

# **Förstudie Tierp och Älvkarleby**

## **Fältkontroll av berggrunden inom potentiellt gynnsamma områden samt tyngdkraftsmodellering**

Torbjörn Bergman, Rune Johansson,  
Michael Stephens, Jan-Erik Wahlroos  
Sveriges Geologiska Undersökning

Hans Isaksson  
GeoVista AB

November 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-00-47

# **Förstudie Tierp och Älvkarleby**

## **Fältkontroll av berggrunden inom potentiellt gynnsamma områden samt tyngdkraftsmodellering**

Torbjörn Bergman, Rune Johansson,  
Michael Stephens, Jan-Erik Wahlroos  
Sveriges Geologiska Undersökning

Hans Isaksson  
GeoVista AB

November 2000

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

# Förord

Projektet ”Förstudie av Tierps kommun och Älvkarleby kommun – fältkontroll av berggrunden inom potentiellt gynnsamma områden samt tyngdkraftsmodellering”, har genomförts av en grupp geovetare vid Sveriges geologiska undersökning (SGU) och GeoVista AB. Arbetet spänner över olika geovetenskapliga ämnesområden och gruppens sammansättning speglar detta.

Under det gemensamma arbetet har ansvaret fördelats på följande sätt:

Fältkontroll av berggrunden	Torbjörn Bergman Michael Stephens Hans Isaksson
Geofysisk tolkning, modellering	Hans Isaksson
Flygbildstolkning (lokalisering av hållar)	Jan-Erik Wahlroos
Projektkoordinering	Rune Johansson

# Sammanfattning

På uppdrag av Svensk kärnbränslehantering AB (SKB) har Sveriges geologiska undersökning och GeoVista AB utfört kompletterande arbeten inom kommunerna Tierp och Älvkarleby. Det utförda arbetet omfattar fältkontroll av berggrunden inom utvalda områden samt geofysisk modellering av två djupbergartskroppar. Syftet har varit att kontrollera och förbättra det geovetenskapliga underlaget för att bedöma förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle till kommunerna. Valet av områden har gjorts av SKB utifrån en sammanvägd bedömning av samtliga preliminära förstudieresultat.

Fältkontroll har utförts inom följande områden:

- Området omkring Lövstabukten i Tierps kommun.
- Området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun.
- Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.
- Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.

I samband med fältkontrollen gjordes en begränsad provtagning för densitetsbestämning som stöd för en tyngdkraftsmodell. Modellering har gjorts i en profil inom Tierps kommun för att bedömma djupet av Hedesundamassivets djupbergarter samt graniten vid Karlholmsbruk

## Området omkring Lövstabukten i Tierps kommun

Fältkontrollen har visat att de tidigare berggrundskartorna ger en alltför förenklad bild av berggrunden, där förekomsten av homogen yngre granit är starkt överrepresenterad. Vid sidan av yngre granit och pegmatit finns också ådrad och gnejsig metagranitoid, något bättre bevarad metagranitoid, finkornig gnejs av osäkert ursprung, omvandlad basisk intrusivbergart (amfibolit) samt gångar och små massiv av yngre granit och pegmatit. Inhomogeniteten är av relativt storskalig karaktär och har noterats både i enskilda hållar och mellan olika hållar.

Huvuddelen av berggrunden uppfyller inte de geologiska lämplighetsindikatorer som krävs för att vidare undersökningar skall kunna rekommenderas. Visserligen förekommer, inom ett 20–25 km<sup>2</sup> stort område omkring Skyttskär och Karlholms bruk, en yngre, mer homogen granit. Den uppvisar dock, i flera av hållarna, inhomogeniteter i form av pegmatitiska delar samt en förhöjd sprickfrekvens jämfört med omgivande bergarter. En komplex spröd till plastisk deformationszon har också noterats. Granitens djupgående bedöms vara mycket stort, ca 8 km. Dess kontakter mot omgivande bergarter stupar utåt och den del som exponeras vid ytan antas vara ett högt snitt i en kupolformad kropp.

## **Området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun**

Även i detta område har fältkontrollen visat att de tidigare berggrundskartorna ger en alltför förenklad bild av berggrunden och att förekomsten av homogen, yngre granit är starkt överrepresenterad. Berggrunden är i allt väsentligt jämförbar med den som beskrivits ovan från Tierps kommun. Något större massiv av yngre, mera homogen granit har inte påträffats.

Berggrunden bedöms därför inte uppfylla de geologiska lämplighetsindikatorer som krävs för att vidare undersökningar skall kunna rekommenderas.

## **Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun**

Fältkontrollen har visat att det stora djupbergartsmassivet (Hedesundamassivet) huvudsakligen innehåller två olika typer av djupbergarter. Större delen utgörs av en hornbländerik kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit men i områdets nordöstra-östra delar förekommer en mer granitisk variant. Bägge dessa bergarter bedöms lämpliga för ett djupförvar. Hedesundamassivets djupgående uppskattas i detta område till ca 2–3 km. Djupet avser den monzonitiska delen av massivet.

Området bedöms som bergartsmässigt homogent och berggrunden uppfyller de geologiska lämplighetsindikatorer som krävs för att vidare undersökningar skall kunna rekommenderas. Förekommande finkorniga granitgångar, som kan ha hög sprickfrekvens och därmed eventuellt medföra ökad vattengenomsläpplighet, bör dock undersökas närmare om vidare arbeten skulle bli aktuella.

## **Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun**

Fältkontrollen har visat att de berggrundsgeologiska förhållandena är mer varierande än vad de äldre berggrundskartorna visar. I områdets centrala del finns ett större område av metagranitoid (ca 6 km<sup>2</sup>) med gångar av pegmatit och kvartsmonzonit (hedesundatyp) samt ett mindre inslag av metagabbro. Denna något mer komplexa berggrund begränsas både mot norr och söder av djupbergarter tillhörande Hedesundamassivet. Även i detta område uppträder inom Hedesundamassivet två olika typer av djupbergarter; en hornbländerik kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit, och en mer granitisk variant. Dessa bergarter är i allmänhet mycket homogena och okomplicerade. Djupgåendet, som avser den monzonitiska delen av massivet, bedöms vara ca 2–3 km.

Berggrunden bedöms i huvudsak uppfylla de geologiska lämplighetsindikatorer som krävs för att vidare undersökningar skall kunna rekommenderas. I första hand gäller detta de norra och södra delarna där djupbergarter tillhörande Hedesundamassivet förekommer. Även i detta område, liksom i området öster om Uppsalaåsen, bör förekommande finkorniga granitgångar undersökas med avseende på vattengenomsläpplighet om vidare arbeten skulle bli aktuella.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Bakgrund och syfte</b>	9
<b>2</b>	<b>Allmän geologisk översikt</b>	11
<b>3</b>	<b>Fältkontroll av potentiellt gynnsamma områden</b>	15
3.1	Metodik	15
3.2	Undersökta områden	17
3.2.1	Området omkring Lövstabukten i Tierps kommun	17
3.2.2	Området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun	24
3.2.3	Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun	29
3.2.4	Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun	36
<b>4</b>	<b>Modellering av tyngdkraft</b>	41
4.1	Bergarternas densitet	41
4.2	Modellering	43
<b>5</b>	<b>Slutsatser och rekommendationer</b>	45
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	49
<b>Bilaga 1</b>	<b>Geologisk ordlista</b>	51

# 1 Bakgrund och syfte

På uppdrag av Svensk kärnbränslehantering AB (SKB) har Sveriges geologiska undersökning och GeoVista AB utfört kompletterande arbeten inom kommunerna Tierp och Älvkarleby (figur 1).

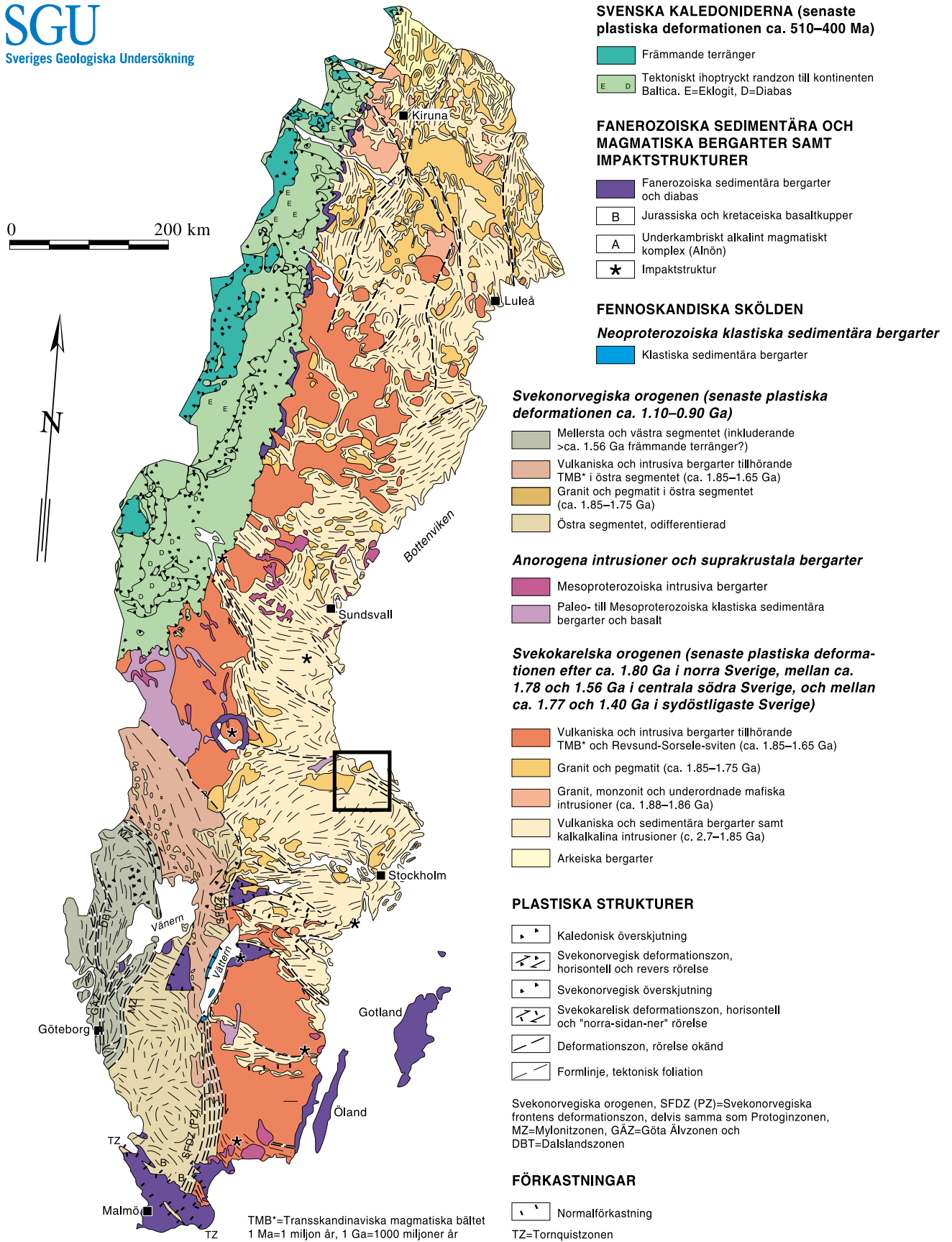
Det utförda arbetet omfattar:

- Fältkontroll av berggrunden inom utvalda områden där berggrunden tidigare (Bergman m fl, 1999, 2000) bedömts vara av intresse för vidare undersökning i samband med val av plats för djupförvar av använt kärnbränsle.
- Modellering av två djupbergartskroppar inom Tierps kommun, med hjälp av tyngdkraftsdata.

Syftet med arbetet har varit dels att kontrollera det geovetenskapliga underlaget som har används för att bedöma förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle till kommunerna, dels att bedöma djupet av två djupbergartskroppar inom dessa områden.

Rapporten redovisar först en allmän geologisk översikt (kapitel 2) och sedan resultaten av fältkontroll (kapitel 3) och modellering (kapitel 4). I kapitel 5 redovisas slutsatser och rekommendationer med avseende på de undersökta områdenas förutsättningar för en lokalisering av ett djupförvar.

För förklaringar och definitioner av geologiska termer som används i texten hänvisas till bifogad ordlista, bilaga 1, samt Bergman m fl (1999, 2000).



Figur 1. Geologiska huvudenheter i den svenska berggrunden. Modifierad efter Stephens m fl (1994). Rektangeln visar det undersökningsområde som berörs av förstudierna av Tierps och Älvkarleby kommuner.



## 2 Allmän geologisk översikt

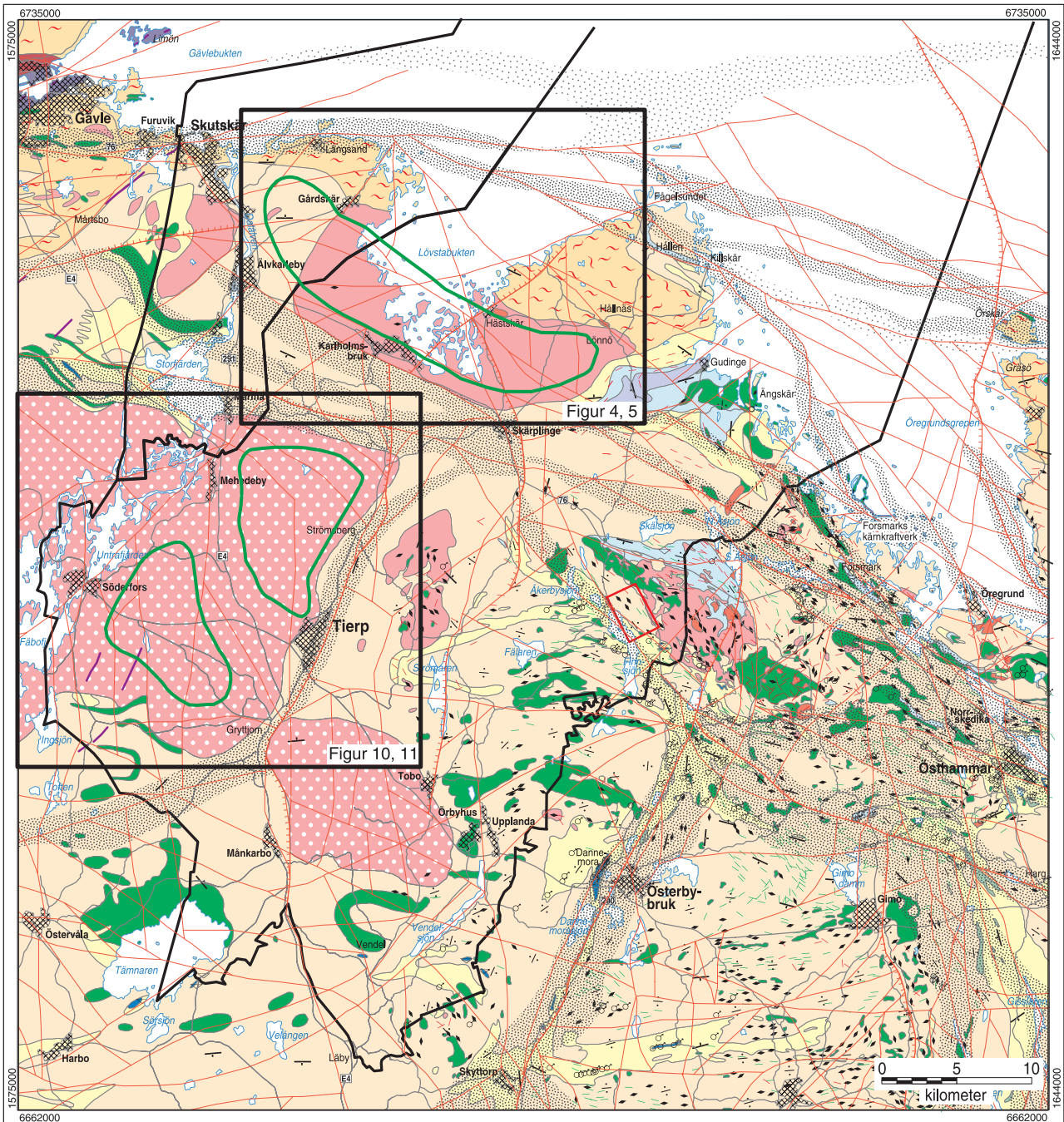
Berggrunden inom kommunerna Tierp och Älvkarleby med omnejd domineras av djupbergarter, såsom metagranitoider (brun färg på berggrundskartan, figur 2). Prefixet ”meta” anger att bergarten har genomgått omvandling (metamorfose), vilket vanligtvis ger upphov till förskiffring och förgnejsning av bergarten (se nedan). Tillsammans med metagranitoiderna förekommer i ett flertal områden metagabbro och basiska bergarter av mer osäkert ursprung (mörkgrön färg på berggrundskartan). Associerat med de omvandlade djupbergarterna förekommer ytbergarter, huvudsakligen metavulkaniska och metasedimentära bergarter (gröna, gula och blå färger på berggrundskartan). Alla dessa bergarter bildades för ca 1 900–1 890 miljoner år sedan.

Malmpotentiella områden i kommunerna förekommer söder om Vendelsjön i den sydligaste delen av Tierps kommun, omkring Finnsjön i den östra delen av Tierps kommun, öster om Marma över gränsen till Älvkarleby kommun och väster om Dalälven i Älvkarleby kommun (Bergman m fl, 1999, 2000). En koppling av dessa områden till förekommande metavulkaniska bergarter är påfallande.

Under tiden för ca 1 850–1 780 miljoner år sedan skedde den regionala omvandlingen av bergarterna samt huvuddelen av den plastiska deformationen av berggrunden, dvs utbildningen av mer eller mindre stark förskiffring och stänglighet samt veckning. I zoner där den plastiska deformationen var särskilt stark bildades plastiska skjuvzoner. Ett omfattande system av zoner i NV- till VNV-lig riktning, som innehåller en hög frekvens av plastiska skjuvzoner, följer kustområdet i norra Uppland, inklusive Tierps och Älvkarleby kommuner. Inom detta system av skjuvzoner förekommer stora linsformade områden, såsom tektoniska linser, där den plastiska deformationen är betydligt mindre omfattande. Systemet av plastiska skjuvzoner i norra Uppland utgör en av de mest framträdande deformationszonerna i Sveriges berggrund (figur 1).

I vissa områden har den regionala omvandlingen varit så omfattande att bergarterna delvis smält upp eller omkristalliserat. Därigenom har de bergarter bildats som betecknas ådergnejs och migmatit. Den betydande omvandlingen ger upphov till en mycket komplex och inhomogen berggrund med stora variationer vad gäller bergarternas textur, sammansättning och kornstorlek. På berggrundskartan (figur 2) visas dessa kraftigt omvandlade bergarter med röda ”spiriller” på mörkt gul bottenfärg.

Stora delar av undersökningsområdet utgörs också av yngre, mer välbevarade bergarter. Av dessa dominerar ca 1 800 och ca 1 780 miljoner år gamla, såsom yngre graniter (ljus röd och ljus röd med vita prickar på kartan). Pegmatiter av samma ålder visas med orangeröd färg och slutligen visas en ännu yngre, ca 1 500 miljoner år gammal granit, som återfinns norr om Gävle med mörkröd färg. Välbevarad sandsten som är yngre än ca 1 500 miljoner år och diabas förekommer också omkring Gävle (lila och mörklila färg på kartan). All dessa bergarter bildades under den senare fasen av den regionala plastiska deformationen och omvandlingen av berggrunden, eller i senare skeden av den geologiska utvecklingen.



**DJUP- OCH GÅNGBERGARTER**

- Granit, ca 1500 milj. år (Strömsbrogranit)
- Granit, grovkornig och vanligtvis porfyrisk, ca 1780 milj. år ("Hedesundagranit")
- Pegmatit, ca 1800 milj. år
- Granit, fin- till medelkornig, jämnkornig, ca 1800 milj. år
- Metagranitoid, ca 1890 milj. år
- Metagabbro och basisk bergart av osäkert ursprung, ca 1900–1890 milj. år
- Diabas
- Granit, pegmatit och aplit som gångar och små massiv
- Basisk gångbergart (amfibolit)

**YTBERGARTER**

- Sandsten, yngre än 1500 milj. år
- Metasedimentär bergart i allmänhet, ca 1900 milj. år
- Kvartsit, ca 1900 milj. år
- Marmor (kristallin kalksten), ca 1900 milj. år
- Metavulkanisk bergart, sur till intermediär, ca 1900 milj. år
- Metavulkanisk bergart, basisk, ca 1900 milj. år

**BERGARTER AV VARIERANDE URSPRUNG**

- Migmatit och ådergnejs

- Inneslutning av äldre bergart i yngre
- Nedlagd gruva eller skärpning (järnmalm, sulfidmalm)
- Stenbrott i kristallin kalksten
- Förskifvning och lagring
- Förskifvning och lagring med vertikal stupning
- Sprickzon
- Vertikal rörelse i sprickzon, symbolen pekar mot det sänkta blocket
- Område tolkat att innehålla en hög frekvens av plastiska skjvzoner
- Bred lågmagnetisk zon under havet, sannolikt av tektoniskt ursprung
- Kommungräns
- SKB-typområde Finnsjön

*Figur 2. Berggrundskarta över Tierps och Älvkarleby kommuner med omgivningar (efter Bergman m fl, 1999). Rektanglarna visar de något mer detaljerade kartor som presenteras i rapporten. Fältkontrollerade områden visas med grön linje.*

I samband med att berggrunden svalnade, men även långt senare, skedde uppsprickning av berggrunden, dvs spröd deformation. I smala zoner där den spröda deformationen var särskilt stark bildades sprickzoner eller förkastningar. Sådan deformation har påverkat alla bergarter i undersökningsområdet. Sprickzonerna avgränsar flera berggrundsblock, vars storlek är beroende av med vilket inbördes avstånd zonerna uppträder. Dessa zoner följer dels de gamla, breda plastiska skjuvzonerna, dels bildar de egna system och övertvårar de äldre plastiska zonerna och de mellanliggande tektoniska linserna. Rörelser längs åtminstone några sprickzoner har förmodligen skett vid flera tillfällen, vilket innebär att zonerna har reaktiverats flera gånger under de senaste ca 1 600 miljoner åren.

Beträffande de allra yngsta, sen- eller postglaciala rörelserna i berggrunden kan konstateras att inga säkra sådana har dokumenterats i undersökningsområdet. Området ligger dessutom inom en del av Sverige med låg seismisk aktivitet.

För en mer utförlig beskrivning av bergarterna och deformationszonerna inom Tierps och Älvkarleby kommun hänvisas till Bergman m fl (1999, 2000).

### **3 Fältkontroll av potentiellt gynnsamma områden**

Fältkontroll har utförts inom utvalda områden inom de delar av kommunerna (figur 2) där berggrunden tidigare (Bergman m fl, 1999, 2000) bedömts vara potentiellt gynnsam för vidare undersökningar. Valet av områden har gjorts av SKB utifrån en sammanvägd bedömning av samtliga förstudieresultat, innefattande bland annat geologiska förutsättningar, markanvändningsintressen och miljöaspekter. Resultaten av dessa arbeten och prioriteringen av områden har presenterats i förstudiernas preliminära slutrapporter (SKB, 2000a, b).

#### **3.1 Metodik**

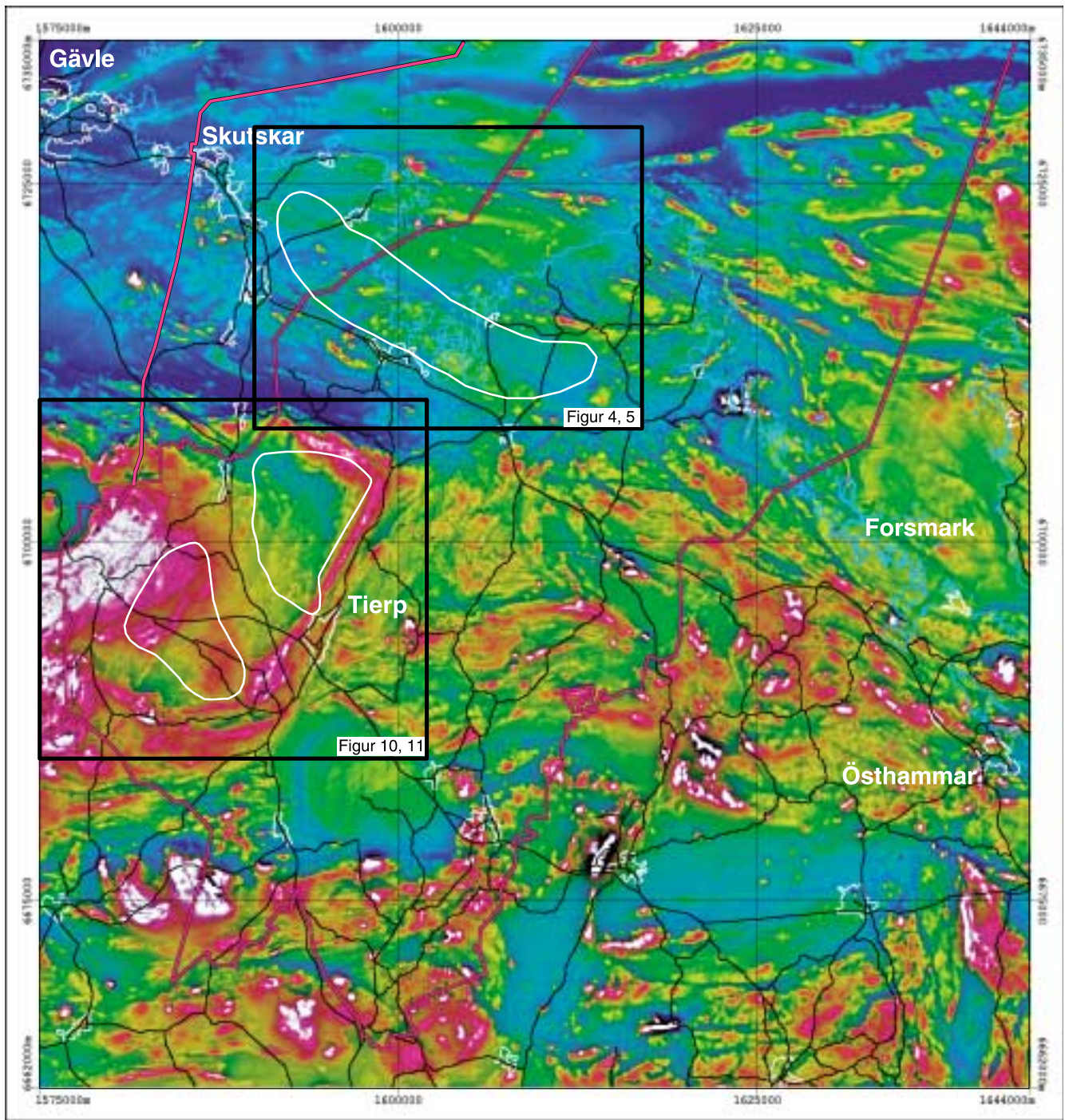
Fältkontrollen har innefattat dokumentation av berggrundens karaktär med avseende på bergartstyp, homogenitet, grad av plastisk och spröd deformation samt orientering av sprickor. Graden av spröd deformation mäts i form av sprickfrekvens och avser i första hand mer uthålliga sprickor som kunnat följas, eller tolkats att fortsätta flera meter. Zoner med ”småsprickigt” berg har också dokumenterats.

Vid huvuddelen av observationspunkterna har också mätning av bergarternas magnetiska susceptibilitet (magnetiserbarhet) utförts för att kunna göra en säkrare koppling mellan observerade bergarter och den magnetiska anomalikartan (figur 3). Mätningarna har gjorts på berghällar med ett handhållet instrument och i texten anges mätvärden i  $\times 10^{-5}$  SI-enheter. Generellt sett motsvaras magnetiska anomalier av bergarter med hög magnetisk susceptibilitet. Susceptibiliteten har dock inget samband med om ett område bedöms som potentiellt gynnsamt eller ej. Fältkontrollen har även omfattat provtagning och densitetsbestämning av vissa djupbergarter. Resultaten har använts som stöd vid bedömningen av djupbergarternas utbredning mot djupet med hjälp av regionala tyngdkraftsdata.

Moderna berggrundskartor i skala 1:50 000 saknas inom samtliga områden och jordartskartor med hållinformation finns bara delvis. För att förbättra möjligheterna att hitta hållar gjordes en flygbildstolkning inom de områden där fältkontroll planerades och där moderna jordartskartor saknas. Detta gäller området väster om Lövstabukten (figur 4) och större delen av området strax norr om Tierp (figur 10).

Presentationsskalan för de olika kartprodukterna i förstudierapporterna (Bergman m fl, 1999, 2000) är mer översiktlig än den i föreliggande arbete. En ny och mer detaljerad tolkning av sprickzoner har därför gjorts, i huvudsak inom de aktuella undersökningsområdena. Arbetet har bland annat resulterat i en viss modifiering av tidigare tolkningar, samt att nya tolkade regionala sprickzoner som kan följas ca 1–5 km tillkommit. Tolkningen är i huvudsak baserad på data från flygburna magnetiska mätningar och topografiska data kompletterade med information från flygburna VLF-mätningar.





5000 0 5000 10000 meter

### Magnetiskt anomalifält

Geofysisk flygmätning, SGU och Boliden  
Anomalifält i nanoTesla, gradienter förstärkta  
genom skuggning med vertikalkalderivatan



Magnetisk anomali [nT]

*Figur 3. Magnetiskt anomalifält. Violetta-ljusa färger visar hög magnetisering och blå färger visar låg magnetisering. Rektanglarna visar de något mer detaljerade kartor som presenteras i rapporten. Fältkontrollerade områden visas med vit linje.*

De berggrundsgeologiska kartorna som visar var fältkontroll gjorts (figur 5 och 11) är i princip förstorade utsnitt av den översiktliga berggrundskartan över kommunerna Tierp och Älvkarleby med omgivning (figur 2). Tolkade regionala sprickzoner presenteras på de förstorade kartorna som linjer med olika stil. De heldragna linjerna representerar de zoner som presenterades i Bergman m fl (1999, 2000), medan de streckade linjerna visar de zoner som framkommit vid den mer detaljerade tolkning som nu gjorts. Områden vilka bedömts innehålla hög frekvens av plastiska skjuvzoner åskådliggörs på kartorna med ett raster. Dessa områden återfinns dock utanför fältkontrollområdena.

Någon revidering, utöver den mer detaljerade sprickzonstolkningen, av den tidigare presenterade berggrundskartan (Bergman m fl, 1999, 2000) har inte gjorts eftersom detta skulle kräva mer omfattande fältarbeten. Observerade avvikelser behandlas i stället i texten.

## **3.2 Undersökta områden**

Fältkontroll har utförts inom tre geografiska områden (figur 2). Området närmast kusten sträcker sig över kommungränsen mellan Tierp och Älvkarleby och har i den beskrivande texten delats i två delområden. I texten beskrivs därför fyra områden:

- Området omkring Lövestabukten i Tierps kommun.
- Området väster om Lövestabukten i Älvkarleby kommun.
- Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.
- Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.

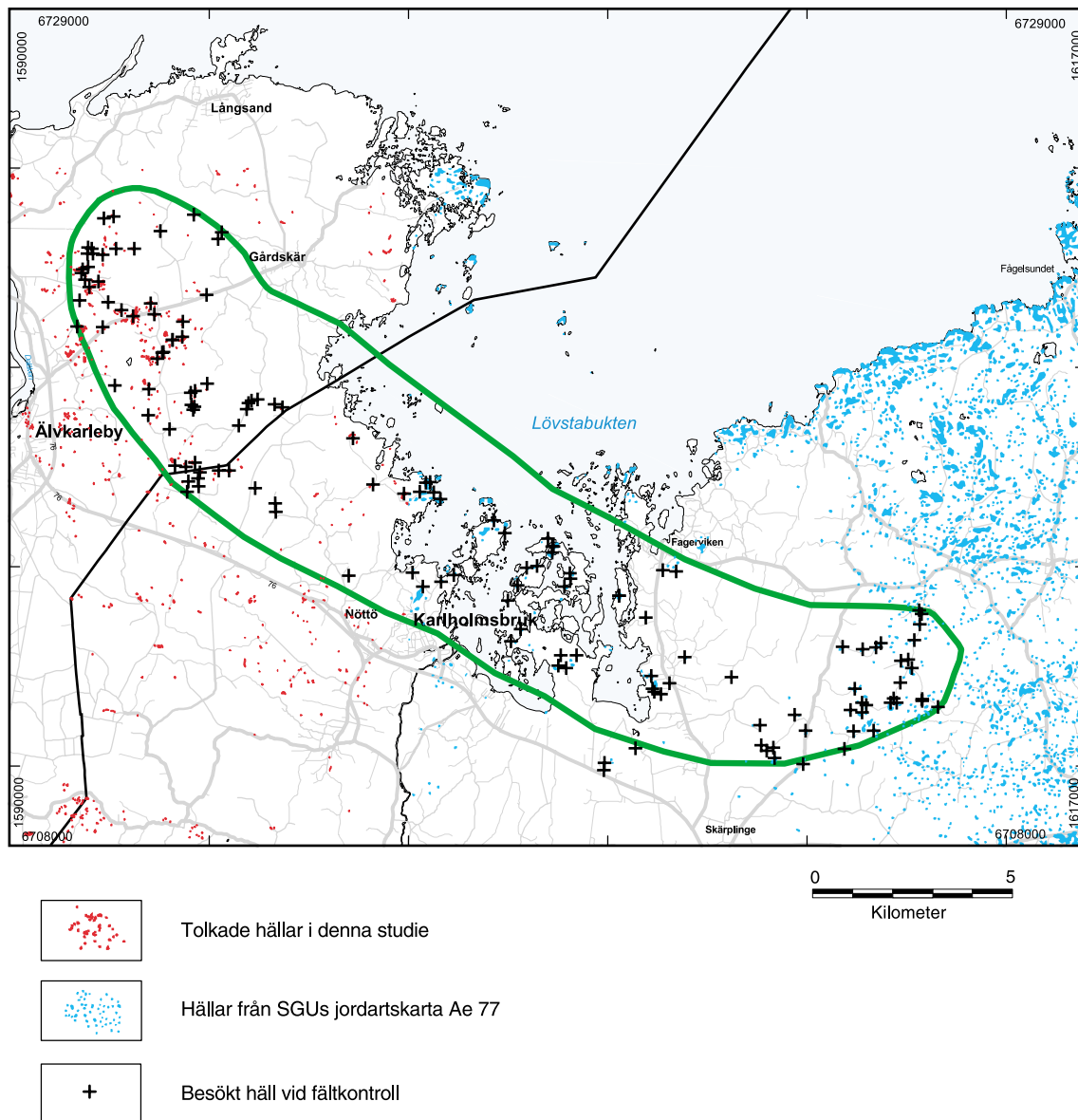
Resultaten av fältkontrollen, totalt 211 hällobservationer, samt en kort sammanfattning av resultaten redovisas nedan för vart och ett av dessa områden. Stor vikt har lagts vid bergartstyp, berggrundens homogenitet, observerad sprickfrekvens i häll samt relationer mellan observerad deformation i häll och tolkade regionala deformationszoner.

### **3.2.1 Området omkring Lövestabukten i Tierps kommun**

Området omkring Lövestabukten i den norra delen av Tierps kommun är ca 85 km<sup>2</sup> stort och begränsas i väster av kommungränsen mot Älvkarleby kommun. Andelen blottat berg är relativt låg, särskilt i området sydost om Fagerviken (figur 4). Fältkontrollen har omfattat 89 hällobservationer, vilkas lägen framgår av figur 4 och 5.

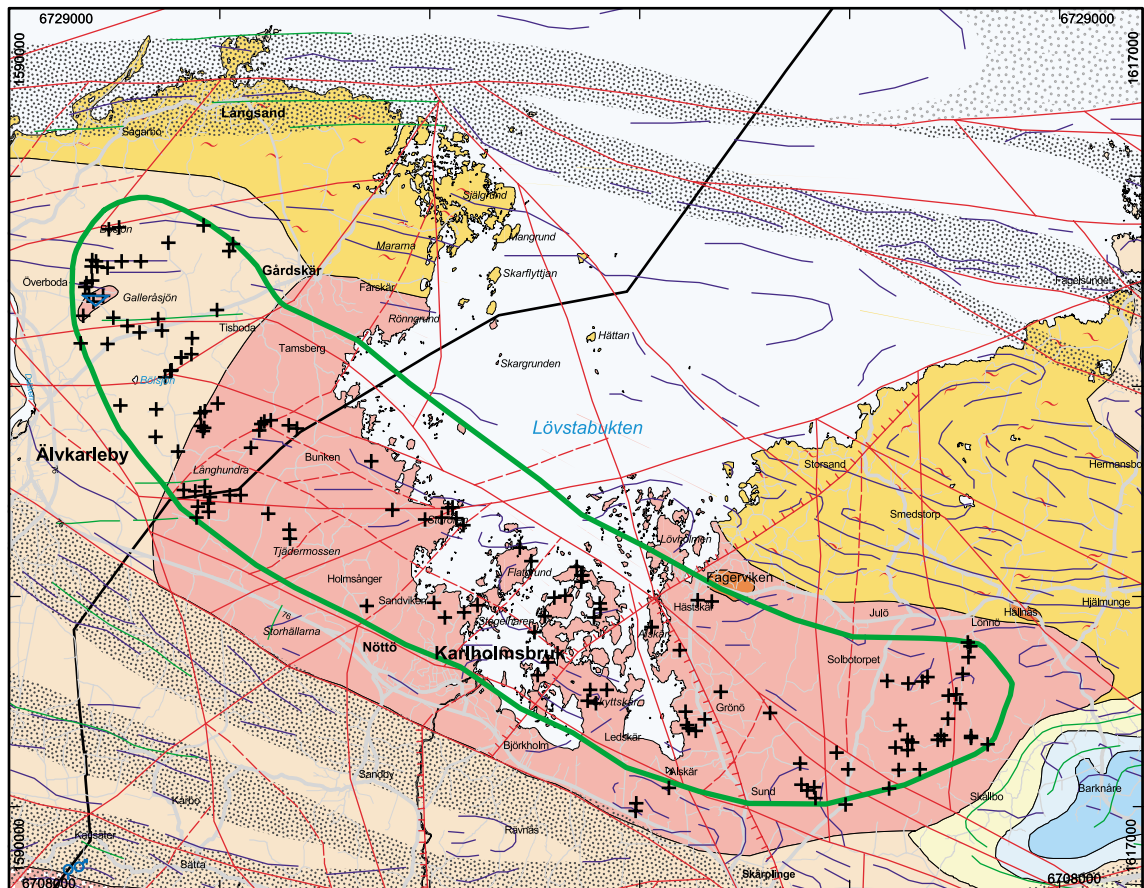
Berggrundskartan (figur 5) baseras huvudsakligen på senare sammanställningar (Söderholm m fl, 1983; Persson och Stålhös, 1991) av äldre kartinformation (Wahlqvist, 1868). Enligt dessa berggrundskartor utgörs undersökningsområdet av yngre granit och pegmatit varför berggrunden betecknades som granit av Bergman m fl (1999). Området ligger inom en tektonisk lins, dvs ett linsformat område som begränsas av zoner inom vilka hög frekvens av plastiska skjuvzoner förekommer (figur 2 och 5).

Den nu aktuella fältkontrollen har visat att de äldre berggrundskartorna är alltför förenklade och att berggrunden i området är betydligt mer komplex och varierande än vad dessa visar. Berggrunden beskrivs nedan från öster mot väster.



**Figur 4.** Hållar i området omkring Lövstabukten. Undersökningsområdet visas med grön linje i kartan.





- |  |   |  |  |
|--|---|--|--|
|  | Granit, grovkornig och vanligtvis porfyrisk, ca 1780 milj. år ("Hedesundagranit") |  | Tolkad regional sprickzon  |
|  | Pegmatit, ca 1800 milj. år  |  | Tolkad regional sprickzon enligt denna studie                            |
|  | Granit, fin- till medelkornig, jämnkornig, ca 1800 milj. år                       |  | Vertikal rörelse i sprickzon, symbolen pekar mot det sänkta blocket      |
|  | Metagranitoid, ca 1890 milj. år   |  | Område tolkat att innehålla en hög koncentration av plastiska skjuvzoner |
|  | Metasedimentär bergart i allmänhet, ca 1900 milj. år                              |  | Bred lågmagnetisk zon under havet, sannolikt av tektoniskt ursprung      |
|  | Kvartsit, ca 1900 milj. år  |  | Magnetisk konnektion   |
|  | Metavulkanisk bergart, sur till intermediär, ca 1900 milj. år                     |  | Formlinje  |
|  | Migmatit och ådergnejs av varierande ursprung                                     |  | Fältkontrollområde   |
|  | Nedlagd gruva eller skärpning (järnmalm)  |  | Besökt håll vid fältkontroll   |
|  | Nedlagd gruva eller skärpning (sulfidmalm)  |  | Kommungräns  |
|  | Bergtäkt för krossberg  |  |  |

**Figur 5.** Berggrundskarta över området omkring Lövstabukten. Utsnitt ur Bergman m fl (1999) kompletterad med en reviderad och mer detaljerad tolkning av sprickzoner. Undersökningsområdet visas med grön linje.



## **Bergarter och berggrundens homogenitet**

### **Områdets östra del**

Berggrunden i områdets östra del domineras av ådrade metagranitoider med varierande inslag av pegmatit och amfibolit (figur 6a). Metagranitoid och amfibolit tillhör den äldre generationen av intrusivbergarter i regionen, vilka bildades för ca 1 890 miljoner år sedan. Pegmatit bildades senare i samband med betydande omvandling och delvis uppsmältning av den äldre berggrunden. Proportionerna mellan de olika komponenterna varierar från håll till håll. I delområdet södra del ökar inslaget av pegmatit och vissa hållar domineras helt av pegmatitisk granit.

Det amfibolitiska inslaget är vanligtvis underordnat och amfibolit förekommer företrädesvis som mindre inneslutningar eller ådror i den gnejsiga metagranitoiden eller pegmatiten (figur 6a). I området ca 1 km söder om Lönnö har dock en enskild håll observerats som är helt dominerad av amfibolitisk metadiorit, vilket indikerar att även större kroppar av basiska bergarter kan förekomma.

### **Områdets sydöstligaste och södra-centrala delar**

En gråröd, relativt homogen granit uppträder i områdets sydöstligaste och södra-centrala delar. Graniten tillhör den yngre generationen av intrusivbergarter i regionen, vilka bildades för ca 1 800 miljoner år sedan. Kornstorleksmässigt varierar den från att huvudsakligen vara finkornig till fint medelkornig, till att i flera hållar vara delvis pegmatitisk. Pegmatit i form av gångar (figur 6b) samt inneslutningar av metagranitoid förekommer endast underordnat.

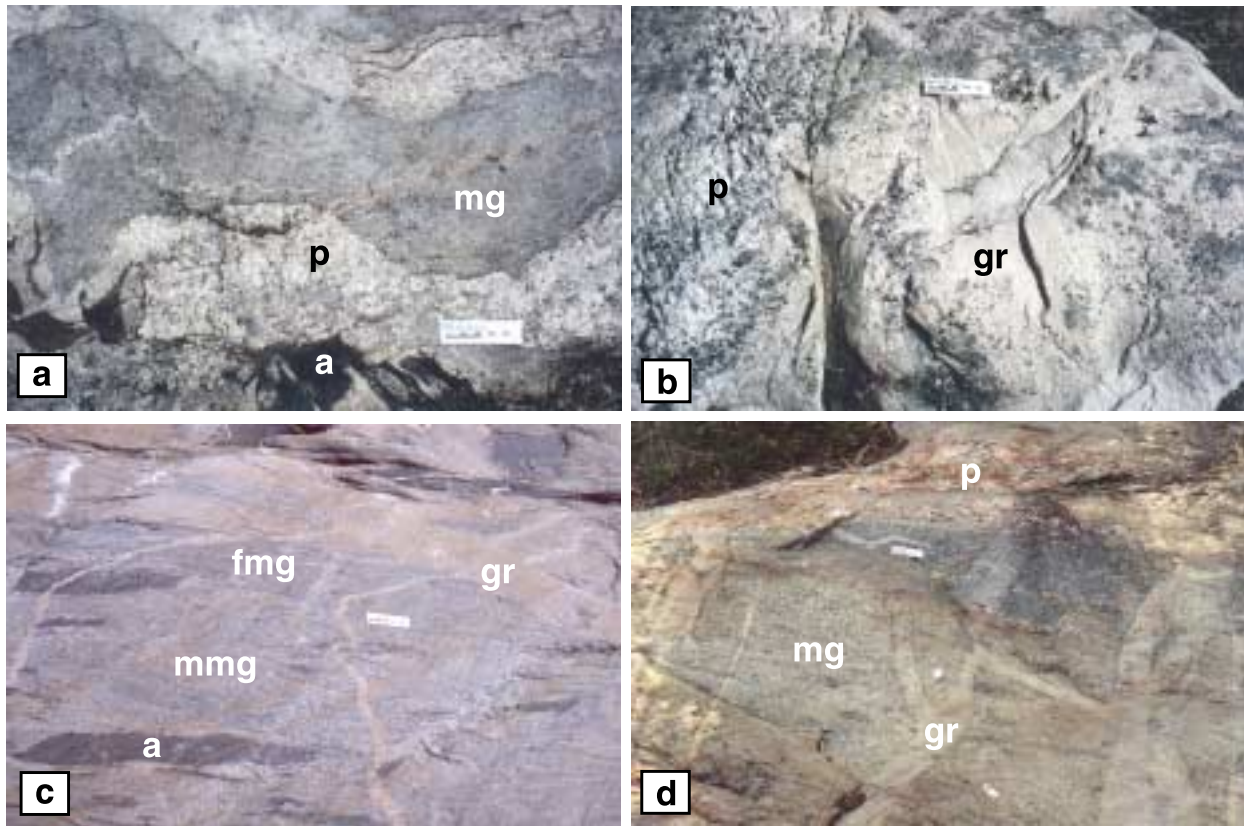
Den relativt homogena graniten har observerats i håll inom ett ca 20 km<sup>2</sup> stort område från ca 2,5 km väster om Skålbo i öster, över Grönö och Skyttskär till strax väster om Karlholmsbruk i väster. Begränsningen av granitens utbredning mot norr bedöms gå strax norr om Grönö i den östra och strax norr om Karlholmsbruk i den västra delen. Utbredningen mot söder, utanför fältkontrollområdet, är något mer osäker, men bedöms gå vid Askholm i den östra och strax söder om Karlholmsbruk i den västra delen. Inkluderande dessa områden är granitens totala areal ca 25 km<sup>2</sup>.

### **Områdets norra-centrala och västra delar**

Berggrunden i områdets norra-centrala och västra delar är mycket varierande med flera bergarter i varje håll (figur 6c–d). Dominerar gör olika typer av metagranitoid, som delvis uppvisar en ådrad, gnejsig struktur, och amfibolit. Två typer av metagranitoid är vanliga (figur 6c), dels finkornig, ljus grå granit, dels en något grövre variant med granodioritisk till tonalitisk sammansättning. Dessa bergarter klipps av gångar och små massiv av finkornig granit och pegmatit (figur 6c–d).

### **Bergarternas magnetiska egenskaper**

Den på hållar uppmätta magnetiska susceptibiliteten varierar mycket mellan de olika bergarterna och även inom varje bergartsgrupp. Metagranitoiderna ger värden inom intervallet 1 000–10 000 men vanligen 1 000–2 000. Den gråröda yngre graniten runt Karlholmsbruk och österut ger vanligtvis något lägre värden, huvudsakligen i intervallet 200–800. Lokalt har dock enstaka högre och lägre värden noterats. Pegmatitiska ådror och gångar ger i allmänhet värden lägre än 50. Metabasit och amfibolit överstiger sällan 100.



**Figur 6.** Typiska bergarter i området omkring Lövestabukten i Tierps kommun.

- a. Grå metagranitoid (mg) och pegmatit (p) med inneslutningar av amfibolit (a). Häll ca 2 km sydväst om Lönnö, RAK 1611867-6713085.
- b. Homogen, fin- till fint medelkornig yngre granit (gr) med klippande och småsprickig pegmatitgång (p). Häll ca 2,5 km nordost om Skärplinge, RAK 1609204-6710200.
- c. Fin- (fmg) och medelkornig (mmg), grå metagranitoid med inneslutningar av amfibolit (a) och klippande gång av finkornig granit (gr). Häll vid Storören, RAK 1600642-6716868.
- d. Grå, medelkornig metagranitoid (mg) med klippande gångar av finkornig granit (gr) och pegmatit (p). Häll på södra delen av ön Stegelbaren ca 2,4 km nordost om Karlholmsbruk, RAK 1602504-6714148.

## Geofysiska särdrag

Området omkring Lövstabukten karaktäriseras geofysiskt av låg till måttlig magnetisering, i huvudsak med ett anomalimönster där de magnetiska konnektionerna uppvisar växlande riktningar (figur 3 och 5). Den östra delen har dock en jämnare, låg magnetiseringsnivå.

Hela området uppvisar en förhöjd strålningsnivå med förhöjd radiumhalt och radonpotential. Denna är troligen kopplad till förekomsten av yngre granit och pegmatit. Strålning orsakad av förhöjda kaliumhalter har en tydlig koppling till områden med jordbruksmark.

I områdets sydöstligaste och södra-centrala delar återfinns ett tyngdkraftminimum, vilket troligen återspeglar utbredningen av den yngre, homogenera graniten. I kapitel 4 görs en bedömning av granitens djuputbredning med hjälp av tyngdkraftsdata och densitetsmätningar av bergartsprover.

Området är morfologiskt mycket flackt, med en stor andel hav, våtmarker och jordbruksmark samt tjocka moräntäckten. Förutsättningarna för att utifrån topografiska data tolka fram mindre sprickzoner samt karaktärisera dessa är därmed mindre gynnsamma.

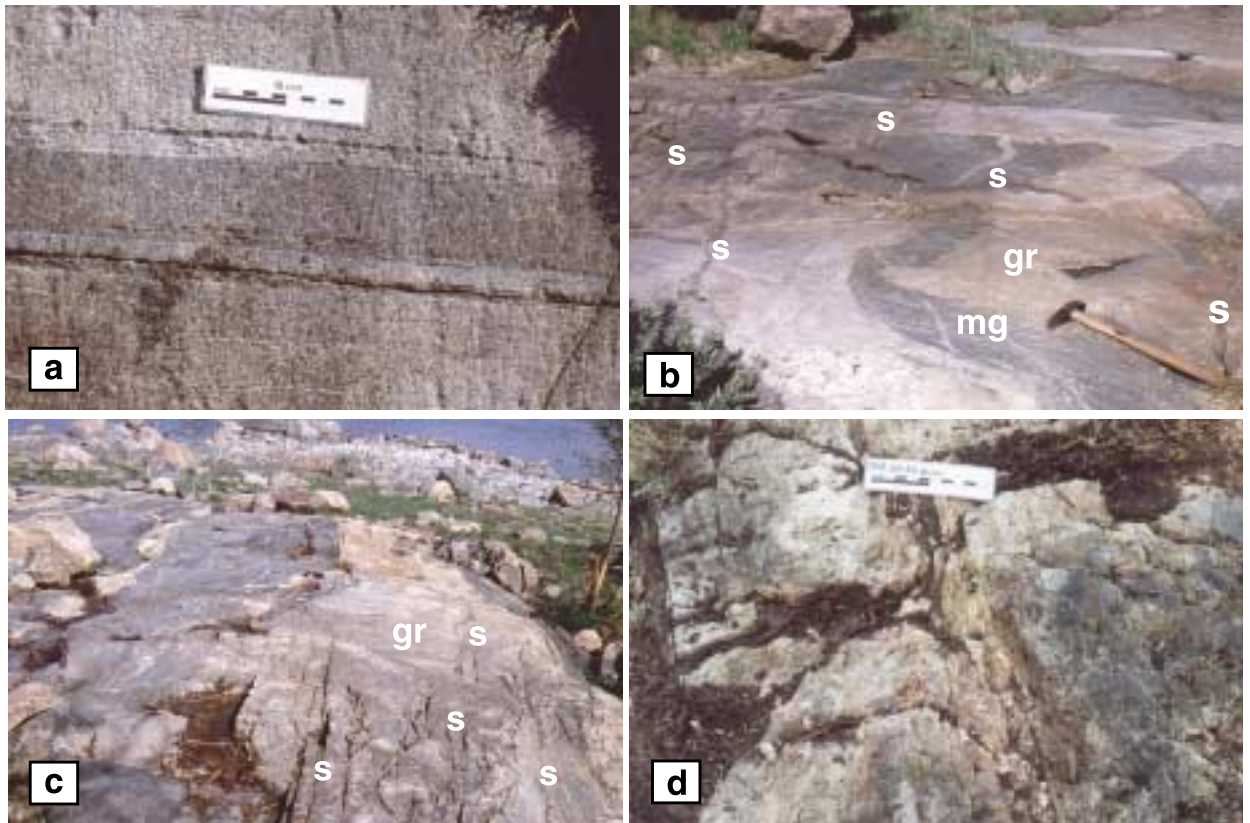
## Deformation

Bergarternas metamorfa och strukturella karaktär varierar mycket inom området. Den yngre graniten runt Karlholmsbruk är i allmänhet massformig (figur 6b) eller lokalt svagt folierad i NV-lig riktning. De äldre bergarterna, dvs metagranitoider och metabasiter, är omvandlade och plastiskt deformerade. Dessa bergarter är vanligtvis förskiffrade och/eller stängliga och delvis ådrade. Förskiffring och ådring är i allmänhet ONO-lig med en medelbrant till brant stupning ( $50^{\circ}$ – $90^{\circ}$ ) åt SSO. Stängligheten är medelbrant åt OSO. Lokalt förekommer också kraftig plastisk deformation i NV-lig riktning, exempelvis i området ca 5 km NNV om Karlholmsbruk (figur 7a).

Den observerade sprickfrekvensen är i allmänhet låg i de äldre bergarterna, ca 3–5 sprickor per 10 meter hällyta. Lokalt förekommer dock betydligt högre sprickfrekvens som till exempel i hållarna på Storören, ca 3 km norr om Karlholmsbruk, där sprickfrekvensen ibland uppgår till flera sprickor per meter hällyta (figur 7b–c). Dessa hållar ligger inom ett område där flera av de tolkade regionala sprickzonerna möts (figur 5).

Sprickfrekvensen i den yngre graniten är mer varierande men tenderar i allmänhet att vara högre, vanligtvis ca 1 spricka per meter hällyta. I nära anslutning till en av de tolkade NV-liga, regionala sprickzonerna (öster om Lövstabukten, ca 3,5 km nordost om Skärplinge) är graniten kraftigt spröd-plastiskt deformerad. Mylonit och kraftigt uppsprucken granit med kvarts- och epidotläkta sprickor förekommer (figur 7d). Förskiffringen har där en NV-lig riktning och sammanfaller med den som ovan beskrivits från ca 5 km NNV om Karlholmsbruk. Detta indikerar att den NV-liga sprickzonen nordost om Grönö och vidare strax norr om Alskäret till Bölsjön i Älvkarleby kommun (figur 5) sannolikt utgör en reaktivering av en äldre plastisk zon.

Sprickor som noterats i hållskala har varierande riktning, men förekommer huvudsakligen i VNV- till NV-, NNO- och NO- till ONO-liga riktningar. Dessa riktningar sammanfaller i stort sett med orienteringen av de tolkade regionala sprickzonerna i området (figur 5).



**Figur 7.** Exempel på deformation i berggrunden i området Lövestabukten i Tierps kommun.

- a. Kraftig plastisk deformation med nordvästlig riktning i bandad metagranitoid (ljusare band) och amfibolit (mörkare band). Häll ca 5 km nordnordväst om Karlholmsbruk, RAK 1598625-6718222.
- b. Sprickor (s) i ONO-lig riktning som påverkar både en grå, medelkornig metagranitoid (mg) och klippande gångar av finkornig granit (gr). Området vid Storören visar en relativt hög sprickfrekvens. Häll vid Storören, RAK 1600818-6716695.
- c. Sprickor (s) i ONO-lig riktning huvudsakligen i finkornig granitgång (gr). Området vid Storören visar en relativt hög sprickfrekvens. Häll vid Storören, RAK 1600560-6717118.
- d. Mylonit och kraftigt uppsprucken granit med kvarts linser och gångar i en komplex spröd till plastisk deformationszon. Häll ca 4 km nordnordost om Skärplinge, RAK 1609707-6711276.

## **Sammanfattning**

Berggrunden i området omkring Lövstabukten bedöms huvudsakligen som inhomogen, med betydande bergartsvariationer både i hållskala och mer regionalt. Inom området förekommer ett flertal bergartstyper med varierande kornstorlek och sammansättning. Blottningsgraden (andelen kalt berg) är relativt låg, särskilt i området sydost om Fagerviken. Fältkontrollen har visat att den berggrundskarta som presenterades av Bergman m fl (1999), som baseras på äldre kartor (från 1868) och sammanställningar (från 1980- och 1990-talet), ger en alltför förenklad bild av berggrunden, där förekomsten av den yngre graniten är överrepresenterad.

Dominerande i de östra och västra delarna av området är olika typer av förskiffrad eller gnejsig metagranitoid med betydande inslag av pegmatit som ådror och klippande gångar samt stort inslag av amfibolit. De sydöstligaste och södra-centrala delarna är de mest homogena och domineras av finkornig till fint medelkornig, yngre granit. Den uppvisar ett varierande inslag av pegmatitiska partier i flera hållar, medan pegmatit i form av gångar endast uppträder underordnat. Graniten har sin huvudsakliga utbredning kring Skyttskär och Karlholmsbruk och har i håll observerats inom ett ca 20 km<sup>2</sup> stort område. I den västra delen fortsätter graniten sannolikt också något vidare åt sydväst utanför det undersökta området. Granitens totala areal uppskattas då till ca 25 km<sup>2</sup>.

Deformationen i närheten av den nordvästliga sprickzonen strax nordost om Grönö och vidare mot Bölsjön i Älvkarleby kommun indikerar att denna zon sannolikt är en reaktiverad äldre plastisk zon.

Den i håll observerade sprickfrekvensen varierar mycket. Inom vissa delar är sprickfrekvensen relativt låg, ca 3–5 sprickor per 10 meter hälllyta. Det finns dock en tendens till högre sprickfrekvens, ca 1 spricka per meter hälllyta, i den yngre graniten i områdets sydöstligaste och södra-centrala delar. Lokalt förekommer områden, särskilt i anslutning till de tolkade regionala sprickzonerna, med betydligt högre sprickfrekvens, flera sprickor per meter hälllyta. Observerade sprickriktningar i hållskala överensstämmer i stort sett med den regionala sprickzonsbilden i området. Sambandet mellan tolkade regionala sprickzoner och ökad sprickfrekvens i håll stöder tolkningen av dessa regionala zoner.

Hela området uppvisar förhöjd radiumhalt i berggrunden, troligen kopplad till yngre granit och pegmatit. Strålning orsakad av förhöjda kaliumhalter har en tydlig koppling till områden med jordbruksmark.

### **3.2.2 Området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun**

Undersökningsområdet väster om Lövstabukten är ett ca 32 km<sup>2</sup> stort skogsområde med relativt låg blottningsgrad (figur 4 och 5). Antalet kända hållar har dock ökat genom den flygbildstolkning som gjorts över området i samband med föreliggande studie. Fältkontrollen har omfattat dokumentation av 54 hållar, vilkas läge framgår av figur 4 och 5.

Berggrundskartan (figur 5) baseras huvudsakligen på sammanställningar (Söderholm m fl, 1983; Persson och Stålhös, 1991) av äldre kartinformation (Wahlqvist, 1868) och visar två bergarter; yngre granit i den sydöstra delen av området och äldre metagranitoid i nordväst. Undersökningsområdet ligger inom ett tektonisk lins omgiven av zoner inom vilka en hög frekvens av plastiska skjuvzoner förekommer (figur 2 och 5).

Den nu aktuella fältkontrollen har visat att de berggrundsgeologiska förhållandena är betydligt mer varierande än vad de äldre kartorna visar. Inom området har ådrad och gnejsig metagranitoid, något bättre bevarad metagranitoid, finkornig gnejs av osäkert ursprung (metavulkanisk bergart?), omvandlad basisk intrusivbergart (amfibolit) samt yngre granit och pegmatit noterats. Berggrunden kan allmänt betecknas som komplex och inhomogen.

### **Bergarter och berggrundens homogenitet**

#### **Området söder om och längs vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär**

Detta område präglas av betydande bergartsvariationer. I de flesta hållar förekommer fler än en bergartstyp. Dominerande är dock metagranitoid och amfibolit. Dessa bergarter tillhör den äldre generationen av bergarter i regionen, vilka bildades för ca 1 890 miljoner år sedan. Gångar och små massiv av finkornig till fint medelkornig granit och pegmatit förekommer också i hela området och antas vara bildade för ca 1 800 miljoner år sedan.

Metagranitoiden är huvudsakligen grå och relativt välbevarad i den södra delen av området (figur 8a). I den norra delen, söder om och längs vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär, är den mer omvandlad och har en gnejsig karaktär med ådror av nybildat granitiskt och pegmatitiskt material (figur 8b). Nybildat granitiskt och pegmatitiskt material dominerar också helt i vissa hållar. Öster och söder om Bölsjön är gnejsen finkornig och liknar en omvandlad, sur metavulkanisk bergart. Små mängder av mineralen kopparkis, zinkblände och blyglans har hittats av en privatperson (Ulf Karlsson, Skutskär) i en brecciazon i denna bergart (SGU, 1993). De basiska intrusivbergarterna i området är omvandlade till amfibolit och visar lokalt en primärt lagrad struktur med omväxlande mörka, hornbländedominerade och ljusa, fältspatdominerade band (figur 8c).

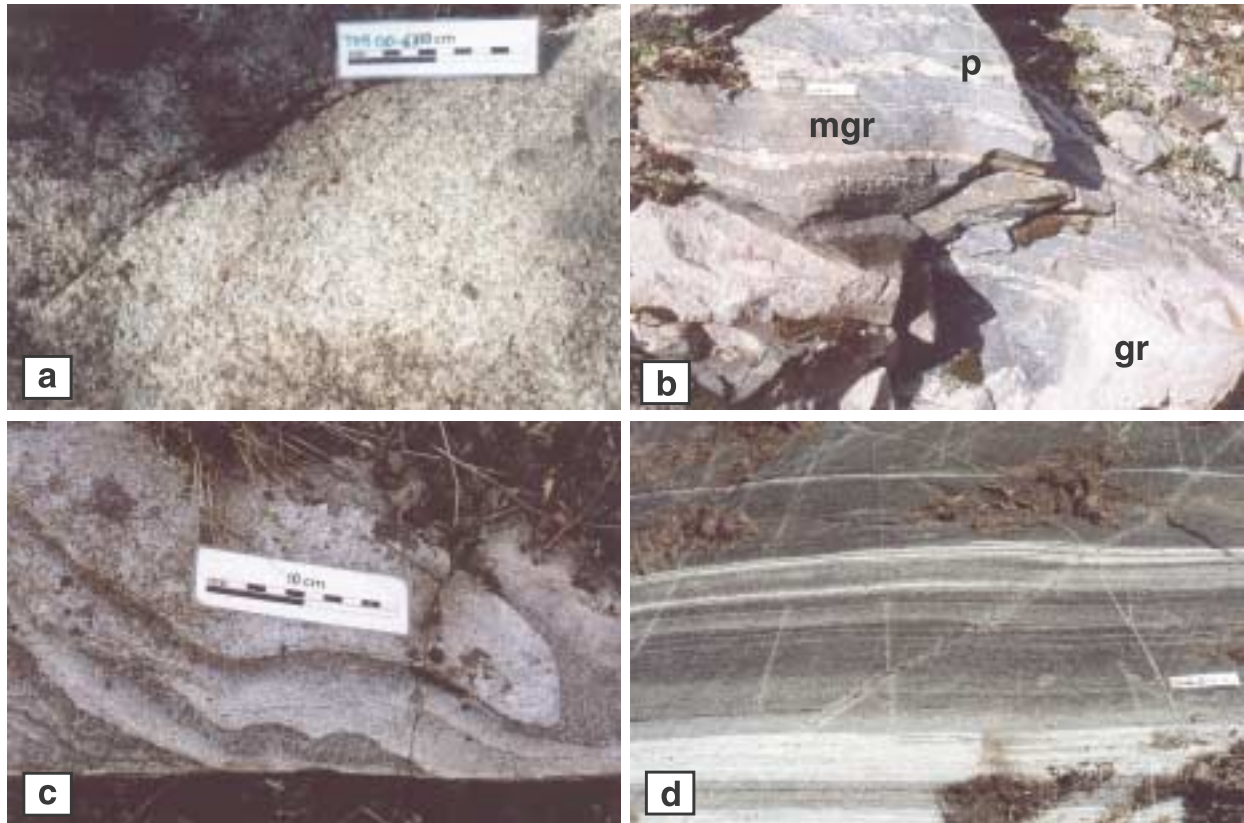
Den ådrade metagranitoiden och de basiska bergarterna är ofta intruderade av gångar och mindre massiv av finkornig till fint medelkornig, yngre granit och pegmatit (figur 8b). Ca 1,4 km nordost om Bölsjön förekommer en homogen, medel- till grovkornig och jämnkornig granit med en intrusionsbreccia längs kontakten till de omgivande gnejserna.

#### **Området nordväst om vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär**

Detta område domineras också av ådrad och gnejsig metagranitoid samt en basisk till intermediär, finkornig, bandad gnejs. Inom ett flertal mindre områden förekommer, liksom söder om vägen, finkornig till fint medelkornig, yngre granit och pegmatit. Graniten bryts för produktion av krossberg i en bergtäkt ca 1,5 km öster om Överboda. Dess största kända utbredning, som en sammanhängande kropp, är begränsad till ett mindre än 0,5 km<sup>2</sup> stort område omkring bergtäkten. Finkornig till fint medelkornig granit och pegmatit förekommer också som gångar inom hela området.

Norr om bergtäkten dominerar amfibolit som delvis är kraftigt bandad (figur 8d). I den östra delen, närmare Gårdskär, förekommer gnejsig metagranitoid och gångar av pegmatit. Pegmatit dominerar också i vissa enskilda hållar. Amfibolit förekommer i detta område endast som mindre inneslutningar i metagranitoiden.





**Figur 8.** Typiska bergarter i området väster om Lövestabukten i Älvkarleby kommun.

- a. Grå, välbevarad metagranitoid. Häll ca 3 km sydost om Bölsjön, RAK 1594423-6717502.
- b. Grå, gnejsig metagranitoid (mgr) med veckade ådror av pegmatit (p) och en gång av fin- till fint medelkornig granit (gr). Häll vid vägen mellan Älvkarleby och Gårdsjär, RAK 1593100-6721283.
- c. Basisk intrusivbergart med primär lagring. Häll ca 1,7 km sydost om Bölsjön, RAK 1594659-6719411.
- d. Bandad amfibolit. Häll ca 750 m norr om bergtälten öster om Överboda, RAK 1591958-6722847.

## **Bergarternas magnetiska egenskaper**

Den i håll uppmätta magnetiska susceptibiliteten varierar inom området. Den gnejsiga metagranitoiden ger vanligtvis värden i intervallet 0–1 000, men lokalt har värden upp till 3 000 uppmätts. De basiska metamorfa, intrusiva bergarterna (amfiboliter) ger betydligt lägre värden, vanligtvis i intervallet 40–70 och lokalt upp till 300. Den yngre jämnkorniga graniten ger oftast värden i intervallet 0–800 men den grövre, jämnkorniga graniten nordost om Bölsjön visar värden omkring 3 000–4 000.

## **Geofysiska särdrag**

Undersökningsområdet söder om och längs vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär har i huvudsak en låg magnetiseringsnivå, indikerande O-V-liga riktningar, men uppvisar några avvikande, högre anomalier. Den grövre, jämnkorniga graniten nordost om Bölsjön förorsakar troligen den högmagnetiska anomalin som kan ses på den magnetiska anomalikartan i detta område (figur 3). Anomalins storlek indikerar en relativt begränsad utbredning av denna homogena granit, < 0,5 km<sup>2</sup>. I området mellan Bölsjön och Långhundra uppträder ett mindre, lokalt tyngdkraftminimum vars orsak inte är klarlagd.

Området nordväst om vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär karaktäriseras av en måttlig magnetiseringsnivå och ett bandat anomalimönster med O-V-liga magnetiska konnektioner.

Undersökningsområdet uppvisar en förhöjd strålningsnivå, med normal till något förhöjd radiumhalt och radonpotential. Förhöjningarna är troligen kopplade till förekomsten av yngre granit och pegmatit. Förhöjd strålning beroende på förhöjda halter av kalium har en koppling till områden med jordbruksmark.

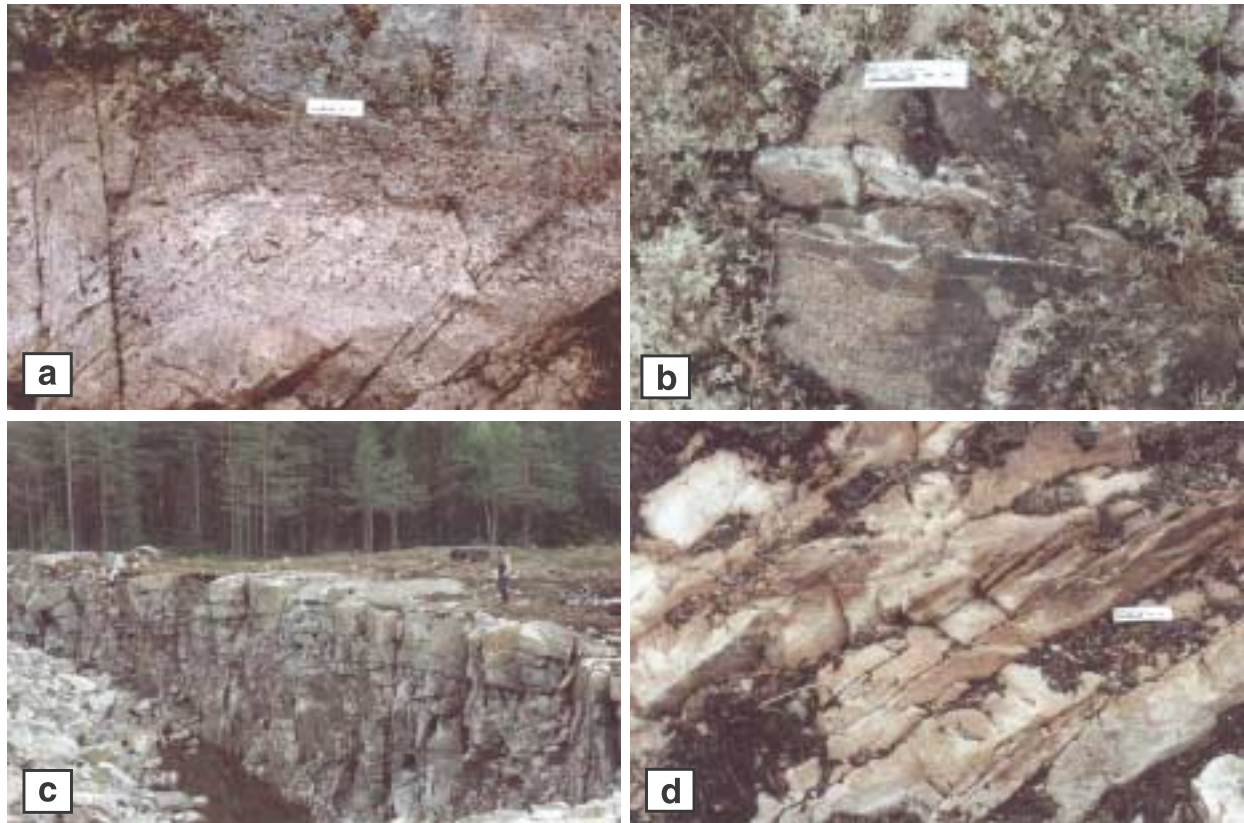
Området är flackt, med till stora delar låg blottningsgrad samt våtmarker och mäktiga moräntäcken. Förutsättningarna att kunna tolka fram mindre sprickzoner samt karaktärisera dessa är därmed mindre gynnsamma.

## **Deformation**

Plastisk deformation har endast påverkat de äldre bergarterna, dvs metagranitoid, finkornig gnejs (metavulkanisk bergart?) och amfibolit medan spröd deformation har påverkat samtliga bergarter, inklusive yngre granit och pegmatit. I den södra delen av området är de plana plastiska strukturerna i metagranitoid och amfibolit vanligtvis NO-liga till O-V-liga och stupar flackt åt sydost till söder. Förskiffringen är brantare i de bättre bevarade bergarterna i den sydligaste delen av området. I vissa hållar ses också en tydligt stänglighet (mineralstänglighet). Denna linjärstruktur stupar flackt mot OSO. I området nordväst om vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär är de plana plastiska strukturerna i allmänhet NV-liga eller nära O-V-liga och flackt stupande åt nordost eller norr.

Den i håll observerade förekomsten av sprickor som kan följas över flera meter eller som har tolkats att vara flera meter långa, varierar. I allmänhet har dock sprickfrekvensen uppskattats till ca 1–2 sprickor per meter hällyta i området utefter och söder om vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär (figur 9a). Lokalt har även högre frekvens noterats. Sprickor läkta av kvarts och epidot har noterats på ett flertal platser, till exempel ca 3,5 km söder om Gårdskär där en ca 0,5 meter bred kvartsläkt brecciazon noterats i NV-lig riktning i grå metagranitoid (figur 9b). Kvartsläkt breccia har också observerats 500 meter öster om Bölsjön.





**Figur 9.** Exempel på deformation i området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun.

- a. Uppsprucken granit och pegmatit. Häll ca 1,5 km nordost om Bölsjön, RAK 1594347-6721144.
- b. Kvarterläkt brecciazon i metagranitoid. Häll ca 3,5 km söder om Gårdskär, RAK 1596848-6718989.
- c. Sprickig yngre granit. Bergtäkten öster om Överboda, RAK 1592300-6722156.
- d. Småsprickig yngre granit. Häll i bergtäkten öster om Överboda, RAK 1592237-6722156.

I området norr om vägen är sprickfrekvensen mycket varierande. Hällar dominerade av gnejsig metagranitoid har i allmänhet något lägre sprickfrekvens jämfört med de som domineras av yngre granit. I den yngre graniten är sprickfrekvensen 1–2 sprickor per meter hällyta. I bergtäkten i yngre granit noteras dessutom ett flertal krosszoner med hög sprickfrekvens och en allmänt småsprickig berggrund (figur 9c–d). Inom dessa zoner förekommer kvarts som linser och sprickläkning. Dessa zoner av småsprickigt berg har en NNO-lig riktning.

De i häll observerade sprickorna är inom hela undersökningsområdet i allmänhet NNV- till NNO-liga och NO- till ONO-liga. De tolkade regionala sprickzonerna i regionen är huvudsakligen VNV-liga och NO- till ONO-liga (figur 5).

### **Sammanfattning**

Området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun är relativt dåligt blottat, med en varierande och komplex berggrund. Inom det ca 32 km<sup>2</sup> stora området förekommer ådrad och gnejsig metagranitoid, något bättre bevarad metagranitoid, finkornig gnejs av osäkert ursprung (metavulkanisk bergart?), omvandlad basisk intrusivbergart (amfibolit) samt gångar och små massiv av yngre granit och pegmatit. Två något större områden (upp till 0,5 km<sup>2</sup>) av yngre granit förekommer inom området; ca 1,5 km öster om Överboda och ca 1,4 km nordost om Bölsjön, söder om vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär.

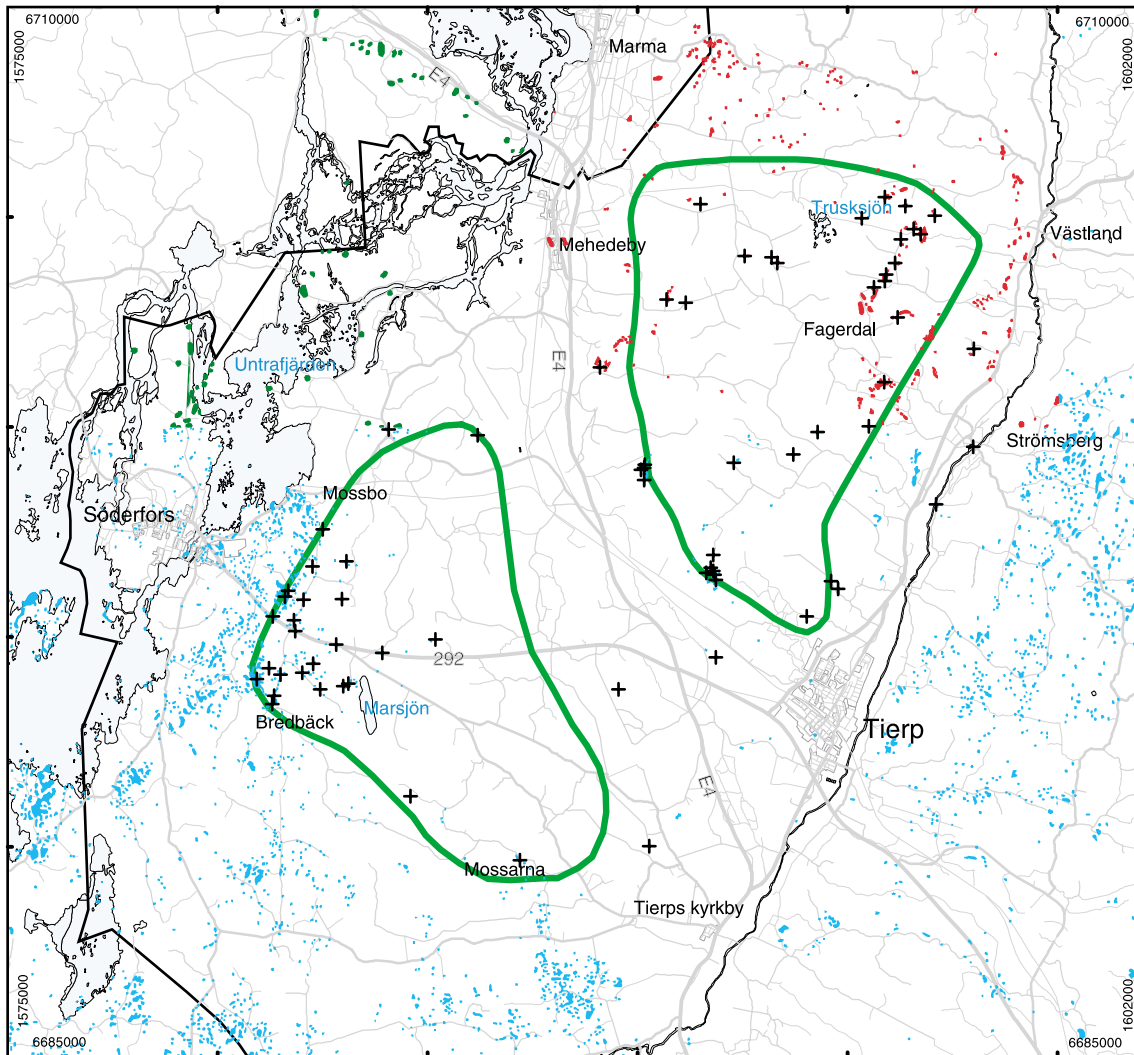
Äldre berggrundskartor och den sammanställning som presenterades av Bergman m fl, (2000) ger en alltför förenklad bild av berggrunden i området, med en stark överrepresentation av yngre granit i områdets sydöstra del. I denna del har yngre granit endast observerats som enstaka gångar och små massiv tillsammans med metagranitoid och en omvandlad basisk, intrusiv bergart (amfibolit).




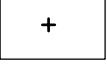
Sprickfrekvensen är vanligen 1–2 sprickor per meter hällyta, men både högre och lägre värden har noterats. Sprickriktningarna sammanfaller delvis med riktningen av de tolkade regionala sprickzonerna i området.

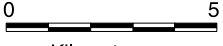
### **3.2.3 Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun**

Området som ligger mellan Tierp, Mehedeby och Västland i Tierps kommun är ca 60 km<sup>2</sup> (figur 11). Dess västra och sydvästra begränsning följer Uppsalaåsens utbredning med dess stora sand- och grusavlagringar, se Bergman m fl (1999). Blottningsgraden är låg, särskilt i områdets centrala del. Den inom projektet utförda flygbildstolkningen har dock avsevärt ökat antalet kända hällar där fältkontroll har kunnat göras (figur 10). Fältkontrollen har omfattat dokumentation av 40 hällar (figur 10 och 11).

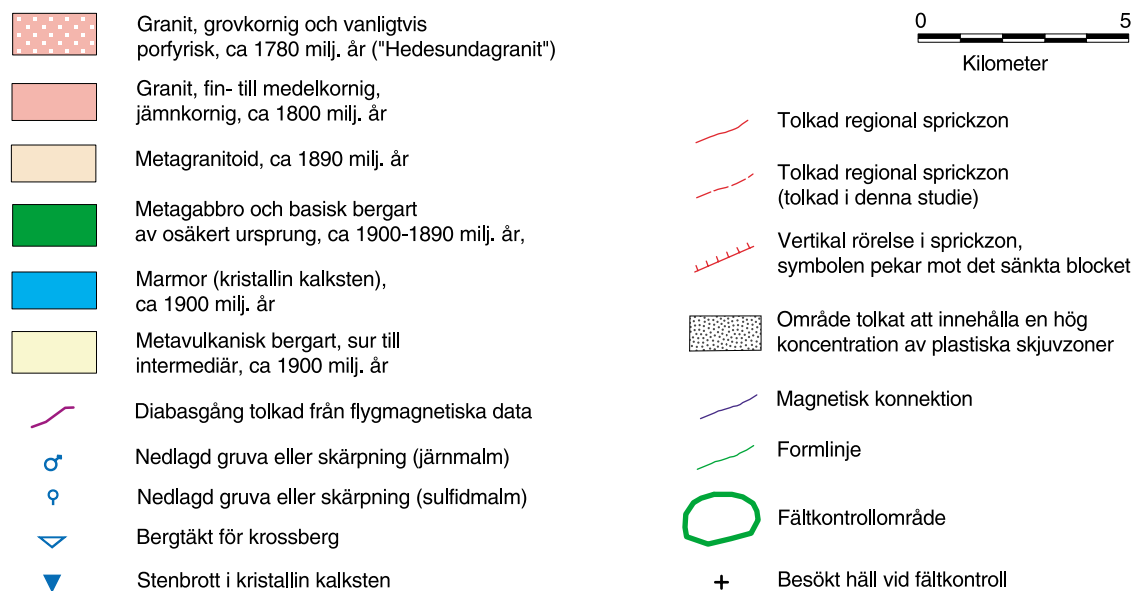
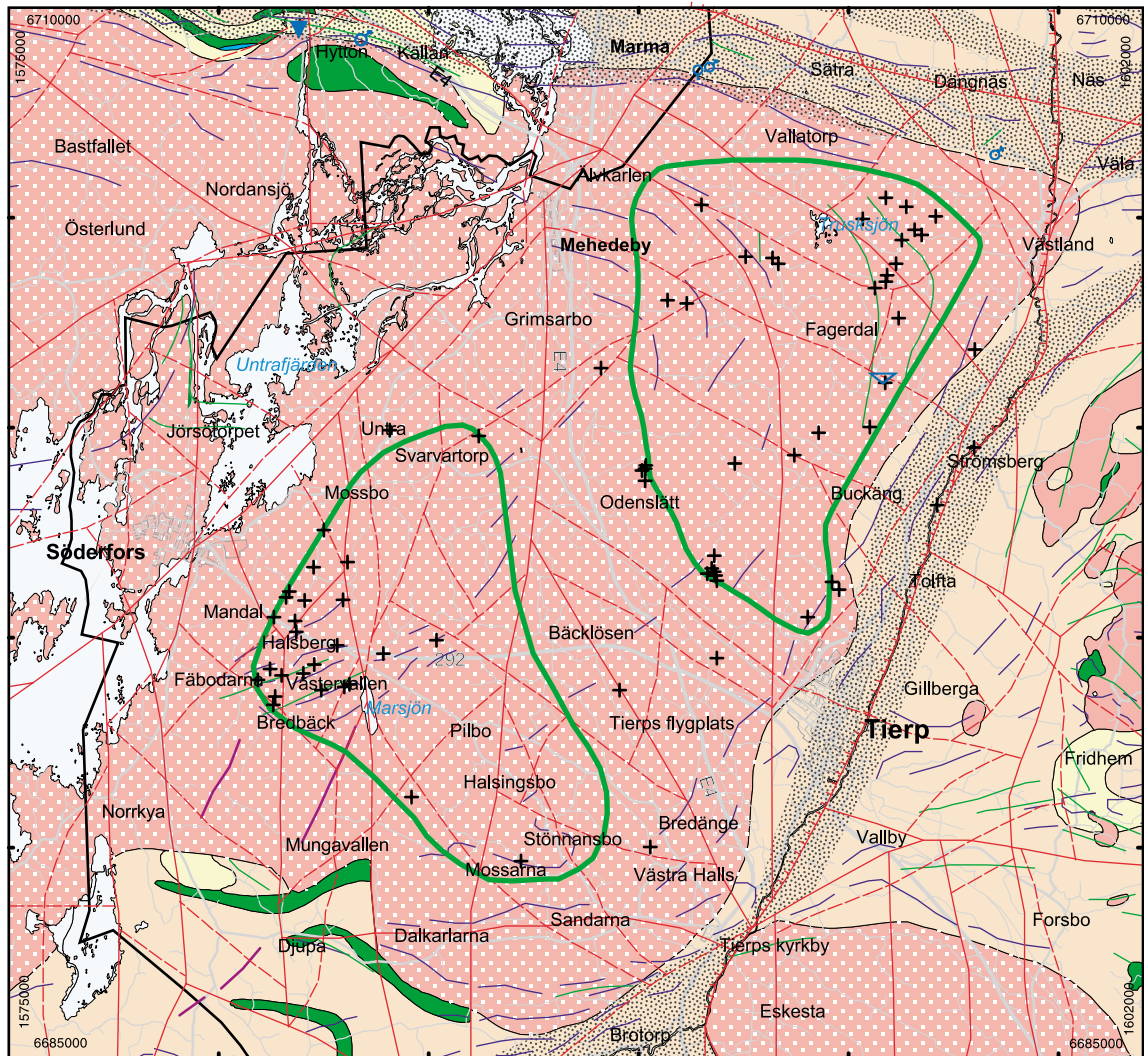
Den berggrundsgeologiska kartan över området (figur 11) är hämtad från Bergman m fl (1999). Kartan baseras på äldre kartor och sammanställningar (Wahlqvist, 1868; Stolpe, 1869; Sandegren m fl, 1948; Sandegren, 1949; Söderholm m fl, 1983; Persson och Stålhös, 1991). Området domineras helt av s k hedesundagranit, som är ca 1 780 miljoner år gammal och tillhör den yngre generationen intrusivbergarter i regionen. Med hedesundagranit avses egentligen flera bergarter inom Hedesundamassivet med något varierande sammansättning (se nedan). Zoner som bedömts innehålla hög frekvens av plastiska skjuvzoner saknas inom undersökningsområdet men återfinns längs Hedesundamassivets nordliga och ostliga kontakter mot de omgivande metagranitoiderna (figur 2 och 11).



- 
Tolkade hällar i denna studie
- 
Hällar från SGUs jordarts- och berggrunds-kartor i serie Ae och Af
- 
Hällar från SGUs kombinerade jordarts- och berggrundskarta Aa 191
- 
Besökt häll vid fältkontroll

  
 0 5  
 Kilometer

*Figur 10. Hällar i västra delen av Tierps kommun. Undersökningsområden begränsas av gröna linjer i kartan.*



**Figur 11.** Berggrundskarta över västra delen av Tierps kommun. Utsnitt ur Bergman m fl (1999) kompletterad med en reviderad och mer detaljerad tolkning av sprickzoner. Undersökningsområdena begränsas av gröna linjer.



## **Bergarter och berggrundens homogenitet**

Berggrunden kan betecknas som mycket homogen och domineras av "hedesundagranit" med endast små variationer i sammansättning och kornstorlek. Gångbergarter och inneslutningar förekommer, men i något begränsad omfattning. Endast vissa delar av Hedesundamassivet utgörs dock i strikt geologisk bemärkelse av granit, dvs en bergart som består till ungefär lika delar av mineralen kvarts, kalifältspat och plagioklas. Inom stora delar av området är kvartshalten i bergarten relativt låg och det mörkt gröna mineralet hornblände utgör en betydande komponent i bergarten. Bergarten har då närmast en kvartsmonzonitisk eller kvartsmonzodioritisk sammansättning. För att göra en säker bedömning av bergarternas sammansättning krävs analys i mikroskop av s k tunnslipspreparat. Detta har inte gjorts inom ramen för den nu aktuella fältkontrollen.

Större delen av området utgörs av homogen, huvudsakligen jämnkornig, medel- till grovkornig, hornbländeförande kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit (figur 12a). Endast enstaka inhomogeniteter i form av finkorniga, mörka, droppliknande inneslutningar och finkorniga, ljusa granitgångar har noterats (figur 12b). I den sydligaste delen av området har även inslag av gnejsig metagranitoid observerats i form av decimeter- till meterstora inneslutningar i kvartsmonzoniten (kvartsmonzodioriten). Detta reflekterar förmodligen närheten till den gnejsiga metagranitoiden som troligen återfinns omedelbart öster om hällen. I områdets västra kant, ca 1,5 km nordost om Odenslätt, har också en större inneslutning av förskiffrad metagranitoid noterades i ett stort hållmassiv med i övrigt massformig kvartsmonzonit. Inneslutningen är ca 100 m lång och 10–40 m bred, med en NO-lig orientering.

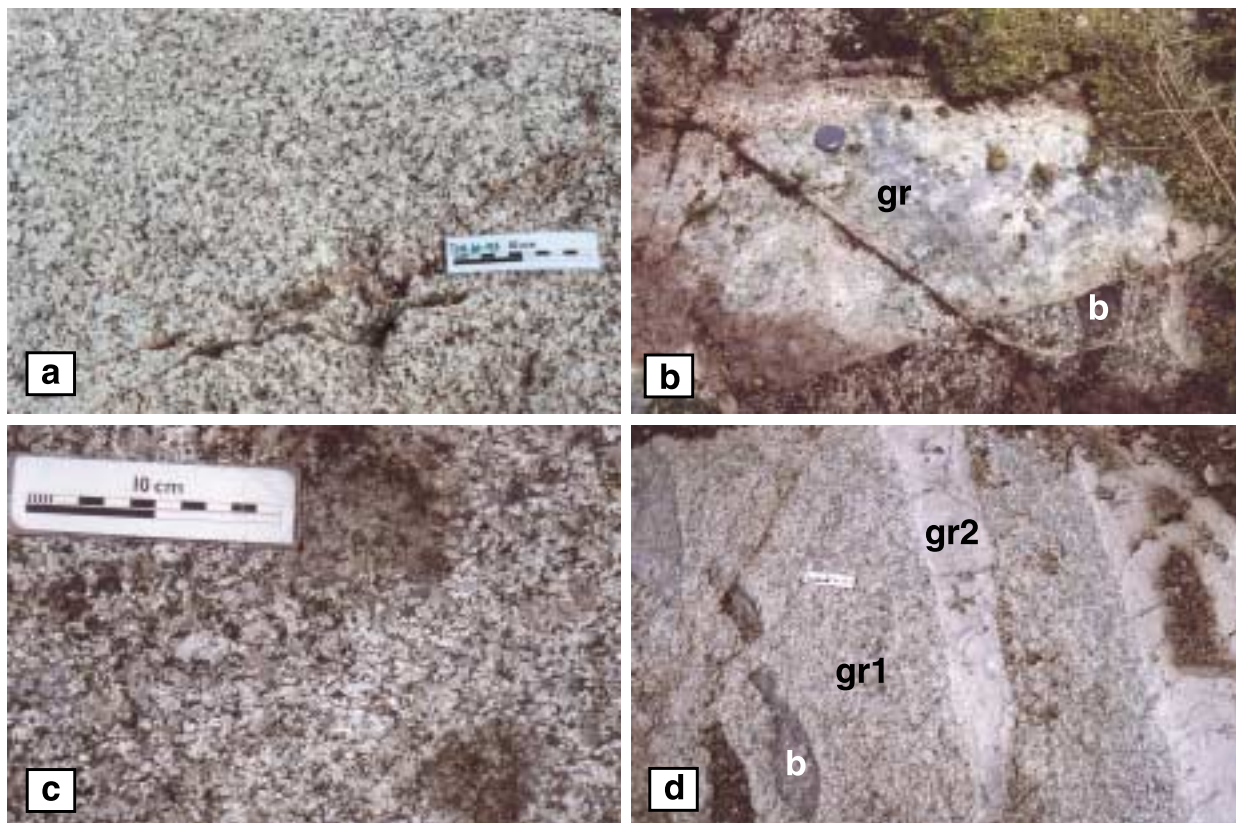
I de nordöstra och östra delarna är bergarten vanligtvis något grövre, huvudsakligen grovkornig, porfyrisk och mer granitisk i sammansättningen (figur 12c). Hornblände förekommer tillsammans med mörk glimmer (biotit) som mörka mineral i bergarten. I ett flertal hållar har basiska, finkorniga, decimeter- till meterstora inneslutningar noterats (figur 12d). I nära hälften av de observerade hållarna har också finkorniga, decimeterbredda granitgångar observerats (figur 12d). Bortsett från dessa smärre inhomogeniteter är graniten mycket homogen.

## **Bergarternas magnetiska egenskaper**

Den i håll uppmätta magnetiska susceptibiliteten varierar mycket inom området. Variationerna kan dock relativt väl kopplas till ovan beskrivna bergartsgrupper. Den dominerande hornbländerika, monzonitiska bergarten ger vanligtvis relativt låga värden (20–200). Den mer granitiska och mindre hornbländerika bergarten i områdets nordöstra och östra delar är vanligtvis betydligt mer magnetisk och uppvisar värden huvudsakligen i intervallet 1 500–3 000. Den magnetiska susceptibiliteten i enstaka granitgångar varierar också mycket. Större delen av de uppmätta gångarna ger dock värden på över 1 000 och upp till 7 000. Enstaka gångar med värden lägre än 20 har också noterats.

## **Geofysiska särdrag**

Undersökningsområdet karaktäriseras av en måttlig magnetiseringsnivå med ett svagt bandat anomalimönster. De magnetiska konnektionerna är NNO-liga i söder och öster och vrider till NV-liga i den nordvästra delen av området (figur 11). Den mer granitiska och mindre hornbländerika bergarten i områdets nordöstra och östra delar är vanligtvis betydligt mer magnetisk. De magnetiska variationerna syns tydligt på den magnetiska anomalikartan (figur 3), där områdets nordöstra del är betydligt mer magnetiskt jämfört med de nordvästra, centrala och södra delarna.



**Figur 12.** Typiska bergarter inom Hedesundamassivet i området öster om Uppsalaåsen.

- a. Homogen, jämnkornig, hornbländeförande "bedesundagranit", troligen med monzonitisk sammansättning. Häll ca 3,2 km sydost om Mebedeby, RAK 1591145-6702957.
- b. Fin- till fint medelkornig granitgång (gr) klippande jämnkornig kvartsmonzonit (eller kvartsmonzodiorit) med inneslutning av finkornig basisk bergart (b). Häll ca 4 km nordväst om Tierp, RAK 1591732-6696643.
- c. Porfyrisk "bedesundagranit", troligen med granitisk sammansättning. Grövre fältspatkorn har delvis en "mantlad" textur. Häll under kraftledning ca 4 km sydväst om Västland, RAK 1595625-6703329.
- d. Förskiffrad och porfyrisk granit (gr1) med inneslutningar av en finkornig, basisk bergart (b) och klippande gångar av en yngre, fin- till fint medelkornig granit (gr2). Häll i bergtäkten 2,8 km nordväst om Strömsberg, RAK 1595870-6701075.

Ett fåtal fältobservationer i områdets östra och sydöstra kant indikerar att den högmagnetiska anomali som enligt tidigare kartor utgör Hedesundamassivets östligaste delar, egentligen utgörs av gnejsig metagranitoid. Vid framtida arbeten bör detta beaktas och den östra kontakten kan, i vissa delar, behöva flyttas upp till 500 m mot väster.

Undersökningsområdet uppvisar en låg strålningsnivå med låg radiumhalt och radonpotential.

Området utgör den nordöstra flanken av ett tyngdkraftmaximum som täcker Hedesundamassivet. I kapitel 4 görs en bedömning av massivets djuputbredning med hjälp av tyngdkraftsdata och densitetsbestämda bergartsprover.

Området är relativt flackt, med låg blottningsgrad och ett ca 10 m mäktigt moräntäcke. Förutsättningarna att utifrån topografiska data kunna tolka fram mindre sprickzoner samt karaktärisera dessa är därmed mindre goda. Däremot bedöms förutsättningarna som goda för att göra detta utifrån geofysiska data.

### **Deformation**

Med undantag för den västra delen av området kan en relativt tydlig mineralorientering (förskiffring) ses i de flesta hällar. Även de ovan beskrivna, finkorniga, basiska inneslutningarna är i de flesta fall tydligt utdragna och orienterade parallellt med förskiffringen i bergarten (figur 12d). Förskiffringen bildades förmodligen tidigt i bergartens historia, under relativt varma förhållanden då bergarten fortfarande befann sig på en djupare nivå i jordskorpan.

I den sydöstra delen av området har förskiffringen en NNO-lig riktning och stupar brant åt OSO. I den nordöstra delen är den mer nordlig med östlig stupning och vrider successivt, i den norra delen, åt nordväst med en NO-lig stupning. Förskiffringen i området följer i stor utsträckning kontakten mot de omgivande, äldre och delvis gnejsiga metagranitoiderna (figur 11). Den uppmätta förskiffringen överensstämmer väl med de tolkade magnetiska konnektionerna och formlinjer i området (figur 11).

Den observerade sprickfrekvensen är i allmänhet låg, ca 2–5 sprickor per 10 meter hällyta. Endast lokalt har något högre sprickfrekvens, upp till 2–3 sprickor per meter noterats. De finkorniga granitgångarna uppvisar vanligtvis en något högre sprickfrekvens och längs kontakterna till den omgivande graniten är ibland uppspruckna (figur 13a). Sprickorna är vertikala eller brant stupande och förekommer i olika riktningar. En viss tendens till koncentration i VNV-, NV- till N-S- och NO- till ONO-liga riktningar kan dock ses. Den i häll observerade variationen överensstämmer med det varierande sprickzonsmönster som tolkats fram för de regionala zonerna i området (figur 11).

I vissa hällar i anslutning till de tolkade regionala sprickzonerna har också en tendens till ökad ”småsprickighet” noterats. Sprickorna är i stor utsträckning läkta av kvarts, ljus grön epidot (figur 13b) och delvis ett ljus rött mineral som antas vara laumontit. Dessa indikationer stödjer tolkningen av regionala sprickzoner som gjorts i förstudien (figur 11).



**Figur 13.** Exempel på deformation inom Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.

- a. Spricka längs kontakten mellan medel- till grovkornig granit av bedesundatyp (gr1) och en gång av yngre, fin- till fint medelkornig granit (gr2). Granitgången visar en högre sprickfrekvens. Häll ca 3 km väster om Västland, RAK 1596568-6704715.
- b. Småsprickig och epidotläkt, jämnkornig "bedesundagranit", troligen med monzonitisk sammansättning. Häll ca 3,5 km nordost om Mebedeby, RAK1591487-6705308.

### **Sammanfattning**

Det fältkontrollerade området inom Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen domineras av djupbergarter och bedöms som homogent och okomplicerat. Två olika typer av djupbergarter förekommer; en hornbländerik, relativt lågmagnetisk kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit samt en mer granitisk variant som är mindre hornbländerik, mer porfyrisk och mer magnetisk. Endast smärre inhomogeniteter i form av enstaka, små inneslutningar av basiska bergarter samt smala, finkorniga, ljusa granitgångar har noterats i båda bergartstyperna. Vidare har fältkontrollen visat att justeringar av befintliga kartor bör göras med avseende på massivets begränsning mot omgivande gnejsiga granitoider. Bortsett från dessa anmärkningar har inga större avvikelser från de äldre berggrundskartorna över området framkommit.

Med undantag för den västliga delen av undersökningsområdet kan en relativt tydlig mineralorientering (förskiffring) ses i de flesta hällar. Den observerade sprickfrekvensen är i allmänhet låg, ca 2–5 sprickor per 10 meter hälllyta. Lokalt har dock högre frekvens noterats. I enstaka hällar i anslutning till tolkade regionala sprickzoner har kvarts-, epidot- och laumontitläkta småsprickor observerats. Dessa observationer, samt den i häll noterade variationen av sprickriktningar som överensstämmer med det regionala sprickzonsmönstret, ger stöd för den tolkning av regionala sprickzoner som gjorts inom ramen för förstudien. De finkorniga granitgångarna uppvisar lokalt en tendens till högre sprickfrekvens och är också uppspruckna längs kontakterna till den omgivande graniten.



### 3.2.4 Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun

Det studerade området är ca 50 km<sup>2</sup> stort (figur 11) och den nordöstra begränsningen följer Uppsalaåsens utbredning (Bergman m fl, 1999). Blottningsgraden är låg. Information om var hållar finns har hämtats från jordartskartan över området (Ericsson & Lidén, 1988) men ett flertal av dessa har vid fältkontrollen visat sig vara täckta av ett tunt jordtäckte eller vara blockansamlingar. Fältkontrollen har kunnat göras på 28 hållar vilka, med några få undantag, är belägna i den västra delen av området (figur 10). Större delen av områdets östra delar saknar hållblottningar.

Berggrundskartan (figur 11) är hämtad från Bergman m fl (1999) och baseras på äldre kartor och sammanställningar (Wahlqvist, 1868; Stolpe, 1869; Sandegren m fl, 1948; Sandegren 1949; Söderholm m fl 1983; Persson och Stålhös, 1991). Berggrunden utgörs enligt dessa sammanställningar av s k hedesundagranit med undantag för en tolkad diabasgång i områdets västligaste del (figur 11). Zoner som bedömts innehålla hög frekvens av plastiska skjuvzoner återfinns utanför undersökningsområdet längs de nordliga och ostliga begränsningarna av Hedesundamassivet (figur 2 och 11).

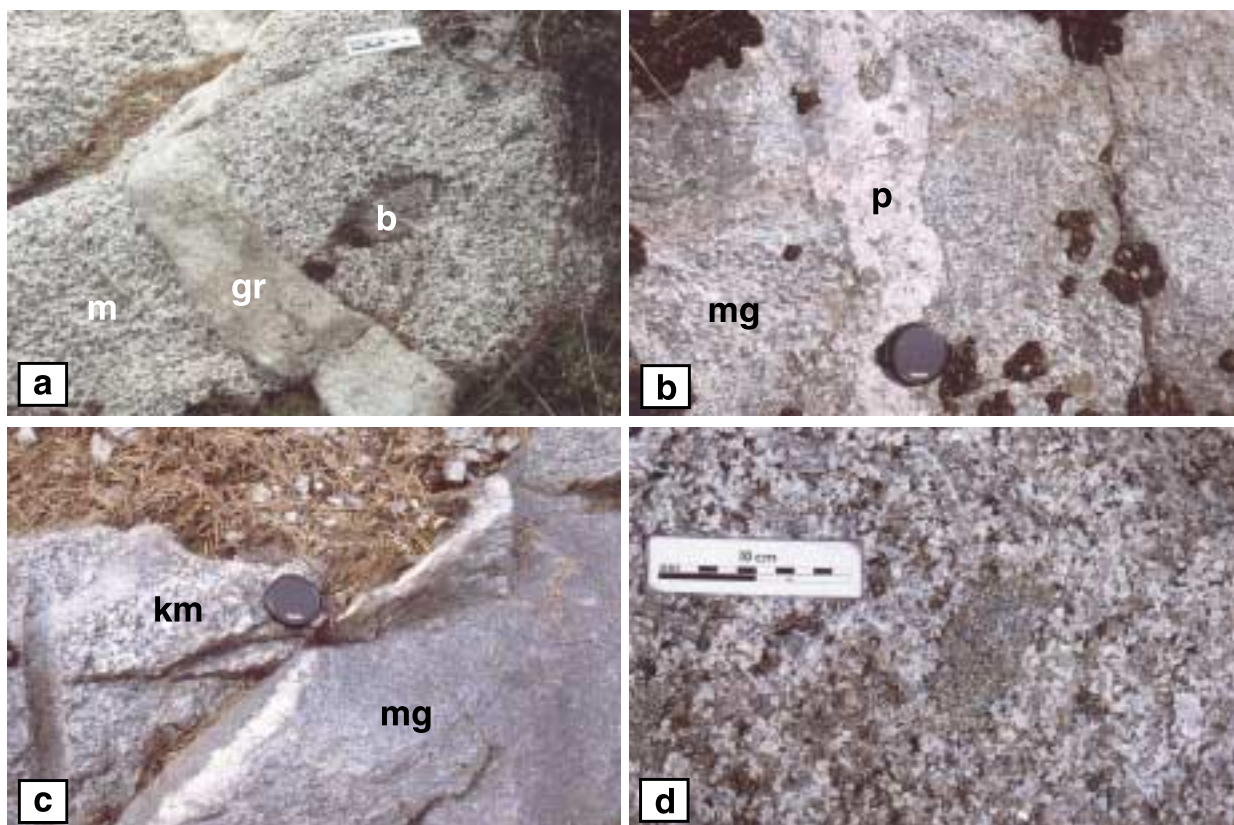
Den nu aktuella fältkontrollen har visat att de berggrundsgeologiska förhållandena är mer varierande än vad de äldre sammanställningarna av berggrunden visar. I den västra-centrala delen av området förekommer betydande inslag av metagranitoid med enstaka gångar av pegmatit. Metagranitoiden tillhör den äldre generationens intrusiv-bergarter i regionen, vilka bildades för ca 1 890 miljoner år sedan.

#### ***Bergarter och berggrundens homogenitet***

Områdets södra del, öster och väster om Mossarna (figur 11), domineras av jämnkornig, medel- till grovkornig, hornbländerik kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit som tillhör Hedesundamassivet. Bergarten ger ett mycket homogent intryck med bara enstaka finkorniga, basiska inneslutningar och gångar av finkornig granit (figur 14a).

I områdets västra-centrala del, väster och nordost om Marsjön, dominerar grå metagranitoid. Nordnordväst om Bredbäck är metagranitoiden delvis gnejsig med tunna ådror av granit och pegmatit. I ett flertal hållar i detta område är den också intruderad av pegmatitgångar (figur 14b) samt gångar av medelkornig kvartsmonzonit (figur 14c). Gångar av kvartsmonzonit utgör förmodligen mindre intrusioner från det omkringliggande Hedesundamassivet. Ca 2 km nordost om Marsjön uppträder också, i ett mindre område, metagabbro i metagranitoiden.

I området norr om Bredbäck och upp till strax söder om Mossbo, utgörs berggrunden av huvudsakligen två typer av djupbergarter ("hedesundagranit"), vilka kan jämföras med de som ovan beskrivits från området öster om Uppsalaåsen. Söder om väg 292 dominerar medel- till grovkornig, jämnkornig till glest porfyrisk, hornbländerik kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit, jämförbar med den i undersökningsområdets södra del, väster om Mossarna. Norr om väg 292 är den dominerande bergarten vanligtvis mer granitisk i sammansättningen. Den är dessutom porfyrisk, med rektangulära, upp till 3 cm stora kalifältspatkrystaller som i vissa delar är "mantlade" av mineralet plagioklas (figur 14d). Även denna granitiska variant är relativt rik på mineralet hornblände. I graniten ses också lokalt finkorniga, basiska inneslutningar och finkornig till fint medelkornig granit som klippande gångar.



**Figur 14.** Typiska bergarter inom Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.

- a. Jämnkornig, medel- till grovkornig och hornbländerik "bedesundagranit", troligen av monzonitisk sammansättning (m) med finkornig basisk inneslutning (b) och klippande gång av finkornig granit (gr). Häll ca 1,7 km sydost om Marsjön, RAK 1584582-6691201.
- b. Grå, förskiffrad metagranitoid (mg) med klippande gång av pegmatit (p). Häll ca 5 km sydost om Söderfors, RAK 1582980-6693825.
- c. Gång av hornbländerik kvartsmonzonit (km) klippande grå, förskiffrad metagranitoid (mg). Notera sprickorna längs kontakten. Häll vid väg 292 ca 4 km sydost om Söderfors, RAK 1582818-6694815.
- d. Porfyrisk "bedesundagranit", troligen med granitisk sammansättning, och med inneslutning av en mer basisk bergart. Grövre fältspatkorn har delvis en "mantlad" textur. Häll ca 3 km sydost om Söderfors, RAK 1581676-6696101.

## **Bergarternas magnetiska egenskaper**

Den i håll uppmätta magnetiska susceptibiliteten varierar mycket inom området. Metagranitoiden i den västra-centrala delen är vanligtvis högmagnetisk och mätvärden i intervallet 2 000–6 000 är vanliga. Uppmätta värden inom Hedesundamassivets bergarter är jämförbara med de som konstaterats inom området öster om Uppsalaåsen. Den jämnkorniga, monzonitiska varianten ger i allmänhet värden i intervallet 100–400 medan den mer granitiska och porfyrisk typen vanligtvis är något mer magnetisk och ger värden i intervallet 500–2 000.

## **Geofysiska särdrag**

Området karaktäriseras av en förhöjd magnetiseringsnivå i den sydöstra och nordvästra delen av området. Den förhöjda nivån i den nordvästra delen sammanfaller med den mer granitiska och porfyrisk bergarten i Hedesundamassivet.

Metagranitoiden i områdets västra-centrala del är vanligtvis högmagnetisk och dess magnetiska karaktär syns också tydligt på den magnetiska anomalikartan (figur 3).

Ett ca 4 km brett stråk i NO-lig riktning, i området omkring Pilbo, uppvisar en lägre magnetisering som normalt sammanfaller med den monzonitiska, mer hornbländerika bergartstypen.

En fältobservation vid Västra Halls, 1 km öster om undersökningsområdets södra del, visade på gnejsig metagranitoid med relativt hög magnetisering, 500–3 000. Denna sammanfaller med den högmagnetiska anomali som enligt äldre berggrundskartor utgör Hedesundamassivets sydöstligaste delar, men området är dåligt blottat. En mer sannolik tolkning är att berggrunden utgörs av äldre metagranitoid. Läget av Hedesundamassivets sydliga kontakt bör närmare utredas i framtida arbeten.

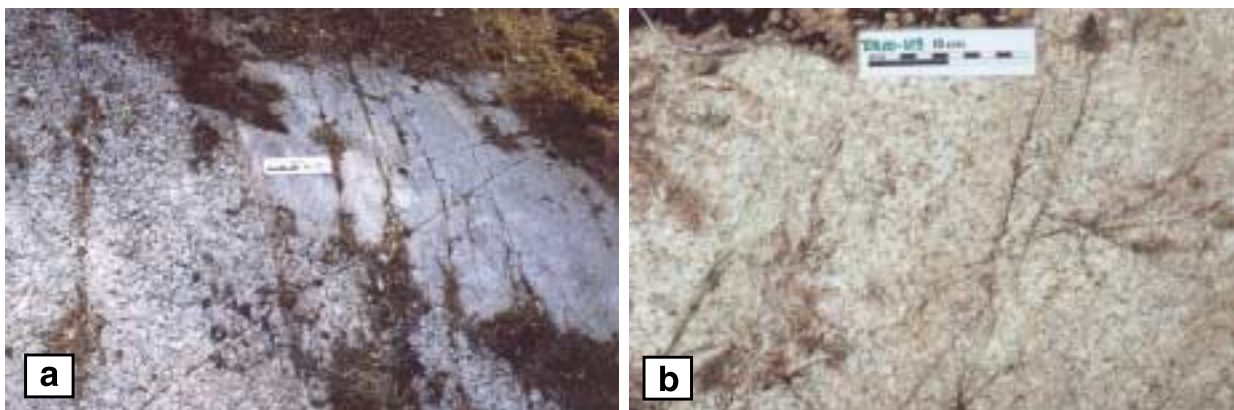
Förhöjd strålningsnivå i undersökningsområdet har en tydlig koppling till områden med jordbruksmark. I övrigt uppvisar området en låg strålningsnivå med låg radiumhalt och radonpotential.

Området utgör den sydvästra flanken av ett tyngdkraftmaximum som täcker Hedesundamassivet. I kapitel 4 görs en bedömning av massivets djuputbredning med hjälp av tyngdkraftsdata och densitetsbestämda bergartsprover.

Morfologiskt är området i huvudsak flackt, med låg blottningsgrad och tjockt morän-täcke samt betydande andel jordbruksmark. Endast området längst i nordväst har en hög blottningsgrad. Förutsättningarna att tolka fram mindre sprickzoner samt karaktärisera dessa med hjälp av topografisk information är därmed mindre goda.

## **Deformation**

Metagranitoiden i områdets västra-centrala del är plastiskt deformerad (figur 14b och c). I ett hållområde norr om Bredbäck är bergartens förskiffring NNV-lig med nära vertikal stupning. I ett större område öster om Marsjön är förskiffringen ONO-lig och stupar brant åt NNV. Tolkade magnetiska konnektioner och formlinjer följer huvudsakligen riktningen på den i håll uppmätta förskiffringen (figur 11). De yngre monzonitiska och granitiska bergarterna är massformiga eller endast svagt förskiffrade, vilket kan ses som en mineralorientering. I den grövre, porfyrisk och mer granitiska varianten förekommer en parallellorientering av de ingående kalifältspatkristallerna utan att de själva är deformerade.



**Figur 15.** Exempel på deformation i området väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.

- a. Sprickig, finkornig granitgång och porfyrisk "hedesundagranit" med granitisk sammansättning. En spricka följer kontakten mellan gången och den grövre graniten, en annan i "hedesundagraniten" är epidotläkt. Granitgången visar en högre sprickfrekvens. Häll ca 3 km sydost om Söderfors, RAK 1581670-6696095.
- b. Småsprickig och epidotläkt, jämnkornig "hedesundagranit" med granitisk sammansättning. Häll ca 3,5 km sydost om Söderfors, RAK 1582040-6695895.

Den uppmätta sprickfrekvensen är i områdets södra del låg, ca 1–3 sprickor per 10 meter hällyta. I områdets västra del, i Marsjö-Bredbäckområdet, är den vanligtvis högre, ca 1–2 sprickor per meter hällyta (figur 15a). Lokalt har ökad småsprickighet noterats med delvis epidotläkta sprickor (figur 15b). Detta ger stöd för den relativt höga frekvens av regionala sprickzoner som tolkats fram inom detta område (figur 11). I den porfyrisk granite nära Bredbäck har även en ONO-lig, centimeterbred mylonitzon noterats, vilket indikerar att även kraftig plastisk deformation lokalt har påverkat Hedesundamassivets bergarter. I områdets nordvästra del, strax söder om Mossbo, är sprickfrekvensen återigen lägre, ca 2 sprickor per 10 meter hällyta. Sprickorna är vanligtvis vertikala eller brant stupande med varierande orientering eller med en svag överrepresentation av NV- till NNV-liga och NNO- till NO-liga riktningar. De i häll konstaterade sprickriktningarna överensstämmer med det varierande regionala sprickzonsmönstret (figur 11).

### **Sammanfattning**

Avsaknaden av hällar i stora delar av det fältkontrollerade området inom Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen begränsar möjligheterna att bedöma områdets karaktär. Den magnetiska anomalikartan ger dock goda förutsättningar att bedöma de olika bergartstypernas utbredning. Fältkontrollen, vilken inkluderande mätning av bergarternas magnetiska egenskaper, samt tolkningen av den magnetiska anomalikartan har bekräftat att djupbergarter tillhörande Hedesundamassivet ("hedesundagranit") dominerar i de norra och södra delarna av området. En betydande förekomst av äldre metagranitoid finns dock i områdets centrala del. Sammantaget kan konstateras att de berggrundsgeologiska förhållandena inom området är mer varierande än vad de äldre berggrundskartorna visar. Vidare bör läget av Hedesundamassivets sydliga kontakt närmare utredas.

Fältkontrollen visar att de två typer av djupbergarter inom Hedesundamassivet som observerats i området öster om Uppsalaåsen, också förekommer i detta område. Den hornbländerika, mer monzonitiska varianten finns i områdets södra del medan den mer granitiska varianten förekommer i den norra delen. Endast mindre inhomogeniteter i form av enstaka, små inneslutningar av basiska bergarter samt smala, gångar av finkornig, ljusa granit har noterats inom de bägge bergartstyperna. Både de norra och södra delarna av området bedöms vara mycket lika området öster om Uppsalaåsen, dvs bergartsmässigt homogena och okomplicerade.

Metagranitoiden i områdets centrala del är delvis gnejsig med tunna ådror av granit och pegmatit. Den är vanligtvis mindre homogen än Hedesundamassivets djupbergarter. Gångar av pegmatit och kvartsmonzonit (hedesundatyp) samt ett mindre inslag av metagabbro förekommer.

Metagranitoiden är plastiskt deformerad medan de yngre djupbergarterna i Hedesundamassivet vanligtvis är massformiga eller endast svagt förskiffrade. Den noterade sprickfrekvensen är i områdets södra del låg, ca 1–3 sprickor per 10 meter hällyta, medan den i områdets västra del vanligtvis är högre, ca 1–2 sprickor per meter hällyta. Lokalt har även ökad småsprickighet noterats. Dessa observationer ger stöd för den relativt höga frekvens av regionala sprickzoner som tolkats fram i områdets västra del. Längre mot norr är sprickfrekvensen återigen lägre, ca 2 sprickor per 10 meter hällyta. De sprickriktningar som observerats i håll överensstämmer i stort sett med den regionala sprickzonsbilden i undersökningsområdet, vilket också stödjer den utförda tolkningen av regionala zoner.

## 4 Modellering av tyngdkraft

I samband med fältkontrollen gjordes även en begränsad provtagning för densitetsbestämning av vissa bergarter som stöd för en tyngdkraftsmodell. Syftet med arbetet var att med hjälp av tyngdkraftsdata försöka bedöma djupet av Hedesundamassivets djupbergarter samt av den homogena, fin- till medelkorniga graniten vid Karlholmsbruk.

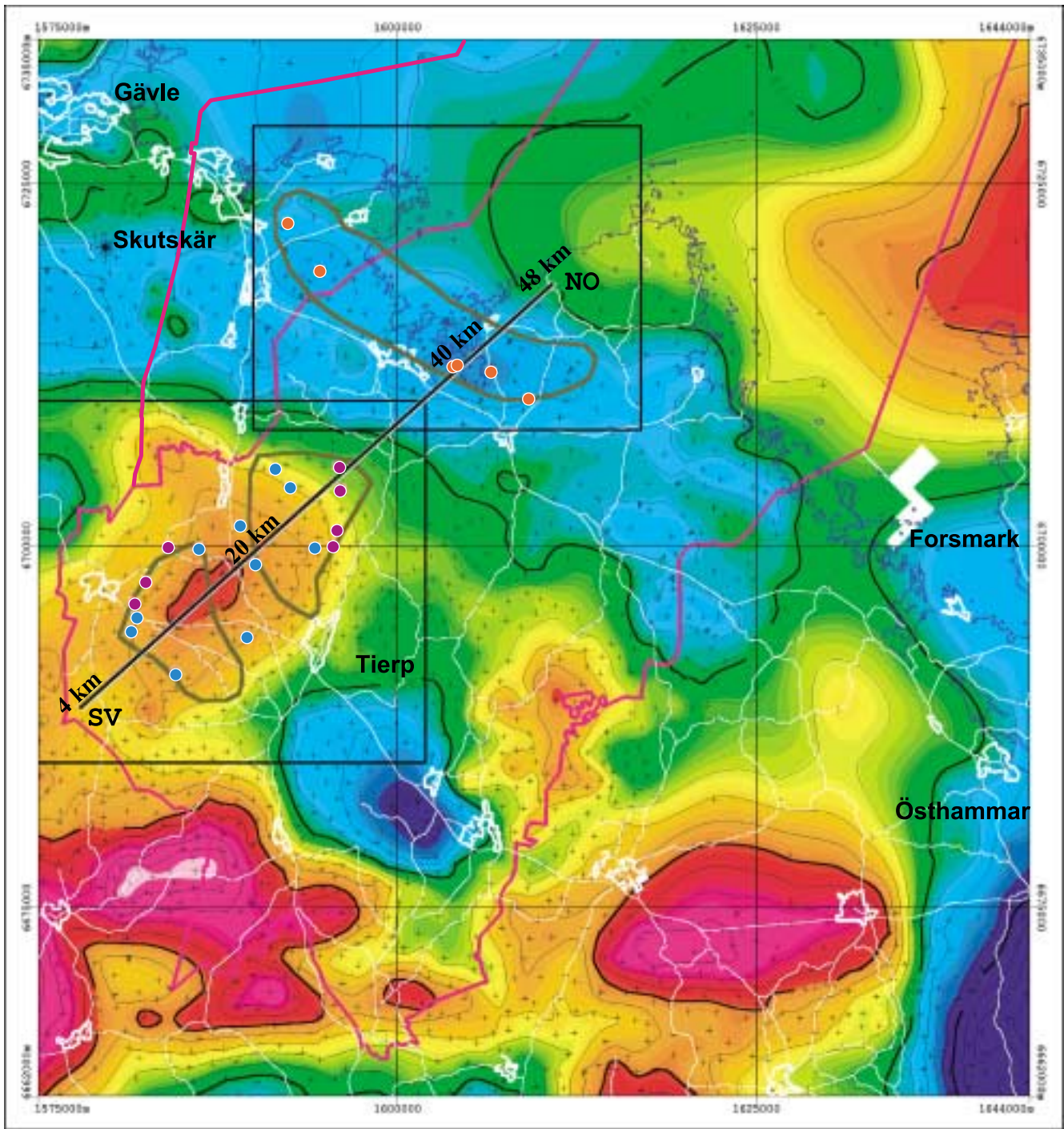
Djupbedömningen har gjorts genom så kallad gravimeterisk modellering i en ca 44 km lång profil inom Tierps kommun, från Ingsjön, ca 9 km söder om Söderfors, i NO-lig riktning till Storsand-Sikhälma på Hållnäsudden. I figur 16 redovisas en karta över tyngdkraften där profilens läge framgår i förhållande till de områden som berörts av fältkontrollen. Vidare anges i denna figur också läget på de hållar där prover tagits för bestämning av bergartens densitet (täthet).

### 4.1 Bergarternas densitet

Sammanlagt togs 23 prover för bestämning av bergarternas densitet. 6 prover togs av den fin- till medelkorniga, jämnkorniga graniten som förekommer i vid Karlholmsbruk samt i mindre massiv mellan Älvkarleby och Gårdskär. 17 prover togs inom Hedesundamassivet. Hedesundamassivet består, som tidigare berörts, av flera bergarter med något varierande sammansättning. Några prover togs utanför de två egentliga undersökningsområdena eftersom problemställningen i detta fall gäller hela massivets djuputbredning. Det bör poängteras att provtagningen är begränsad och att statistiskt säkerställda resultat kräver en större insats i ett senare skede. Resultaten ger dock rimliga indikationer på vilka förhållanden som kan förväntas.

Densitetsbestämningen indikerar att graniten vid Karlholmsbruk (provtagningpunkter med röd färg i figur 16) har en täthet som är normal för graniter, med värden mellan 2 630–2 670 kg/m<sup>3</sup> och i medeltal 2 650 kg/m<sup>3</sup>. Hedesundamassivet har en mer komplex karaktär, där de två huvudgrupperna, hornbländerik kvartsmonzonit-kvartsmonzodiorit och den mer granitiska typen, uppvisar skillnader inte bara i susceptibilitet utan också i densitet. Proverna av den magnetiska, granitiska typen (lila färg i figur 16) uppvisar stor spridning i densitet, mellan 2 640–2 720 kg/m<sup>3</sup>, med i medeltal 2 690 kg/m<sup>3</sup>. Den magnetiska graniten i västra delen, nära Söderfors, uppvisar en något högre densitet än den i nordost, nära Västland. Proverna av monzonitvarianten (blå färg i figur 16) bildar däremot en mer enhetlig grupp med densitet mellan 2 720–2 780 kg/m<sup>3</sup>, i medeltal 2 750 kg/m<sup>3</sup>.

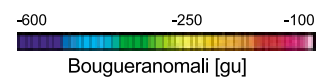




5 0 5 10 km

### Tyngdkraft

Tyngdkraftskarta, baserad på interpolation av mätvärden i markerade mätstationer (+)



**Figur 16.** Tyngdkraftskarta. Violetta-ljusa färger indikerar massöverskott och blå färger massunderskott. Kartan visar de områden (rektanglar) som omfattas av kartorna i figur 5 och 11, undersökningsområdenas begränsningar samt tyngdkraftsprofilens (figur 17) läge. Slutligen visas densitetsprovernas läge (röda, lila och blå punkter).

## 4.2 Modellering

Tyngdkraftsmodelleringen har utförts längs en 44 km lång profil, från SV till NO i figur 16. Modelleringen har utförts på en residualanomali, vilken tagits fram genom att ett regionalfält separerats från Bougueranomalin (figur 17a och b). Vid beräkningarna antas en bakgrundsdensitet för de bergarter som omger de kroppar som modelleras, men tyvärr saknas nästan helt densitetsbestämningar på övriga bergarter i området. I anslutning till profilen utgörs dock bergarterna i huvudsak av metagranitoid av nära granodioritisk sammansättning. Bergarter med sådan sammansättning har normalt en densitet mellan 2 680–2 720 kg/m<sup>3</sup>, och i detta fall har densiteten antagits vara 2 690 kg/m<sup>3</sup>.

Modelleringen ger en indikation på de två kropparnas djupgåenden. När medeldensiteten, 2 650 kg/m<sup>3</sup>, används för graniten vid Karlholmsbruk erhålls ett mycket stort djupgående på denna kropp, ca 8 km. Den del som längs profilen exponeras i ytan, ca 2 km, utgör i så fall enbart "taket" på graniten, vilken på några kilometers djup har en bredd på nära 10 km.

För Hedesundamassivet är bilden mer komplex. Kontaktförhållandena mot den omgivande gnejsiga metagranitoiden är inte i detalj klarlagda, se kapitel 3.2.3 och 3.2.4. Magnetiska data i kombination med tyngdkraftsinformationen indikerar att omgivande bergarter troligtvis stupar in under Hedesundamassivet, dvs massivet skulle vara skålformat. Den största osäkerhetsfaktorn vid tolkningen är att den mer granitiska typen uppvisar en densitet som, baserat på befintlig information, inte skiljer sig från den omgivande berggrunden. Detta innebär att tjockleken på denna sekvens inte påverkar tyngdkraftsmodellen. Vid modelleringen (figur 17a) har den granitiska sekvensens tjocklek uppskattats från observationer vid ytan och från geofysiska data samt antagits vara nära konstant mot djupet.

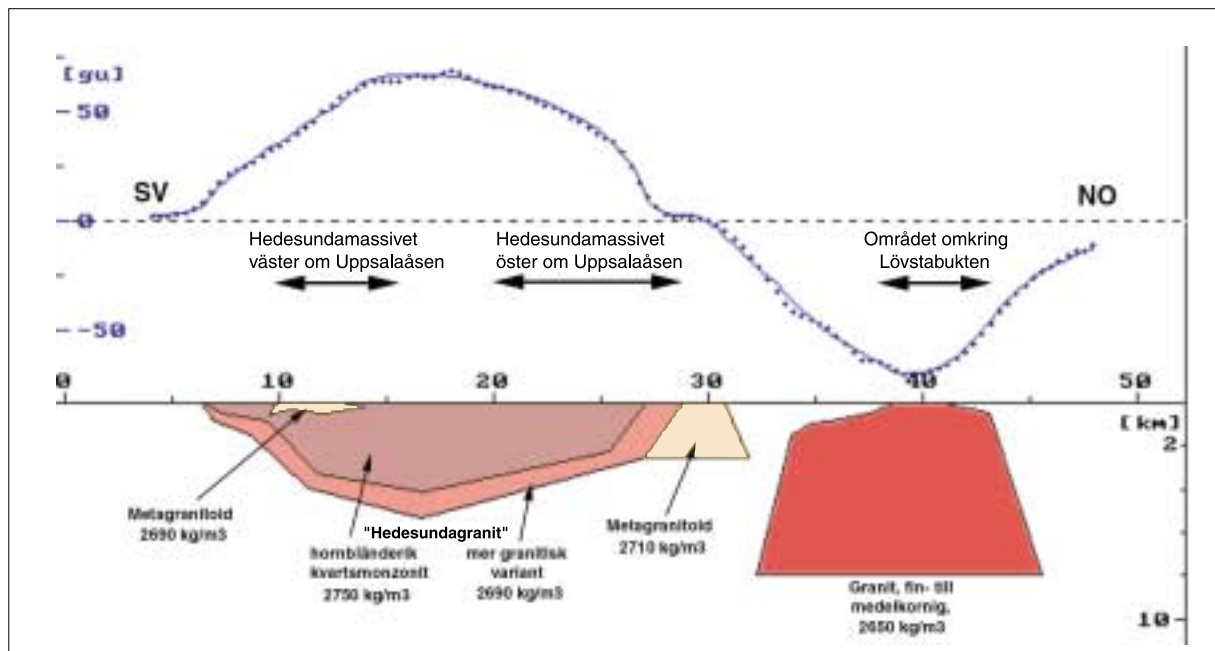
Utifrån dessa förutsättningar erhålles en indikation på att den monzonitiska delen i centrum av massivet har ett djupgående på upp till 4 km. I de centrala delarna av vardera undersökningsområdet indikeras ett djup på ca 2–3 km. Massivets skålform gör däremot att djupet blir mindre i de perifera delarna.

Metagranitoidkroppen i den nordöstra kontakten (figur 17a), ger ett lokalt tyngdkraftöverskott, och antas därför ha en något högre densitet, 2 710 kg/m<sup>3</sup>, än omgivningen.

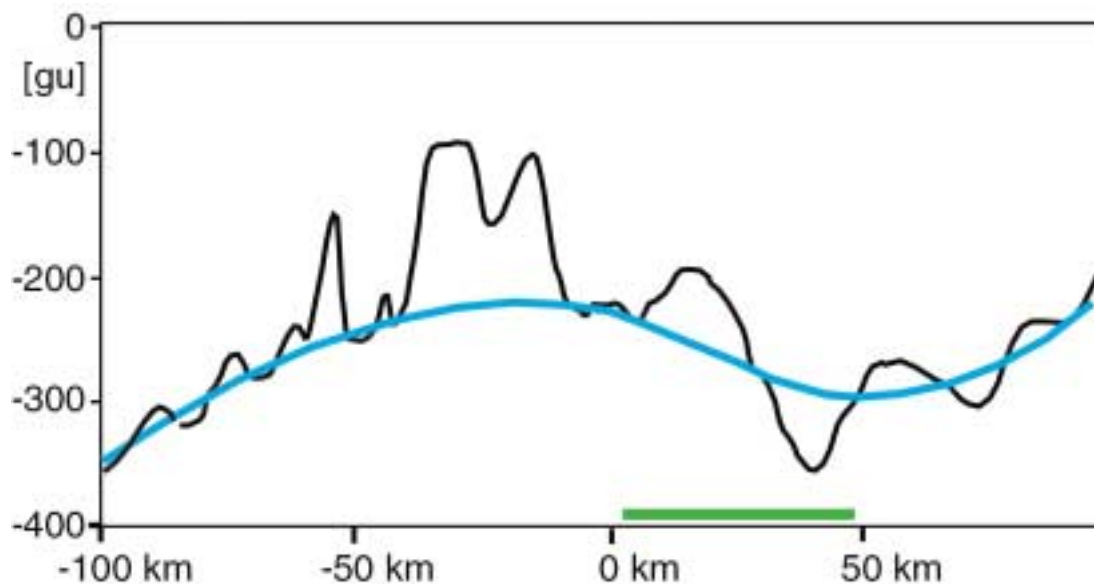
I den sydvästra delen av profilen, inom området väster om Uppsalaåsen, återfinns det större område av metagranitoid som omnämns i kapitel 3.2.4. Bergartens densitet antas vara som för metagranitoid i övrigt, dvs 2 690 kg/m<sup>3</sup>, och kroppens djupgående bedöms vara jämförelsevis litet, ca 500 m.

I en känslighetsanalys har densitetskontrasterna förstärkts för att få en uppfattning om ett minimidjup på granitoidkropparna. Om extrema värden ansätts för graniten vid Karlholmsbruk erhålls ändå ett stort djupgående, väsentligt över 1 km. För Hedesundamassivet är känsligheten större. Används bakgrundsdensiteten för normal granit, 2 650 kg/m<sup>3</sup> samt den högsta densiteten, 2 780 kg/m<sup>3</sup>, för monzonitypen, respektive 2 720 kg/m<sup>3</sup> för den mer granitiska typen, erhålls ett djup på 2 km i de centrala delarna av massivet. I den centrala delen av vardera undersökningsområdet indikeras då ett djup på ca 1 km. Vid en alternativ beräkning av Hedesundamassivets djupgående med hjälp av en enkel modell, i form av en vertikal cylinder, erhålls ett medeldjup på ca 3 km vid normala densitetskontraster och ca 1,3 km i extremfallet.





**Figur 17a.** Tyngdkraftsmodell längs en profil, från SV till NO, vars läge framgår av figur 16. Y-axeln redovisar en residualanomali av tyngdkraften i enheten gu (gravity units), där ett regionalt tyngdkraftsfält dragits bort, se figur 17b. Det vita området som omger kropparna, antas vara omgivande bergart, en metagranitoid med densiteten 2690 kg/m<sup>3</sup>. Punkterna redovisar den uppmätta tyngdkraften och den heldragna linjen den anomali som skulle erhållas från de redovisade kropparna i modellen.



**Figur 17b.** Figuren redovisar Bouguer-anomalin (svart) i profilens förlängning mot sydväst och nordost. Tyngdkraftens regionalfält (blå) har tagits fram genom en glättning av Bouguerkurvan. Tyngdkraftsmodellens utsträckning ligger mellan 4–48 km (grönt).

## 5 Slutsatser och rekommendationer

Vid val av plats för ett djupförvar för använt kärnbränsle ställs ett flertal krav och önskemål på berggrunden. Efter genomfört förstudiearbete skall fortsatta studier och undersökningar endast göras i områden som uppfyller följande geologiska lämplighetsindikationer (Andersson m fl, 2000):

- Området skall ha bedömts sakna potential för förekomst av malm eller värdefulla industrimineral.
- Området skall uppvisa en homogen berggrund med en vanligt förekommande bergart (eller möjligen ett fåtal vanliga bergarter).
- Området skall möjliggöra att ett djupförvar placeras så att breda, regionala plastiska skjuvzoner och regionala sprickzoner undviks med god marginal.

Det är också önskvärt att andelen berg i dagen är hög och att jorddjupet i övrigt är måttligt eftersom detta underlättar möjligheten att från markytan kartlägga och prognostisera förhållandena i den underliggande berggrunden.

Inom Tierps och Älvkarleby kommuner har ett flertal områden som bedömts uppfylla de geologiska lämplighetsindikatorerna identifierats (Bergman m fl, 1999, 2000). Bedömningen har baserats på befintligt geovetenskapligt underlag och i ovan refererade rapporter betonas avsaknaden av moderna, mer detaljerade berggrundskartor i skala 1:50 000 över en stor del av Tierps kommun och hela Älvkarleby kommun. Vidare betonas att inom stora delar av dessa kommuner är andelen berg i dagen mycket låg. Dessa faktorer ökar avsevärt osäkerheten i bedömningen av berggrunden.

Valet av områden för fältkontroll i kommunerna Tierp och Älvkarleby har gjorts av SKB utifrån en sammanvägd bedömning av samliga förstudieresultat i de bägge kommunerna. Dessa områden har i denna rapport benämnts:

- Området omkring Lövstabukten i Tierps kommun.
- Området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun.
- Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.
- Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun.

### **Områdena omkring Lövstabukten i Tierps kommun samt väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun**

Fältkontrollen av områdena omkring Lövstabukten (Tierps kommun) respektive väster om Lövstabukten (Älvkarleby kommun) har visat att de tidigare berggrundskartorna ger en alltför förenklad bild av berggrunden. Förekomsten av homogen, yngre granit är starkt överrepresenterad på dessa kartor. Vid sidan av yngre granit och pegmatit finns också ådrad och gnejsig metagranitoid, något bättre bevarad metagranitoid, finkornig gnejs av osäkert ursprung (metavulkanisk bergart?), omvandlad basisk intrusivbergart (amfibolit) samt gångar och små massiv av yngre granit och pegmatit.

Inhomogeniteten är av relativt storskalig karaktär i form av betydande bergartsvariationer både i hållskala och mellan olika hållar, samt i form av gångar och små bergartsmassiv. Den inhomogena berggrunden begränsar möjligheterna att från markytan prognostisera bergartsförhållanden på tänkt försvarsdjup (ca 500 m). I kontakten mellan olika bergarter ökar också risken för vattenförande sprickzoner. Prognostiseringen försvåras ytterligare av att relativt flackt stupande bergartskontakter och förskiffring har observerats i den nordvästra delen av området (Älvkarleby kommun).

Den mer homogena yngre graniten har sin huvudsakliga utbredning omkring Skyttskär och Karlholmsbruk, där den har observerats i håll inom ett ca 20 km<sup>2</sup> stort område. Den utbreder sig sannolikt också något vidare söderut utanför det undersökta området och den totala arealen uppskattas då till ca 25 km<sup>2</sup>. Utförd modellering indikerar att djupgåendet är mycket stort, ca 8 km. Den del som exponeras i ytan utgör i så fall enbart "taket" på graniten, vilken på några kilometers djup har en bredd på nära 10 km. Graniten uppvisar en tendens till högre sprickfrekvens än omgivande bergarter, ca 1 spricka per meter hällyta men lokalt mer i anslutning till de tolkade regionala sprickzonerna. Noteras bör också förekomsten av pegmatitiska delar som ibland blommar ut och dominerar delar av flera hållar i området, samt granitens förhöjda radiumhalt. Förhöjd radiumhalt ger ökad risk för höga radonhalter i ett bergrum. Detta påverkar dock inte den långsiktiga säkerheten i ett djupförvar utan leder endast till ökat ventilationsbehov under byggnation och drift.

Fältkontrollen har visat att kraftigt plastiskt deformerade bergarter samt myloniter förekommer i närheten av en av de tolkade regionala sprickzonerna som stryker i VNV-lig riktning genom området. Reaktivering av en gammal plastisk deformationszon, när berggrunden senare deformerades under spröda förhållanden kan förklara dessa observationer. En sådan reaktiverad plastisk zon inom undersökningsområdet hade inte tolkats fram under den tidigare fasen av förstudiearbetet. Sprickor som noterats i hållskala har varierande riktningar som i stort överensstämmer med orienteringen av de tolkade regionala sprickzonerna. En koppling i åtminstone ett område mellan relativt hög sprickfrekvens och ett högre antal tolkade regionala sprickzoner ger stöd för tolkningen av dessa zoner.

Sammanfattningsvis har fältkontrollen visat att berggrunden huvudsakligen inte uppfyller de geologiska lämplighetsindikatorer som krävs för att vidare undersökningar skall kunna rekommenderas. Detta gäller hela det undersökta området väster om Lövstabukten i Älvkarleby kommun och större delen av motsvarande område i Tierps kommun. I Tierps kommun finns visserligen en yngre, mer homogen granit som upptar ett 20–25 km<sup>2</sup> stort område omkring Skyttskär och Karlholms bruk. Den uppvisar dock, i flera av de fåtal befintliga hållarna, inhomogeniteter i form av pegmatitiska delar samt en förhöjd sprickfrekvens jämfört med omgivande bergarter. En komplex spröd till plastisk deformationszon har också noterats. Dessa besvärande faktorer samt att området, bland annat till följd av låg blottningsgrad, är svårundersökt bör nog beaktas vid ett beslut angående vidare undersökningar i området.

## **Hedesundamassivet öster om Uppsalaåsen i Tierps kommun**

Fältkontrollen har visat att Hedesundamassivet huvudsakligen består av två olika typer av magmatiska djupbergarter. Större delen av området utgörs av en hornbländerik kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit med relativt lågmagnetisk karaktär. I områdets nordöstra och östra delar förekommer en mer granitisk variant som är mindre hornbländerik, mer porfyrisk och mer magnetisk. Bägge dessa bergarter bedöms lämpliga för ett djupförvar. Vidare har fältkontrollen visat att befintliga kartor bör justeras när det gäller massivets kontakter mot de omgivande gnejsiga metagranitoiderna. Bortsett från dessa anmärkningar har inga större avvikelser från de äldre berggrundskartorna över området konstaterats.

Endast enstaka inhomogeniteter, i form av små inneslutningar av basiska bergarter samt smala, finkorniga, ljusa granitgångar har noterats inom de bägge typerna av magmatiska bergarter. Området bedöms som bergartsmässigt homogent och okomplicerat.

Utförd modellering indikerar att Hedesundamassivet i detta område har ett djupgående på ca 2–3 km. Djupet avser den monzonitiska delen av massivet. Sekvensen med den mer granitiska typen kan bidra ytterligare till detta djup.

Med undantag för den västliga delen av undersökningsområdet har en relativt tydlig mineralorientering (förskiffring) noterats i de flesta hållar. Den i håll konstaterade sprickfrekvensen är i allmänhet låg, ca 2–5 sprickor per 10 meter hålllyta. Lokalt förekommer dock högre sprickfrekvens i anslutning till tolkade regionala sprickzoner. Denna observation, samt de varierande riktningarna av sprickor i hållskala, ger stöd för den tolkning av regionala sprickzoner som gjorts i förstudien. De finkorniga granitgångarna visar i några hållar en tendens till högre sprickfrekvens än den omgivande djupbergarten samt till att vara uppspruckna längs kontakterna.

Sammanfattningsvis bedöms berggrunden i undersökningsområdet uppfylla de geologiska lämplighetsindikatorer som krävs för att vidare undersökningar skall kunna rekommenderas. Förekomsten av finkorniga granitgångar, som kan ha hög sprickfrekvens och därmed eventuellt medföra ökad vattengenomsläpplighet, bör undersökas närmare om vidare arbeten skulle bli aktuella.

## **Hedesundamassivet väster om Uppsalaåsen i Tierps kommun**

Fältkontrollen i undersökningsområdet väster om Uppsalaåsen har visat att de berggrundsgelogiska förhållandena är mer varierande än vad som framgår av de äldre berggrundskartorna. I områdets centrala del finns ett större område (ca 6 km<sup>2</sup>) av metagranitoid med gångar av pegmatit och kvartsmonzonit (hedesundatyp) samt ett mindre inslag av metagabbro. Denna något mer komplexa berggrund begränsas både mot norr och söder av djupbergarter som tillhör Hedesundamassivet. Vidare har fältkontrollen visat att befintliga kartor och sammanställningar bör justeras med avseende på läget av Hedesundamassivets sydliga kontakt.

Även i detta område uppträder inom Hedesundamassivet två olika typer av djupbergarter; en hornbländerik kvartsmonzonit eller kvartsmonzodiorit med relativt lågmagnetisk karaktär i områdets södra del, samt en mer granitisk variant som är mindre hornbländerik, vanligtvis porfyrisk och mer magnetisk i områdets norra del. Dessa bergarter är i allmänhet mycket homogena och okomplicerade. Endast smärre inhomogeniteter i form av små inneslutningar av basiska bergarter samt smala, finkorniga, ljusa granitgångar har observerats.

Hedesundamassivet bedöms i detta område, utifrån den modellering som gjorts, ha ett djupgående på ca 2–3 km. Djupet avser den monzonitiska delen av massivet. Sekvensen med den mer granitiska typen kan bidra ytterligare till detta djup.

Metagranitoiden är plastiskt deformerad till skillnad från de yngre djupbergarterna tillhörande Hedesundamassivet, vilka vanligtvis är massformiga eller endast svagt förskiffrade. Sprickfrekvensen är något varierande med en något högre frekvens, ca 1–2 sprickor per meter hällyta och lokalt ännu högre, i områdets västra del. De sprickriktningar och den sprickfrekvens som observerats i häll överensstämmer i stort sett med den regionala sprickzonsbilden i området vilket ger stöd för den utförda tolkningen av regionala sprickzoner.

Sammanfattningsvis bedöms berggrunden inom undersökningsområdet i huvudsak uppfylla de geologiska lämplighetsindikatorer som krävs för att vidare undersökningar skall kunna rekommenderas. I första hand gäller detta de norra och södra delarna där djupbergarter tillhörande Hedesundamassivet förekommer och där den i hällskala konstaterade sprickfrekvensen är lägre. Den låga blottningsgraden gör emellertid bedömningen av området något osäker och är en försvårande omständighet om vidare undersökningar skulle bli aktuella. Liksom i området öster om Uppsalaåsen, bör förekommande finkorniga granitgångar undersökas med avseende på vattengenomsläpplighet om vidare arbeten skulle bli aktuella



## 6 Referenser

**Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Lindén A, Lindroos H, Rudmark L och Stephens M, 1999.** Förstudie Tierp. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB R-99-53, 1–119.

**Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Lindén A, Lindroos H, Rudmark L och Stephens M, 2000.** Förstudie Älvkarleby. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB R-00-04, 1–103.

**Ericsson B, och Lidén E, 1988.** Beskrivning till jordartskartan Söderfors NO. Sveriges geologiska undersökning Ae 87, 1–69.

**Persson L och Stålhös G, 1991.** Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan Uppsala. Sveriges geologiska undersökning Ba 47, 1–30.

**Sandegren R och Asklund B, 1948.** Beskrivning till kartbladet Söderfors. Sveriges geologiska undersökning Aa 190, 1–91.

**Sandegren R och Lundegårdh P H, 1949.** Beskrivning till kartbladet Untra. Sveriges geologiska undersökning Aa 191, 1–106.

**SGU, 1993.** Fältbesöksprotokoll C 127.

**SKB, 2000a.** Preliminär slutrapport Tierp, 1–225.

**SKB, 2000b.** Preliminär slutrapport Älvkarleby, 1–220.

**Stolpe M, 1869.** Några ord till upplysning om bladet "Örbyhus". Sveriges geologiska undersökning Aa 32, 1–26.

**Söderholm H, Müllern C-F, Engqvist P, 1983.** Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Uppsala län, Sveriges geologiska undersökning Ah 5, 1–84.

**Wahlqvist A H, 1868.** Några ord till upplysning om bladet "Leufsta". Sveriges geologiska undersökning Aa 29, 1–54.

## Geologisk ordlista

Förklaringarna bygger i huvudsak på ordlistan i Sveriges Nationalatlas, Band 12, Berg och jord, ordlistan i Bengt E H Loberg: Geologi, 4:e upplagan samt TNC 86 Geologisk ordlista.

**Albit.** Natriumrik plagioklasfältspat.

**Alkalin bergart.** Magmatisk bergart karakteriserad av hög halt av natrium och kalium i förhållande till kisel och aluminium.

**Alkalinitet.** Förmåga hos vatten att binda syror.

**Amfibol.** En grupp av silikater med prismatisk kristallform. De viktigaste mineralen i gruppen är hornblände och aktinolit-tremolit.

**Amfibolit.** Metamorf bergart bestående av huvudsakligen amfibol och plagioklas.

**Anatektisk.** Bildad genom uppsmältning av äldre bergarter.

**Andalusit.** Aluminiumsilikat.

**Andesit.** Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas och mörka mineral t ex hornblände, pyroxen, biotit.

**Anomali.** Lokal avvikelset.

**Antiform.** En ryggformad upphöjning som uppkommit genom veckning av en lagerserie. Motsats till synform.

**Antropogen.** Orsakad eller påverkad av människan.

**Aplit.** Finkornig, granitisk bergart med låg halt av mörka mineral. Uppträder vanligtvis som gångar.

**Arenit (sandsten).** Sedimentär bergart med kornstorlek 0,06–2 mm.

**Argillit.** Finkornig sedimentär bergart som bildats ur lera och silt.

**Arkos.** Sandsten som innehåller minst 25 % fältspatfragment.

**Aureol.** Område med speciell karaktär kring en bergartsintrusion.

**Axialplan.** Se veckaxelplan.

**Baltiska Issjön.** En av flera isdämda sjöar som bildades i nuvarande Östersjö-området i samband med inlandsisens avsmältning. Baltiska Issjön dränerades för ca 11 200 år sedan.

**Bandning.** Omväxlande mer eller mindre parallella lager med olika färg, kornstorlek, mineralsammansättning osv.

**Basalt.** Basisk vulkanisk bergart.

**Basisk bergart.** Bergart med 45–52 viktprocent SiO<sub>2</sub>.

**Bergart.** Sammanhållet aggregat av ett eller vanligen flera mineral.

**Bentonit.** Mjuk, plastisk lera.

**Biotit.** Mörkt glimmermineral.

**Blyglans.** Sulfidmineral. Blyglans är det viktigaste blymineralet.

**Breccia.** Bergart som består av kantiga bitar i en mer finkornig mellanmassa.

**Böljeslagsmärke.** Symmetrisk, vågliknande struktur i sediment bildad genom vattnets vågrörelser över sedimenten.

**Charnockit.** Granit som innehåller mineralen ortopyroxen (en pyroxen med rombisk kristallstruktur).

**Cordierit.** Ett silikatmineral vanligt i metamorfa bergarter.

**Dacit.** Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas, kvarts och mörka mineral.

**Deformationszon.** En svaghetszon i berggrunden utefter vilken berggrunden på ömse sidor rört sig i förhållande till varandra.

**Diabas.** En gångbergart som bildar mer eller mindre branta skivor i berggrunden.

**Diabasgång.** Se diabas.

**Diamantborrning.** Undersökningsborrning med diamantsatt borrkrona. Borrningen syftar till att ta upp en serie prov, borrkärna, av berggrunden.

**Digital.** Representation av data med hjälp av siffror.

**Diorit.** Intermediär djupbergart som domineras av plagioklas och mörka mineral.

**Diopsid.** Se pyroxen.

**Diskordans.** Avbrott i en lagerserie där lagren över och under avbrottet bildar vinkel mot varandra.

**Dissemination.** Spridd fördelning i bergart av ett eller flera mineral.

**Djupbergart.** Magmatisk bergart som kristalliserat (stelnat) i djupare delar av jordskorpan.

**Dolomit.** Bergart huvudsakligen bestående av mineralet dolomit (Kalcium-magnesiumkarbonat).

**Drumlin.** I inlandsisens eller glaciärs rörelseriktning utsträckt elliptisk rygg, huvudsakligen bestående av morän.

**Eem.** Värmeperioden före Weichsel-istiden.

**Epicentrum.** Punkt på jordytan belägen rakt ovanför en jordbävningens centrum.

**Epidot.** Ett mossgrönt vattenhaltigt silikat med kalcium, aluminium och järn. Mineralet är vanligt som sprickfyllnad.

**Erosion.** Nednötning. Den process vid vilken material på jordytan lösgörs och förs bort av vatten, rörlig is, vind eller vågor.

**Fanerozoikum.** Geologisk tidsålder, yngre än 545 miljoner år.

**Fennoskandiska skölden.** Urbergsområde som omfattar Sverige med undantag av fjällkedjan och sydvästra Skåne, större delen av Finland, nordvästra Ryssland och delar av Sydnorge.

**Finmo.** Jordart med kornstorleken 0,02–0,06 mm.

**Flygsand.** Sand avlagrad av vinden.

**Flyttblock.** Stora av inlandsisen transporterade block.

**Formlinjer.** Linjer som markerar en trend. Strukturella formlinjer visar trenden av planstrukturer i berggrunden. Magnetiska konnektioner länkar ihop magnetiska anomalier som bedöms representera strukturella trender.

**Fossil.** Förstenade lämningar efter djur och växter.

**Fältspat.** Sammanfattande namn för en grupp bergartsbildande mineral. De viktigaste är kalifältspat och plagioklas.

**Förskiffring.** Planstruktur i en bergart definierad av parallellorientering av mineralkorn. Bildad under högt tryck och temperatur.

**Förkastning.** En spricka eller sprickzon parallellt med vilken berggrunden har rört sig.

**Gabbro.** Basisk djupbergart som består av mineralen plagioklas, pyroxen, hornblände och i vissa fall även olivin.

**Glacial.** Istid. Betecknar även företeelser och bildningar relaterade till en inlandsis.

**Glaciation.** Nedisning.

**Glimmer.** Silikat som kristalliserar i bladiga eller fjälliga former. Vanligast är biotit och muskovit.

**Gnejs.** Högmetamorf bergart med mer eller mindre välutvecklad planstruktur, ofta också med bandning.

**Gnejsgranit.** Omvandlad (förgnejsad) granit.

**Granat.** Sammanfattande namn för en grupp av silikatmineral med kubisk kristallform och varierande sammansättning.

**Granatådergnejs.** Granatförande ådergnejs.

**Granit.** Djupbergart bestående av huvudsakligen mineralen kvarts, fältspat, glimmer och/eller hornblände.

**Granitoid.** Samlingsnamn för kvartsrika djupbergarter, dvs granit, granodiorit, tonalit.

**Grus.** Jordart med kornstorlek 2–20 mm.

**Granodiorit.** En sur djupbergart som domineras av kvarts och fältspat. Plagioklas dominerar över kalifältspat.

**Gråvacka.** Sandsten med varierande kornstorlek och 15 % eller mer lerigt material.

**Gyttjelera.** Jordart (lera) med 2–6 % organiskt material.

**Gångbergart.** En magmatisk bergart i form av en skiva. Utgör sprickfyllnader och har vanligen bildats i övre delen av jordskorpan.

**Hematit.** Järnoxidmineral.

**HK =** Högsta Kustlinjen

**Hornblände.** Se amfibol.

**Hybridbergart.** Blandbergart.

**Hydraulisk konduktivitet.** En jord- eller bergarts förmåga att släppa igenom vatten.

**Hyperitdiabas.** Svart diabas som vanligen innehåller två pyroxener och järnoxidpigmenterad plagioklas.

**Högsta Kustlinjen.** Den högsta nivå dit havet nådde i samband med den senaste isavsmältningen. Denna ligger olika högt i skilda delar av landet bl a beroende på hur stor landhöjningen varit.

**Ignimbrit.** Vulkanisk bergart avlagrad av ett pyroklastiskt flöde.

**Ignimbritstruktur.** Struktur i ignimbrit vari pimpstens- och andra fragment kraftigt plattats ut.

**Illit.** Glimmerliknande lermineral.

**Inlandsis.** Ismassa som täcker stora delar av en kontinent.

**Interglacial.** Tiden mellan två istider.

**Intermediär bergart.** Bergart med 52–65 viktprocent SiO<sub>2</sub>.

**Interstadial.** Tiden mellan två kallare perioder inom samma istid.

**Intrusiv.** Magmatisk bergart som trängt in i och stelnat i jordskorpan som massiv eller som gångar.

**Isostasi.** Jämviktstillstånd i jordskorpan.

**Isräffla.** Repa i fast berg orsakad av block eller sten som transporterats i undre delen av inlandsisen.

**Isälvsavlagring.** Se isälvs sediment.

**Isälvssediment.** Sediment som transporterats av isälvar och smältvattenströmmar för att sedan avlagras vid isfronten i samband med avsmältningen.

**Jordart.** Lösa avlagringar på jordytan.

**Jordskorpa.** Den yttersta delen av jordklotet, ned till 5–10 km under oceanerna och till ca 35 km under kontinenterna.

**Kalcit.** Kalciumkarbonat. Huvudmineral i kalksten.

**Kalifältpat.** En kaliumrik fältpat.

**Kalksten.** Bergart bestående av i huvudsak kalcit.

**Kame.** Kulle med markanta sidor eller oregelbunden rygg, huvudsakligen uppbyggd av isälvssediment i kontakt med inlandsis.

**Kaolinit.** Ett lermineral. Se kaolin.

**Kaolin.** Grå eller vit lera huvudsakligen bestående av kaolinit.

**Kaxborrning.** Undersökningsborrning i berg utan att något prov i form av borrhärna erhålles (jfr diamantborrning). Det finkorniga material som bildas vid borrningen kallas borrhär. Kaxet kan studeras på olika sätt och ge information om berggrunden i borrhålet.

**Klorit.** Glimmerliknande, vanligen grönt, silikatmineral.

**Koboltglans.** Ett silvervitt kobolthaltigt sulfidmineral.

**Konduktivitet.** Elektrisk ledningsförmåga hos vatten.

**Konglomerat.** Sedimentär bergart som består av rundade stenar i en oftast sandig eller grusig mellanmassa.

**Kopparkis.** Ett kopparsulfidmineral. Det i Sverige viktigaste mineralet för utvinning av koppar.

**Kraton.** Konsoliderad och stabil del av den kontinentala jordskorpan.

**Kratonisering.** Konsolidering och stabilisering av jordskorpan.

**Krossbreccia.** Bergart bildad genom mycket kraftig spröd deformation. Består av kantiga fragment i en finkornig mellanmassa.

**Kuddlavestruktur.** Kuddliknande struktur i basisk bergart, bildad genom att lava flutit ut på havsbotten.

**Kvarts.** Kiseldioxid ( $\text{SiO}_2$ ).

**Kvartsit.** Mycket hård, kvartsrik, sedimentär bergart.

**Kvartärtid.** Den senaste geologiska tidsperioden, vilken omfattar tiden från ca 2 milj år sedan till nutid.

**Landhöjning.** Höjning av landytan i förhållande till havsytan.

**Laumontit.** Silikatmineral bildat genom omvandling av fältpat.

**Lava.** Magma som trängt ut på jordytan.

**Leptit.** Äldre beteckning, särskilt i Bergslagen, på en omvandlad sur vulkanisk bergart (metavulkanit).

**Lera.** Jordart med kornstorlek  $< 0,002$  mm.

**Lermineral.** Olika grupper av mineral som bygger upp leriga sediment.

**Lervarvsmätningar.** Studier av varvig lera. Ett varv motsvarar avsättningen under ett år.

**Lineament.** Rak eller svagt böjd långsträckt struktur.

**Läsidesmorän.** Moränrygg avsatt längs med isrörelseriktningen. I allmänhet sydost om en häll.

**Magma.** Smält berg.

**Magmatisk bergart.** Bergart bildad ur en bergarts-smälta (magma).

**Magnetisk susceptibilitet (magnetiserbarhet).** Parameter som beskriver ett geologiskt materials magnetiska egenskaper.

**Magnetiska konnektioner.** Se formlinjer.

**Magnetiskt lineament.** Rak eller svagt böjd långsträckt struktur som kan ses på en magnetisk karta.

**Magnetit.** Magnetiskt mineral (järnoxid). Viktigt mineral för utvinning av järn.

**Magnitud.** Mått på styrkan av en jordbävning.

**Malm.** En mineralkoncentration som är ekonomiskt brytvärd.

**Mantel.** Den del av jordklotet som ligger under jordskorpan, ned till ca 2 900 m djup.

**Marmor.** Genom metamorfos omkristalliserad kalksten eller dolomit.

**Massformig.** Slumpmässig fördelning och orientering av mineralen i en bergart.

**Meta-** Prefix som används framför bergartsnamn för att indikera omvandlad karaktär

(t ex metavulkanit). Jämför metamorfos.

**Metabasit.** Omvandlad basisk bergart.

**Metamorf.** Omvandlad.

**Metamorfos.** Den omvandling som en bergart genomgår när den utsätts för ändrat tryck och/eller ändrad temperatur.

**Metasedimentär bergart.** Omvandlad, ursprungligen sedimentär bergart.

**Metavulkanisk bergart.** Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

**Metavulkanit.** Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

**Migmatit.** Bergart bildad genom delvis uppsmältning och rekristallisation av äldre berggrund.

**Migmatitgranit.** Granit bildad genom uppsmältning av äldre berggrund.

**Migration.** Vandring. Exempelvis ett ämnes rörelse i ett medium.

**Mikroklin.** En varietet av kalifältspat. Ett av de vanligaste bergartsbildande mineralen.

**Mineral.** Fast, oorganisk substans som är definierad genom sin kemiska sammansättning och kristallsymmetri.

**Mjåla.** Jordart med kornstorlek 0,002–0,02 mm.

**Mo.** Jordart med kornstorlek 0,02–0,2 mm.

**Monzodiorit.** En intermediär djupbergart som innehåller fältspat och mörka mineral. Plagioklas dominerar över kalifältspat.

**Monzonit.** En intermediär djupbergart som innehåller huvudsakligen kalifältspat och plagioklas. Kvartsförande varianten kallas kvartsmonzonit.

**Morän.** Jordart som avlagrats av inlandsisen. Moränen har varierande sammansättning av block, sten, grus, sand, mo, mjåla och ler.

**Moränbacklandskap.** Kuperad terräng av morän.

**Muskovit.** Ljust glimmermineral.

**Mylonit.** Finkornig bergart bildad genom mycket stark plastisk deformation.

**Mylonitzonen.** En starkt mylonitiserad zon i Sydvästsveriges gnejsberggrund.

**Nefelin.** Ett fältspatliknande mineral rikt på natrium.

**Nefelinsyenit.** Intermediär alkalisk djupbergart som domineras av kalifältspat, nefelin och mörka mineral.

**Neosom.** Nybildat (rekristalliserat) material i en migmatit.

**Neotektonik.** Unga tektoniska rörelser i jordskorpan.

**Norit.** Basisk djupbergart.

**Olivin.** Järn-magnesiumsilikat som främst förekommer i basiska bergarter.

**Ordovicisk.** Från den tidsperiod ca 495–443 miljoner år sedan som benämns ordovicium.

**Orogen.** Se orogent bälte.

**Orogent bälte.** Vanligen långsmalt område av jordskorpan inom vilket bergskedjebildning sker eller har skett.

**Orogenes.** Bergskedjebildning.

**Ortofoto.** En bild av marken där hela bilden gjorts skalriktig.

**Paleosom.** Rester av moderbergarten i en migmatit.

**Pechblände.** Uranmineral.

**Pegmatit.** En grovkristallin granitisk bergart som vanligen bildar gångar eller mindre massiv.

**Peneplan.** En utbredd flack, relativt jämn berggrundsytta bildad genom långvarig erosion.

**Permeabel.** Genomsläpplig.

**pH.** Surhetsgrad hos vatten.

**Pimpsten.** Ljus, porös, pyroklastisk bergart.

**Plagioklas.** En fältspat rik i sodium och kalcium.

**Plastisk deformation.** Deformation vid vilken berggrunden reagerar plastiskt, dvs beter sig som en trögflytande massa. Vid denna deformation bildas t ex plastiska skjuvzoner med kraftig förskifning och linjärstruktur.

**Plastisk skjuvzon.** Se plastisk deformation.

**Plattektonik.** Modell som beskriver jordskorpan uppdelning i plattor och hur plattorna rör sig.

**Porfyr.** Bergart som karaktäriseras av att enskilda större kristaller (strökorn) ligger spridda i en finkornig mellanmassa (matrix).

**ppm.** Parts per million. ”en miljondel”  
Vanligt sätt att uttrycka låga halter.  
Jfr procent = ”en hundraedel”

**Postglacial.** Efter istiden (post=efter).

**Prehnit.** Silikatmineral.

**Prekambrium.** Geologisk tidsålder, äldre än 545 miljoner år.

**Primorogen.** Se tidigorogen.

**Protoginzone.** En ungefär nord-sydlig zon från Skåne till norra Värmland. Den östra begränsningen av den svekonorvegiska orogenerna.

**Pyroklastisk bergart.** Bergart bestående av brottstycken och andra partiklar bildade som ett direkt resultat av vulkanism.

**Pyroklastiskt flöde.** En kraftigt upphettad blandning av vulkaniska gaser och utbrottsprodukter. Flyter som laviner nedför vulkansidorna.

**Pyroklastiskt fall.** Nedfall av vulkaniska utbrottsprodukter från luften.

**Pyroxen.** Mineralgrupp med prismatisk kristallform.

**Radioaktivitet.** Spontan sönderfall av ett radioaktivt ämne, ofta via en sönderfallskedja, till ett stabilt ämne. Vid sönderfallet utsänds olika typer av strålning.

**Radon.** En färg- och luktlös radioaktiv ädelgas som bildas genom sönderfall av radium.

**Randzon.** Område där isfronten tidvis har stått stilla eller ryckt fram.

**Rapakivigranit.** Lättvitträd granit karakteriserad av större korn av kalifältspat klädda med tunna skal av plagioklas.

**Refraktionsseismik.** Geofysisk metod som utnyttjar seismiska vågors brytning (refraktion) i kontakten mellan olika media som t ex jord-berg i marken.



**Regression.** När havet successivt drar sig tillbaka med resulterande ökning av ett landområde. Motsats till transgression.

**Resistivitet.** (Elektriskt) motstånd.

**Ryolit.** Sur vulkanisk bergart (ytbergart) med granitisk sammansättning.

**Rörelsebelopp.** Mått på storleken av t ex en förkastning.

**Sand.** Jordart med kornstorlek 0,06–2,0 mm.

**Sandsten.** Se arenit.

**Sandur.** Sand- och grusavlagring bildad av smältvattenflöden från glaciär eller inlandsis.

**Satellitdata.** Mätningar, vanligen av elektromagnetisk strålning, gjorda från satelliter som cirklar runt jorden.

**Sediment.** Från luft, vatten eller is avlagrat fast material samt material som ackumulerats genom kemisk utfällning.

**Sedimentgnejs.** Gnejsomvandlad sedimentär bergart.

**Sedimentär bergart.** Till en bergart hopläkt sediment.

**Seismicitet.** Stötvågor (jordskalv) i berg orsakade av elastiska vågor alstrade genom rörelser på relativt stort djup i jordskorpan.

**Sen-glacial förkastning.** Se neotektonik.

**Serpentin.** Grupp av vanligen gröna och vid beröring tvålaktigt glatta mineral. Vanligen bildade genom omvandling av t ex olivin och pyroxen.

**Siljansringen.** Rund struktur vid Siljan bildad vid meteoritnedslag.

**Silikat.** Kemisk förening mellan kisel (Si) och syre (O). Se även silikatmineral.

**Silikatmineral.** Den typ sv silikat som förekommer i naturen. Över 90 % av jordskorpan består av bergartsbildande silikatmineral, främst amfiboler, pyroxener, oliviner och kvarts.

**Sillimanit.** Aluminiumsilikat.

**Silt, -ig.** Jordart med kornstorlek 0,002–0,06 mm.

**Skarn.** Äldre svensk benämning på mineral som hör ihop med järn- och sulfidmalmer. Det ofyndiga berget inom en malmförekomst.

**Skjuvdeformation.** Deformation vid vilken rörelser har skett inom och mellan berggrundsblocken.

**Skjuvzon.** Ett linjärt berggrundsområde som kännetecknas av intensiv deformation.

**Skolla, skollkomplex.** Ett bergartspaket som skjutits fram över den underliggande berggrunden längs en flack yta.

**Sköl.** Zon med svagare berg än omgivningen.

**Slira.** Ett oregelbundet slingrande parti i en bergart.

**Smektit.** Ett lermineral. Viktig beståndsdel i bentonit.

**Susceptibilitet.** En bergarts förmåga att magnetiseras.

**Spektralmätning.** Strålningsmätning som till skillnad från totalmätning mäter strålningen fördelad på olika våglängder.

**Sprickzon.** Se spröd deformation.

**Spröd deformation.** Deformation vid vilken berggrunden reagerar genom uppsprickning. Vid denna deformation bildas enskilda sprickor och ansamlingar av sprickor till s k sprickzoner.

**Stadial.** Kallare period under en istid, när inlandsisen tillväxer.

**Stratigrafiska (undersökningar).** Undersökningar som syftar till att utreda bergarternas inbördes åldersförhållanden.

**Stromatoliter.** Skiktade kupolformade strukturer i kristallin kalksten troligtvis bildade av alger.

**Strukturella formlinjer.** Se formlinjer.

**Strykning.** Riktning av en planstruktur (t ex förskiffring, sprickzon, bergartskontakt).

**Stupning.** Vinkel som en planstruktur (t ex förskiffring, sprickzon, bergartskontakt) bildar med horisontalplanet.

**Stänglighet.** Linjär, ”kåppliknande” struktur i en bergart, beroende på att långsträckt mineral Korn eller aggregat är orienterade parallellt.

**Subkambriska peneplanet.** Ett peneplan (jämn berggrundsytta) som hade bildats innan för 545 miljoner år sedan.

**Subvulkanisk intrusion.** En vulkanitliknande bergart som dock visar klart intrusivt utträdande mot omgivande bergarter.

**Sur bergart.** Bergart med > 65 viktprocent SiO<sub>2</sub>.

**Svallning.** Vågornas eroderande verkan på en strand.

**Svallsediment.** Genom svallning frigjort material som sedan avsatts.

**Syenit.** Intermediär djupbergart som domineras av kalifältspat och mörka mineral. Kvartsförande varianten kallas kvartssyenit.

**Synform.** En trågformad sänka i jordskorpan. Motsats till antiform.

**Tektonik.** Den storskaliga uppbyggnaden av jordskorpan. Termen omfattar geologiska processer och strukturer relaterade till rörelser i berggrunden.

**Textur.** Mineral Kornens orientering (”mönster”) i en bergart.

**Tidigrogen.** Beteckning på de äldsta djupbergarterna i en orogenes.

**Tonalit.** En sur djupbergart som domineras av kvarts och plagioklas.

**Topografiskt lineament.** Rak eller svagt böjd långsträckt struktur i naturen.

**Torkspricka.** Spricka uppkommen genom uttorkning av en finkornig sediment.

**Tornquistzonen.** En zon av förkastningar i nordväst-sydost mellan Svarta Havet och Nordsjön. Zonen går genom Skåne och markerar där sydvästra randen av den Baltiska skölden.

**Torv.** Organisk jordart som bildas genom nedbrytning av döda växt- och djurdelar.

**Totalhårdhet.** Sammanlagda halten av kalcium och magnesium i vatten.

**Transgression.** När havet successivt tränger in över ett landområde. Motsats till regression.

**Tremolit.** Se amfibol.

**Tuff.** Bergart bestående av bl a vulkanisk aska.

**Tuffit.** Bergart bestående av vulkanisk aska blandad med sediment.

**Täljsten.** Mjuk bergart som består av klorit och talk (ett magnesiumsilikat).

**Ultrabasisk bergart.** Djupbergart med extremt låg (< 45 viktprocent) SiO<sub>2</sub>.

**Units of radiation (ur).** 1 ur motsvarar strålningen från 1 ppm uran i en bergart.

**Ur.** Se units of radiation.

**Urbergssköld.** Se kraton.

**Urgranit.** Äldre benämning på tidigorogena sura djupbergarter.

**Veckaxelplan.** Det plan som sammanbinder veckaxlarna för varje lager i en veckad bergartsserie.

**Veckaxel.** Omböjningslinjen för ett veck.

**Veck.** Böjd planstruktur i berg.

**Vittring.** Sönderdelning och omvandling av berg och jord genom mekaniska och kemiska processer.

**VLF (Very Low Frequency) -mätning.** Elektromagnetisk mätmetod som kan användas för påvisning av brantstående kroppar eller strukturer med hög elektrisk ledningsförmåga.

**Vulkanisk aska.** Finkornig produkt vid vulkanutbrott.

**Vulkanisk bergart.** Bergart bildad genom vulkaniska processer.

**Vulkanisk breccia.** Vulkanisk bergart bestående av kantiga brottstycken större än 64 mm.

**Vulkanisk process.** Utströmning vid jordytan av magma, fragment, aska, gaser etc.

**Vulkanit.** Se vulkanisk bergart.

**Weichsel-Istiden.** Den senaste istiden i Sverige.

**Ytbergart.** Bergart bildad på eller nära jordens yta genom sedimentära eller vulkaniska processer.

**Zinkblände.** Ett gult, brunt eller svart diamantglänsande sulfidmineral (zinksulfid).

**Ådergnejs.** En form av migmatit med ådrig struktur.

**Överskjutning.** Den process vid vilken berggrundsskivor (skollor) skjuts upp över ursprungligen högre belägna lager.