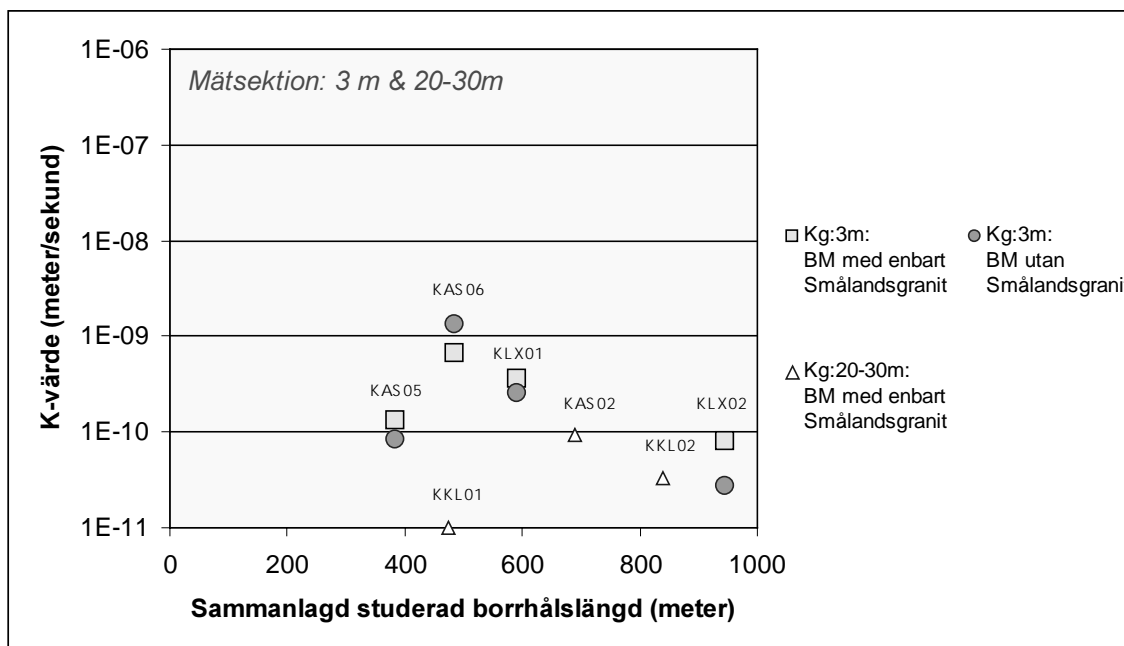
Förhållandet i figur 5-3 kan tolkas på olika sätt. En tolkning är att många bergartskontakter indikerar att berget har utsatts för både deformationer och ”reparationer”. Huruvida en litologiskt homogen bergmassa (bergmassa utan bergartskontakter) är mer vattengenomsläpplig än en bergmassa med många bergartskontakter, har inte studerats i detta arbete, men det finns indikationer på att så skulle kunna vara fallet, se t ex studien om Göttemargranitens vattengenomsläpplighet /Follin m fl, 1998/

5.3 Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet

Digrammet i figur 5-4 visar Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet. Mätningarna avser bergmassa utan sprickzoner (BM utan SZ) och uppdelade i två grupper, nämligen:

- geometriskt medelvärde, K_g , för alla mätningar där mätsektionen närmast borrhålet enbart innehåller Smålandsgranit, och
- geometriskt medelvärde, K_g , för alla mätningar i där mätsektionen närmast borrhålet inte innehåller någon Smålandsgranit.

Resultatet i figur 5-4 indikerar att man utifrån den analys som redovisas i denna rapport inte kan skilja på mätningarna för de två fallen ovan. Inte heller kan man skilja på de analyserade borrhålen i Äspöområdet från motsvarande borrhål i Laxemarområdet.

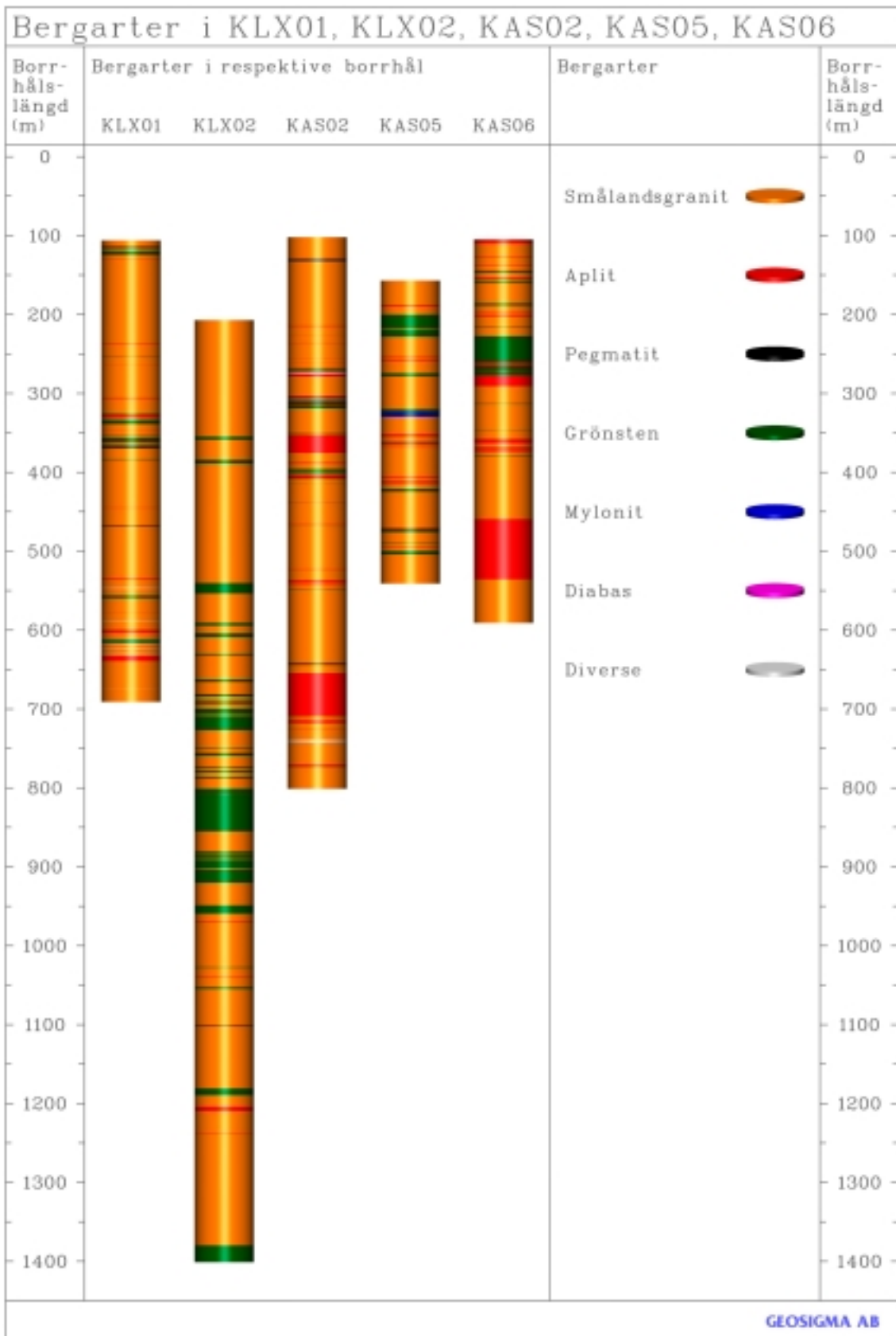


Figur 5-4. Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet. K-värdena avser mätningar i bergmassa utan sprickzoner (BM utan SZ). Två olika mätskalor redovisas. För KLX01 saknas mätsektioner ”med enbart Smålandsgranit” respektive ”utan Smålandsgranit” i 30 meters mätskala.

I avsnitt 5.1 noterades att om man *noggrant* skiljer på mätintervall där bergmassan innehåller sprickzoner från mätintervall där bergmassan saknar sprickzoner indikerar figur 5-1 att vattengenomsläppligheten hos bergpartier med bergmassa utan sprickzoner (BM utan SZ) är tämligen likartad i intervallet 3–30 m. Denna indikation motsägs inte av figur 5-4 där två olika mätskalor är samplottade. För fullständighets skull ska det sägas att det för ”KLX01 – 30 meter” saknas mätsektioner ”med enbart Smålandsgranit” respektive mätsektioner ”utan Smålandsgranit”.

En annan kommentar till figur 5-4 är att SKB förväntar sig en normal utformning (anpassning) av djupförvaret om merparten av borrhålsmätningarna på djupförvarsnivå, dvs 400 – 700 meter, har ett K-värde som är mindre än 10^{-8} meter/sekund i 30 meters mätskala /Andersson m fl, 2000/.

Enligt de borrhålsdata som analyseras i denna rapport förefaller Smålandsgranit vara mer dominant i Laxemar- och Klipperåsområdet än i Äspöområdet, se figur 5-5. I Äspöområdet förekommer fler borrhålsavsnitt, relativt sett, där bergmassan innehåller gångar av finkornig granit (aplit). Det borrhål i Äspöområdet där förekomsten av aplit är som störst (KAS06) uppvisar de högsta genomsnittliga vattengenomsläppligheterna i figur 5-4. De lägsta genomsnittliga vattengenomsläppligheterna uppvisar de studerade kärnborrhålen i Klipperåsområdet i Nybro kommun. Laxemarområdet intar i detta avseende en mellanposition.



Figur 5-5. Bergarter i KLX01, KLX02, KAS02, KAS05 och KAS06.

6 Slutsatser

I den föreliggande rapporten görs ett försök att analysera i vad mån vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Äspöområdet är representativ för vattengenomsläppligheten hos Smålandsgranit i Laxemarområdet och Klipperåsområdet. Analysen baseras på en översiktlig studie av ett **begränsat** antal borrhålsmätningar i sammanlagt sju djupa kärnborrhål i tre olika undersökningsområden.

Man kan med befintligt dataunderlag som grund konstatera att man inte kommer särskilt långt beträffande definitiva slutsatser i den fråga som rapportens rubrik gör anspråk på. Därtill är osäkerheterna i det analyserade dataunderlaget alltför för stora. Följande iakttagelser presenteras dock i rapporten:

- Om man noggrant skiljer på mätintervall där bergmassan innehåller sprickzoner från mätintervall där bergmassan saknar sprickzoner ger studien att (det geometriska medelvärdet av) vattengenomsläppligheten för den första kategorin (bergmassa med sprickzoner) är 10–100 gånger större än för den andra.
- Jämförelse av mätresultat från två mätskalor, 3 meters respektive 20–30 meters mätskala, indikerar att (det geometriska medelvärdet av) vattengenomsläppligheten hos bergpartier med **bergmassa utan sprickzoner** är tämligen likartad i detta intervall.
- För bergpartier där bergmassan saknar sprickzoner förefaller det inte finnas någon positiv korrelation mellan sprickfrekvens och vattengenomsläpplighet. Inte heller antalet bergartskontakter tycks vara positivt korrelerat med vattengenomsläppligheten för dessa bergpartier.
- Den genomsnittliga vattengenomsläppligheten för bergpartier med enbart Smålandsgranit skiljer sig inte nämnvärt från bergpartier utan Smålandsgranit. Iakttagelsen gäller jämförelser av olika bergartspartiets vattengenomsläpplighet för ett **enskilt** borrhål. Om man upprepar beräkningarna för flera borrhål och jämför resultaten finner man att olika borrhål har olika stora genomsnittsvärden.
- Enligt de borrhålsdata som analyseras i denna rapport förefaller Smålandsgranit vara mer dominant i Laxemar- och Klipperåsområdet än i Äspöområdet. I Äspöområdet förekommer fler borrhålsavsnitt, relativt sett, där bergmassan innehåller gångar av finkornig granit (aplit). Det borrhål i Äspöområdet där förekomsten av aplit är som störst uppvisar de högsta genomsnittliga vattengenomsläppligheterna. De lägsta genomsnittliga vattengenomsläppligheterna uppvisar de studerade kärnborrhålen i Klipperåsområdet i Nybro kommun. Laxemarområdet intar i detta avseende en mellanposition.

Det är i alla sammanhang viktigt att komma ihåg att eventuella generaliseringar (extrapoleringar) av data och analysresultat, som avser enskilda borrhål, måste göras med stor försiktighet. Av denna anledning bör iakttagelserna som diskuteras i denna rapport ses som preliminära. Sammantaget konstateras att man inte kan avgöra om förhållandena i Laxemarområdet är bättre eller sämre än de i Äspöområdet med enbart den föreliggande

studien som grund. Den bedömning som i nuläget ligger närmast till hands är att förhållandena i de två delområdena förmodligen är likvärdiga vad avser Smålandsgranitens vattengenomsläpplighet.

De viktigaste slutsatserna i denna rapport är att skillnaden i genomsnittlig vattengenomsläpplighet mellan mätintervall där bergmassan innehåller sprickzoner och mätintervall där bergmassan saknar sprickzoner är långt större än skillnaden mellan mätintervall med enbart respektive utan Smålandsgranit. Vattengenomsläppligheten hos bergpartier med normalt uppsprucken Smålandsgranit är således helt jämförbar med den som konstaterats för normalt uppspruckna bergpartier som saknar Smålandsgranit.

7 Referenser

Ahlbom K, Andersson J-E, Andersson P, Ittner T, Ljunggren C, Tirén S, 1992. Klipperås study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-22, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Andersson J-E, Lindqvist L, 1988. Prediction of hydraulic conductivity and conductive fracture frequency by multivariate analysis of data from the Klipperås study site. SKB TR 89-11, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Andersson J, Ström A, Svemar C, Almén K-E, Ericsson L O, 2000. Vilka krav ställer djupförvaret på berget? Geovetenskapliga lämplighetsindikatorer och kriterier för lokalisering och platsutvärdering. SKB R-00-15, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Lindén A H, Lindgren J, Lindroos H, Rudmark L, Wahlgren C-H, 1998. Förstudie Oskarshamn. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB R-98-56, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Cooper H H, Jacob C E, 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing field history. Trans. Am. Geophys. Un., 27, 526–534.

Follin S, Årebäck M, Axelsson, C-L, Stigsson M, Jacks G, 1998. Förstudie Oskarshamn. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB R-98-55, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Gentzschlein B, 1986. Hydrogeological investigations at the Klipperås study site. SKB TR 86-08, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Nilsson G, Gentzschlein B, Sehlstedt S, 1987. Sammanfattning av resultat från undersökningar utförda på typområdet Klipperås. Sammanfattningsrapport, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Moye D G, 1967. Diamond drilling for foundation exploration. Civ. Eng. Trans. 7th. Inst. Eng. Australia.

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

Rhén I, Gustafson G, Wikberg P, 1997c. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/4. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Hydrogeology, groundwater chemistry and transport of solutes. SKB TR 97-05, Svensk Kärnbränslehantering AB.

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

Rhén I, Forsmark T, 2000. High-permeability features (HPF). SKB IPR-00-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

SGU, 1998. Översiktsstudie av Kalmar län. Geologiska förutsättningar. SKB R-98-24. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 1999. Djupförvar för använt kärnbränsle SR 97 – Säkerheten efter förslutning. Svensk Kärnbränslehantering AB.

SKB, 2000. Förstudie Oskarshamn. Slutrapport. Svensk Kärnbränslehantering AB.

Stanfors R, Erlström M, Markström I, 1997a. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/1. Overview of site characterization 1986–1995. SKB TR 97-02, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Stanfors R, Olsson P, Stille H, 1997b. Äspö HRL – Geoscientific evaluation 1997/3. Results from pre-investigations and detailed site characterization. Comparison of predictions and observations. Geological and mechanical stability. SKB TR 97-04, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Thiem, G, 1906. Hydrologische Methoden. J M Gebhardt, Leipzig, 56 pp.

Walker D, Rhén I, Gurban I, 1997. Summary of hydrogeological conditions at Aberg, Beberg and Ceberg. SKB TR 97-23, Svensk Kärnbränslehantering AB.

Öhberg A, Rouhiainen P, 2000. Posiva groundwater flow measuring techniques. Posiva.