

R-00-04

Förstudie Älvkarleby

Jordarter, bergarter och deformationszoner

Torbjörn Bergman, Rune Johansson, Anders H Lindén,
Lars Rudmark, Michael Stephens
Sveriges Geologiska Undersökning

Hans Isaksson
GeoVista AB

Hardy Lindroos
Mirab

Februari 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-00-04

Förstudie Älvkarleby

Jordarter, bergarter och deformationszoner

Torbjörn Bergman, Rune Johansson, Anders H Lindén,
Lars Rudmark, Michael Stephens
Sveriges Geologiska Undersökning

Hans Isaksson
GeoVista AB

Hardy Lindroos
Mirab

Februari 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 Älvkarleby – Jordarter, bergarter och deformationszoner” har genomförts av en grupp geovetare vid Sveriges geologiska undersökning (SGU), GeoVista AB och Mirab. Utredningen spänner över olika geovetenskapliga ämnesområden och gruppens sammansättning speglar detta.

Under det gemensamma arbetet har ansvaret fördelats på följande sätt:

Jordartsgeologi	Lars Rudmark, SGU
Berggrundsgeologi	Torbjörn Bergman, SGU
Deformationszoner	Michael Stephens, SGU Hans Isaksson, GeoVista AB
Exploateringsintressen	Hardy Lindroos, Mirab
Radon i jordarter och berggrund	Anders H Lindén, SGU
Sammanställning	Rune Johansson, SGU

Sammanställningar av befintlig information har gjorts för att kunna presenteras i skala 1:100 000 men redovisas i rapporten i skala 1:200 000. Kartor i originalskala eller i digital form tillhandahålls av SKB.

Sammanfattning

Mål och förutsättningar

På uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har en sammanställning och utvärdering gjorts av befintlig information rörande jordarter, bergarter och deformationszoner inom Älvkarleby kommun. Målet har varit att göra en översiktlig bedömning av de geologiska förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle.

De lokaliseringsfaktorer som studerats är främst berggrundens sammansättning och homogenitet, regionala deformationszoner, berggrundens malmpotential, samt jordlagrens mäktighet och sammansättning. Även faktorer som radiumhalten i berggrunden och förekomst av jordskalv har berörts.

Den befintliga informationen inom undersökningsområdet är högst varierande såväl när det gäller tätheten av observationer och mätningar som ålder och delvis också kvalitet. Särskilt besvärande är avsaknaden av moderna, detaljerade berggrundsgeologiska kartor och den genomgående låga blottningsgraden (andelen kalt berg). Dessa faktorer gör att de presenterade resultaten blir mindre säkra.

Allmänna geologiska förhållanden

Jordarter

Morän är den mest allmänna jordarten inom Älvkarleby kommun. Flera olika moräntyper förekommer, men sandig morän är den dominerande typen. Därutöver sträcker sig genom kommunen den mäktiga Uppsalaåsen med isälvsediment och omgivande svallsediment. Uppsalaåsen höjer sig upp till 30 meter över omgivningarna och dominerar landskapsbilden.

Jordarterna täcker i stor utsträckning berggrunden och berg i dagen förekommer endast i mycket begränsad omfattning. Flertalet brunnborrningar från kommunen anger jordmäktigheter på mer än 10 meter och i ett 10-tal fall mer än 20 meter. Stora mäktigheter förekommer framför allt i anslutning till Uppsalaåsen.

Bergarter inklusive exploateringsintressen

Berggrunden domineras av omvandlade granitoider och yngre, mer välbevarade graniter. Längs kusten förekommer migmatit och ådergnejs samt, framför allt i kommunens västra del, olika ytbergarter och basiska djupbergarter. De dominerande bergarterna är generellt sett gynnsamma ur förvarssynpunkt.

Framtida prospekteringsintressen med avseende på främst koppar, zink och bly kan förutses i området väster om Älvkarleby. Den täktverksamhet som idag bedrivs inom kommunen är obetydlig och den skulle knappast störa verksamheten i ett djupförvar. Omvänt torde lokaliseringen av ett djupförvar inte påverka den förhållandevis gynnsamma situation vad gäller den framtida tillgången på krossberg och ballast i kommunen.

Information från geofysiska flygmätningar visar att radiumhalten i berggrunden är markant förhöjd i ett område öster om Långsand. Därutöver finns endast spridda områden, främst i kommunens norra del, med måttligt förhöjda halter. Förhöjda radiumhalter leder till högre radonhalter, vilket kan medföra ökat ventilationsbehov i en underjordsanläggning men påverkar inte den långsiktiga säkerheten i ett djupförvar.

Deformationszoner (plastiska skjuvzoner, sprickzoner och förkastningar)

Av de dominerande bergarterna är metagranitoiderna de som är mest påverkade av plastisk deformation medan de yngre graniterna är betydligt mindre eller inte alls påverkade. Ett av de mest betydande systemen av plastiska deformationszoner i Sverige, Singö-skjuvzonen, sträcker sig genom den södra delen av kommunen och i den norra delen uppträder en annan tolkad regional skjuvzon, den så kallade Örskärzonen. Zonerna avgränsar tektoniska linser som är betydligt mindre deformerade.

Yngre förkastningar och sprickzoner följer ibland äldre plastiska zoner men uppträder också i helt andra riktningar jämfört med de äldre. Dessa spröda, regionala deformationszoner avgränsar berggrundsblock som till ytan ofta är flera tiotals km² stora. Inom dessa bergvolymen förekommer mindre sprickzoner. Mer detaljerade undersökningar krävs för att utreda karaktären på dessa zoner liksom hur tätt de förekommer.

Sen- eller postglaciala förkastningar och seismicitet

Några säkra tecken på sen- eller postglaciala förkastningar har inte rapporterats från kommunen. Blockansamlingar vid Marma och Älvkarleö har dock av vissa forskare tolkats som en möjlig effekt av sen- eller postglaciala rörelser i berggrunden, men tolkningen är omtvistad. Om fortsatta undersökningar blir aktuella i Älvkarleby kommun bör alla tecken på unga rörelser i berggrunden noga beaktas. Kommunen ligger emellertid i ett seismiskt stabilt område.

Berggrundens långsiktiga stabilitet

Den fennoskandiska skölden är mycket stabil och de rörelser som gett upphov till de regionala deformationszoner som beskrivs i föreliggande rapport är mycket gamla, minst flera hundra miljoner år. Det finns ingen anledning att anta att några framtida rörelser av denna dignitet skall ske under den tid, ca 100 000 år, som behöver beaktas för ett djupförvar. De först förväntade rörelserna i berggrunden är i stället de som kan komma att utlösas i samband med avsmältningen av en framtida inlandsis, om tidigast flera tiotusentals år. Rörelserna antas då företrädesvis ske utefter äldre deformationszoner.

Förutsättningar för att lokalisera ett djupförvar till Älvkarleby kommun

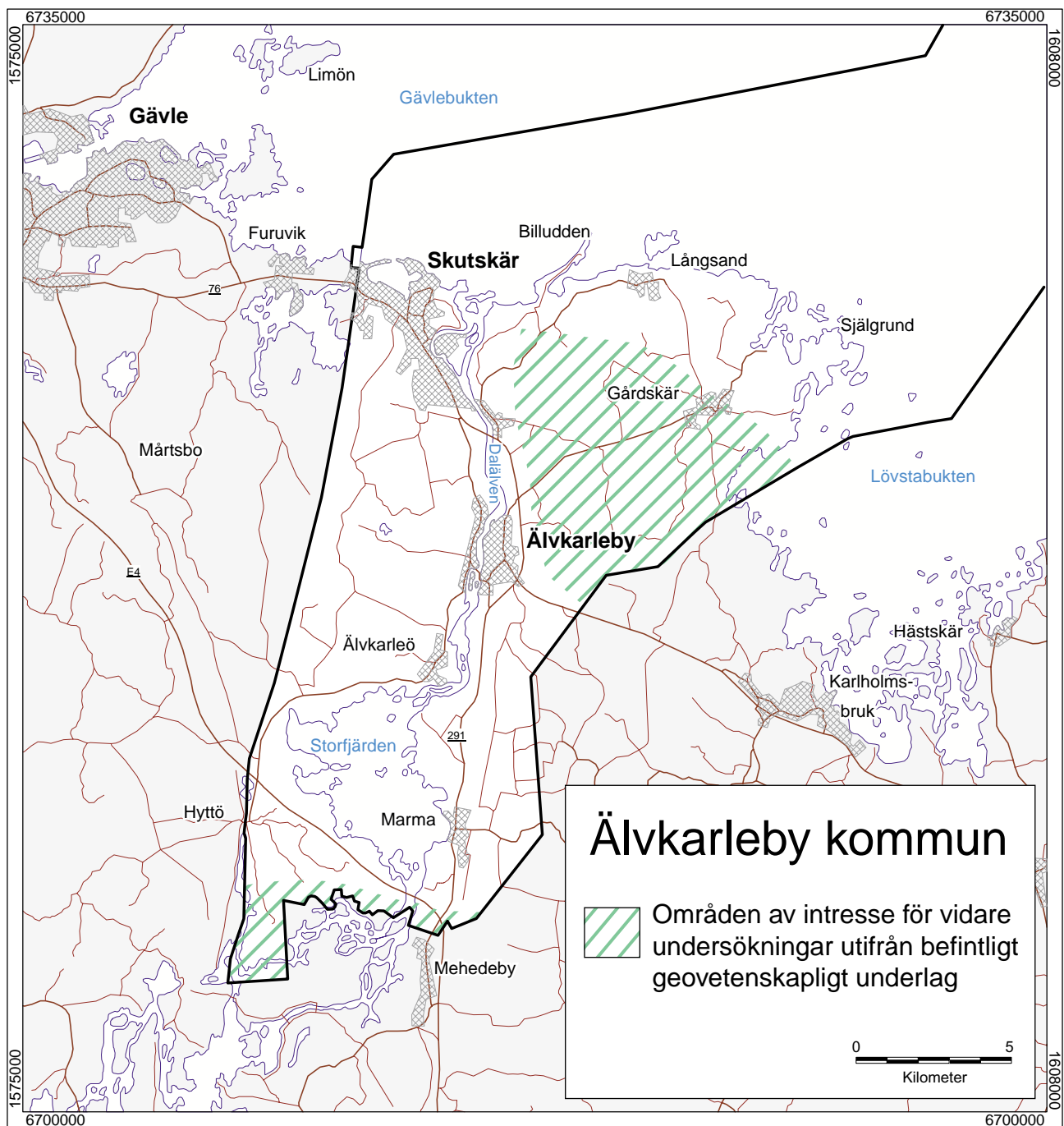
Med ett område av intresse för fortsatta studier avses ett område där det, utifrån de geologiska faktorer som studerats, bedöms möjligt att identifiera en bergvolym med de egenskaper och den storlek som behövs för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle. Sådana områden har i denna utredning definierats utifrån ett översiktligt och delvis ofullständigt underlag.

Resultatet av den utförda undersökningen visar var det i första hand bedöms meningsfullt att bedriva mer detaljerade undersökningar. Det är endast när sådana mera detaljerade undersökningar genomförts som det går att slutgiltigt bedöma om det finns lämplig berggrund för ett djupförvar.

Betydande delar av Älvkarleby kommun bedöms vara mindre intressanta för fortsatta undersökningar eftersom de omfattar; inhomogen berggrund, regionala plastiska skjuvzoner, malmpotentiell berggrund eller uppvisar mäktiga jordlager. Efter att hänsyn tagits till dessa faktorer kvarstår i första hand ett ca 50 km² stort område nordost om Älvkarleby samt ett betydligt mindre område längst i söder, se kommande figur. Det måste emellertid nog understrykas att den befintliga informationen är bristfällig och att andelen berg i dagen är mycket stor, vilket sammantaget gör bedömningen av intressanta områden osäker.

Berggrunden inom det större intressanta området består av metagranitoid och yngre granit medan det mindre området helt domineras av yngre granit (Hedesundagranit). De tolkade regionala sprickzonerna avgränsar i bägge fallen berggrundsblock av sådan storlek att ett djupförvar kan lokaliseras inom ett och samma block. Jordlagrens mäktighet är måttlig och något framtida prospekteringsintresse kan inte förväntas. Det större området ligger inom en av de tektoniska linserna mellan de västliga fortsättningarna av Singö-skjuvzonen och den sk Örskärzonen. Om vidare undersökningar blir aktuella bör för- och nackdelar med en sådan geologisk miljö särskilt beaktas.

I föreliggande rapport görs ingen bedömning avseende intressanta områden i kommunens havstäckta område. Anledningen är att data för en sådan bedömning i stort sett saknas.



*Områden inom Älvkarleby kommun av intresse för vidare undersökningar.
Bedömningen är baserad på befintligt geovetenskapligt underlag.*

Innehåll

1	Inledning	11
2	Mål och förutsättningar	13
3	Befintlig information	15
3.1	Jordartsgeologisk information	15
3.2	Berggrundsgeologisk information	15
3.3	Geofysisk information	18
3.4	Övriga undersökningar av särskilt intresse	20
3.5	Informationstäthet och kvalitet	21
4	Älvkarleby kommun i ett regionalgeologiskt sammanhang	23
4.1	Kontinenternas rörelser	23
4.2	Regional tektonisk utveckling i Sverige	25
4.3	Deformationszoner från 1 850 miljoner år sedan till nutid	29
4.3.1	Plastisk deformation	29
4.3.2	Spröd deformation	31
4.3.3	Sen- eller postglaciala förkastningar	33
4.3.4	Seismicitet och rörelse i berggrunden i historisk tid	34
4.4	Meteoritkratrar	34
4.5	Malmprovinser	34
4.6	Älvkarleby kommun i ett nationellt perspektiv	36
5	Jordartsgeologi	39
5.1	Isavsmältning och isrörelser	39
5.2	Jordarter inom Älvkarleby kommun	40
5.2.1	Glaciala jordarter	43
5.2.2	Postglaciala jordarter	45
6	Berggrundsgeologi	47
6.1	Metodik	47
6.2	Bergartsindelning	47
6.3	Berggrunden inom undersökningsområdet	49
6.3.1	Ytbergarter	49
6.3.2	Djupbergarter	52
6.3.3	Gångbergarter	53
6.3.4	Migmatit och ådergnejs av varierande ursprung	58
6.4	Berggrundens homogenitet	58
7	Radon i jordarter och berggrund	59
7.1	Jordarter	59
7.2	Berggrund	62

8	Deformationszoner	63
8.1	Definitioner	63
8.2	Metodik	64
8.3	Bergartsgrupper i ett tektoniskt perspektiv	69
8.4	Tolkade deformationszoner	71
	8.4.1 Delområde A	71
	8.4.2 Delområde B	73
8.5	Deformationszoner i tid och rum	76
9	Exploateringsintressen	79
9.1	Nyttostensförekomster	79
9.2	Malmförekomster	81
10	Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar	85
10.1	Viktiga faktorer	85
10.2	Allmänna geologiska förutsättningar	86
10.3	Områden av intresse för fortsatta studier	87
10.4	Jämförelser med andra lokaliseringsstudier	90
11	Referenser	91
	Bilaga 1. Geologisk ordlista	97

1 Inledning

På uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) har en sammanställning och utvärdering gjorts av befintlig information rörande jordarter, bergarter och deformationszoner inom Älvkarleby kommun. Även exploateringsintressen av jord- och bergarter har beaktats, liksom var malmpotentiell berggrund kan förekomma. Rapporten är en del av det geovetenskapliga underlag som skall ligga till grund för att bedöma förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle till kommunen.

Förutom till SKB, berörda myndigheter och geovetare i olika sammanhang vänder sig rapporten också till en bredare krets av intressenter, däribland medborgarna i Älvkarleby kommun. Den breda målgruppen medför krav på ett lättläst språk samtidigt som rapporten skall vara vetenskapligt relevant. Det har dock inte varit möjligt att presentera vetenskapligt relevanta beskrivningar utan att i viss utsträckning använda geologiskt fackspråk. Förklaringar till geologiska termer ges då som regel första gången de förekommer i texten. Dessutom bifogas en geologisk ordlista. I vissa fall finns förklaringar enbart i ordlistan.

2 Mål och förutsättningar

Målet har varit att göra en översiktlig bedömning av de geologiska förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar. Detta innebär att utredningen redovisar berggrundens strukturella uppbyggnad samt visar om det inom kommunen kan finnas homogena, flera kvadratkilometer stora områden med få regionala deformationszoner där berggrunden saknar malmpotential. Dessutom diskuteras berggrundens långsiktiga stabilitet. Hydrogeologiska aspekter behandlas i en annan utredning (Axelsson m fl, 2000).

En förutsättning för studien var att den skulle grundas på befintlig information. Detta kan t ex vara publicerade berggrunds- och jordartsgeologiska kartor samt särskilda undersökningar vilka sammanställts i olika publikationer och rapporter. När det gäller deformationszoner går emellertid studien ett steg längre genom att också tolkning av strukturella mätningar, geofysiska flygmätningar och topografiska data har utförts. Skälet till detta är att någon heltäckande tolkning av dessa data inte tidigare gjorts. För att översiktligt kontrollera de slutsatser som presenteras har vissa begränsade fältkontroller genomförts.

En utredning som på detta sätt huvudsakligen baseras på befintlig, mer eller mindre ofullständig information får i första hand inriktas på att identifiera områden som bedöms olämpliga eller ogynnsamma för en lokalisering av ett djupförvar.

Sådana områden karakteriseras exempelvis av:

- malmpotentiell berggrund,
- kända regionala deformationszoner och/eller påvisade berggrörelser i samband med inlandsisens avsmältning,
- heterogen och svårtolkad berggrund.

När det gäller gynnsamma faktorer som

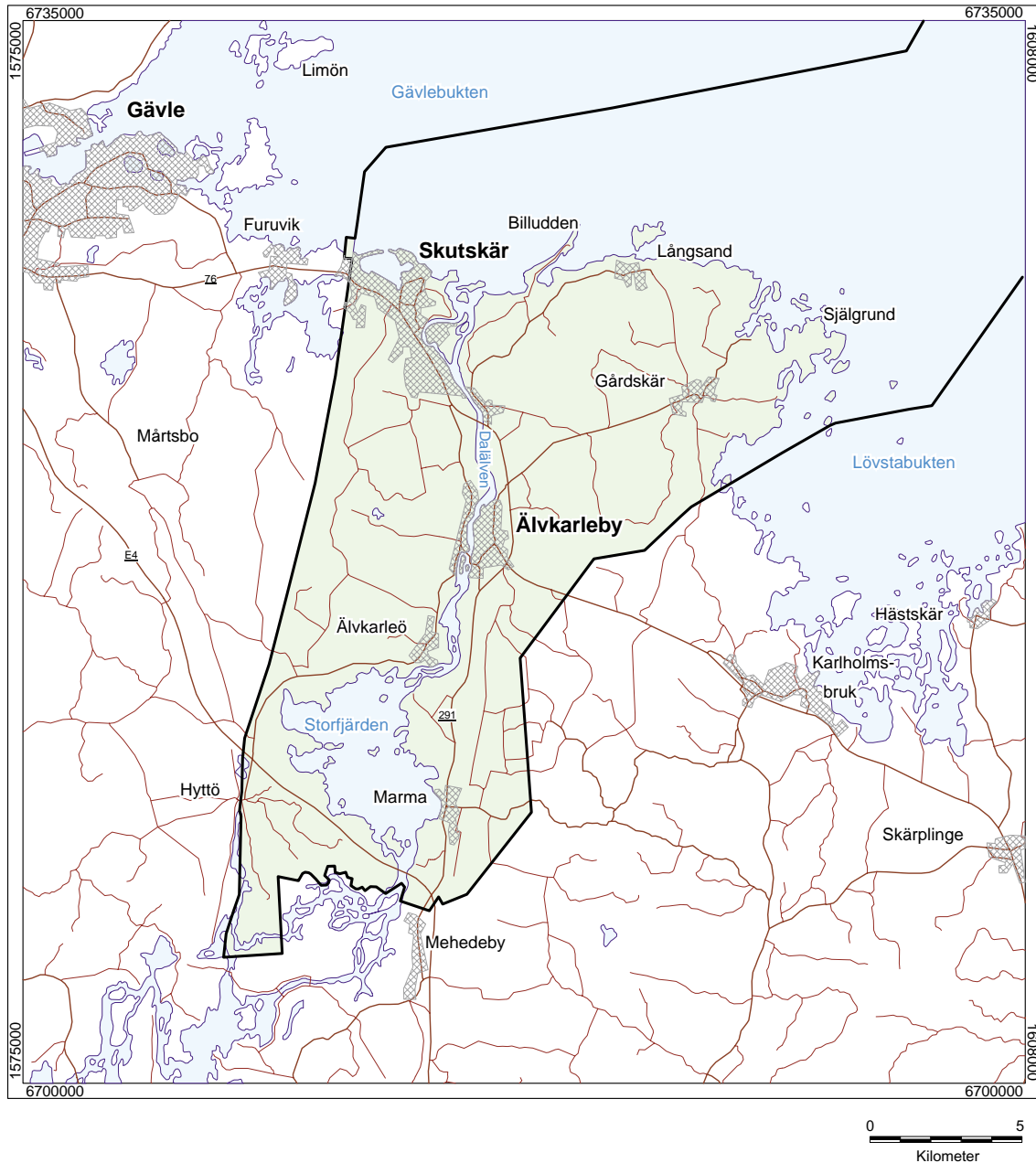
- vanlig bergart utan intresse för nyttjande som naturresurs,
- stort område med få större deformationszoner,
- enkla och homogena berggrundsförhållanden,
- hög blottningsgrad,

grundas bedömningen i många fall på frånvaron av indikationer. Exempelvis karakteriseras ett ”område med få större sprickzoner” i denna studie av att det inte finns några kända indikationer på att berggrunden i det aktuella området är rik på större sprickor eller sprickzoner. Bedömningen grundas med andra ord inte på information från någon systematisk kartering av just sprickzoner.

Det resultat som utredningen gett står i relation till den skala i vilken sammanställningar och tolkningar gjorts. Underlagsmaterialet föreligger huvudsakligen i skalintervall från 1:50 000 till 1:250 000 och sammanställningarna blir därmed översiktliga i relation till ett djupförvars dimensioner. Vidare grundas de slutsatser som presenteras på ytinformation eftersom direkta observationer från förvarsdjup, ca 500 m under markytan, saknas. Emellertid visar erfarenheter från jämförelser mellan ytinformation och information från

borrhålsundersökningar att generella slutsatser om berggrunden som baseras på ytinformation vanligen är giltiga även på förvarsdjup. Sådana erfarenheter finns exempelvis från SKBs typområdesundersökningar och från Äspölaboratoriet i Oskarshamn kommun. Detaljerade förutsägelser om förhållandena på förvarsdjup kan emellertid inte göras utifrån enbart ytinformation.

För en tillförlitlig studie av geologiska förhållanden krävs att ett något större område än det egentliga intresseområdet beaktas. Undersökningsområdet, se Figur 2-1, omfattar därför inte bara själva kommunen utan även den närmaste omgivningen.



Figur 2-1. Undersökningsområdet (bela bilden) och Älvkarleby kommun.

3 Befintlig information

I detta kapitel beskrivs översiktligt den information som nyttjats i studien. I rapporten ges dessutom hänvisningar till referenslistan, vilket underlättar för läsaren att själv ta del av underlagsmaterialet. Den befintliga informationen är mycket varierande både vad gäller detaljeringsgrad och ålder, delvis också vad gäller kvalitet, ett faktum som tas upp i Kapitel 3.5.

3.1 Jordartsgeologisk information

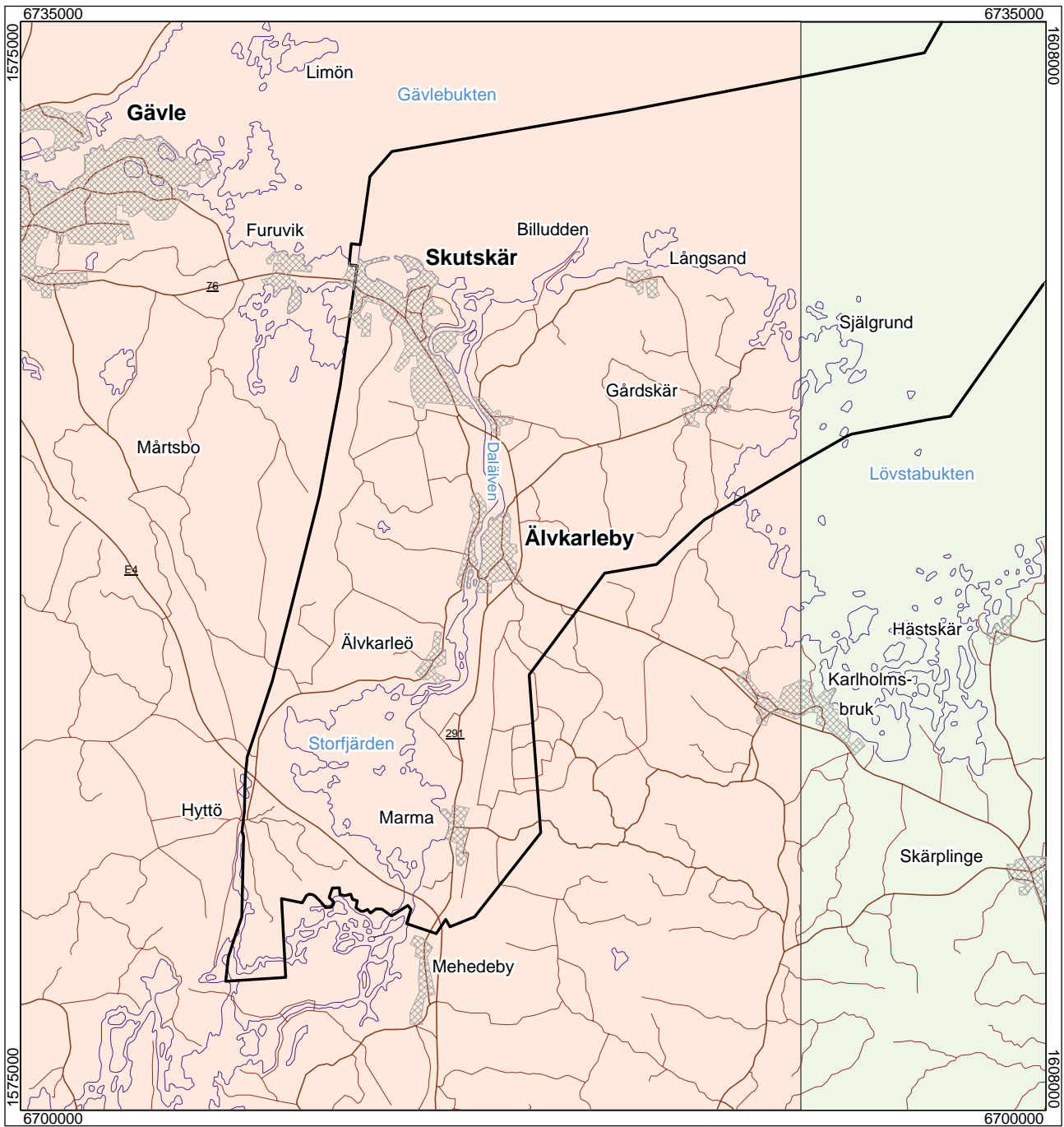
Jordartsgeologisk information i form av moderna digitala jordartskartor (Persson, 1986) finns endast över den östligaste delen av undersökningsområdet, se Figur 3-1. Kartindelningen följer Lantmäteriets bladindelning för topografiska kartan över Sverige och befintliga kartor omfattar kartbladen 13I Österlövsta NV och SV.

Över huvuddelen av området, inom de topografiska kartbladen 13H Gävle SO och NO, saknas modernt material. Den befintliga jordartsinformationen i form av kombinerade jordarts- och berggrundskartor är föråldrad och härstammar delvis från 1800-talets senare del (Wahlqvist, 1868a, 1868b; Sandegren m fl, 1939; Sandegren och Lundegårdh, 1949). Kartbladsindelningen för de äldre kartorna framgår av Figur 3-2. Denna äldre information tillsammans med geofysiska flygmätningar, grusinventeringar och flygbilder utgör således underlaget till den digitala jordartskartan över huvuddelen av undersökningsområdet.

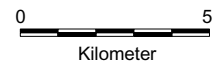
3.2 Berggrundsgeologisk information

Äldre kombinerade jordarts- och berggrundskartor i skala 1:50 000 finns att tillgå för hela området (Wahlqvist, 1868a, 1868b; Sandegren m fl, 1939; Sandegren och Lundegårdh, 1949). Länskartorna i skala 1: 200 000 och 1:250 000 (Lundegårdh, 1966; Söderholm m fl, 1983) samt en senare sammanställning i skala 1:250 000 (Persson och Stålhös, 1991) bygger till stor del på de äldre kartorna. Moderna, mer detaljerade berggrundskartor i skala 1:50 000 saknas helt.

Vid studier av deformationszoner utgörs berggrundsgeologiska primärdata i första hand av mätningar av planstrukturer (förskiffring, gnejsighet, bandning) som gjorts i samband med den geologiska kartläggningen. Eftersom modern, detaljerad kartläggning saknas i undersökningsområdet, finns inte heller några systematiska mätningar av sådana strukturer. Detta har dock till viss del kompenseras av att tillgång funnits till flygburna magnetiska mätningar. Vidare har fältiakttagelser av bergarter som bildats i samband med kraftig deformation av berggrunden nyttjas. Dessa kan vara mylonit, som är en finkornig bergart, eller krossbreccia, som innehåller kantiga fragment vilka vanligtvis är hopläkta av olika mineral.

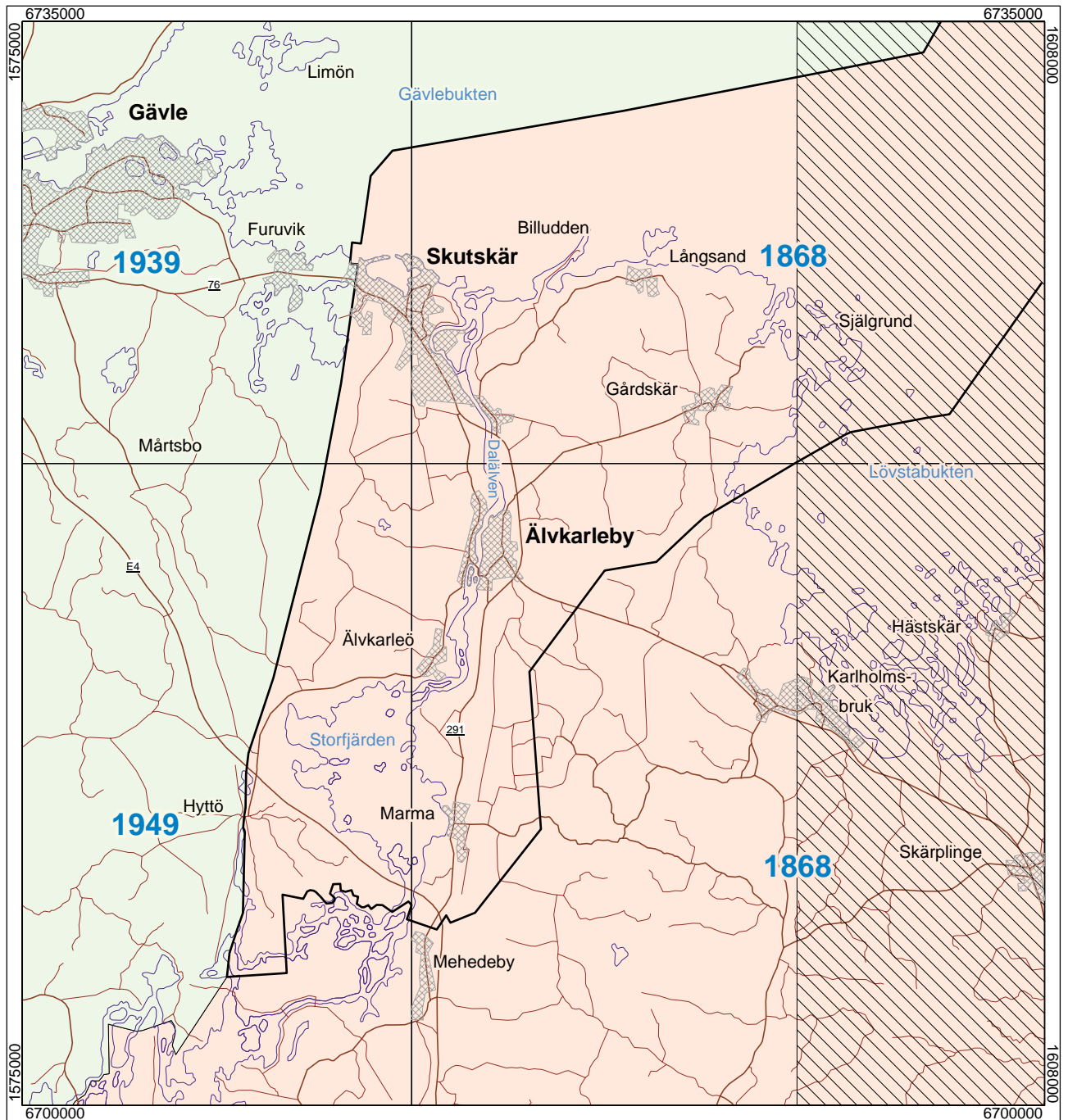


- Moderna jordartskartor
- Äldre kombinerade jordarts- och berggrundskartor

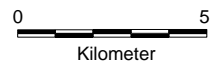


SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Figur 3-1. Befintliga jordartskartor.



- Länskarta 1:200 000, Lundegårdh 1966
- Länskarta 1:250 000, Söderholm m.fl. 1983
- PÖB Uppsala 1:250 000, Persson & Stålhös 1991
- 1949** Aa-kartor 1:50 000



Figur 3-2. Befintliga berggrundskartor.

Uppgifterna om malm- och nyttostensförekomster härrör huvudsakligen från SGUs kartor och publikationer samt från Länsstyrelsen i Uppsala län (täktdata). Information rörande Gävleborgs län har också hämtats från Statens industriverk (SIND, 1980). I SGUs sk Georegister finns information om bland annat mineraljaksfynd. Uppgifter om inmutningar kommer från Bergsstaten via SGUs Mineralkontor i Malå.

3.3 Geofysisk information

Med geofysisk information avses här data från flygburna mätningar samt tyngdkraftsmätningar och höjdinformation (topografiska data). Informationen har framför allt använts för att identifiera deformationszoner. I vissa fall har geofysisk information, i kombination med begränsade fältkontroller, även nyttjats för att revidera befintliga berggrundsgeologiska kartor. Slutligen har strålningsmätningar använts för att bedöma markradonpotential och berggrundens radiuminnehåll.

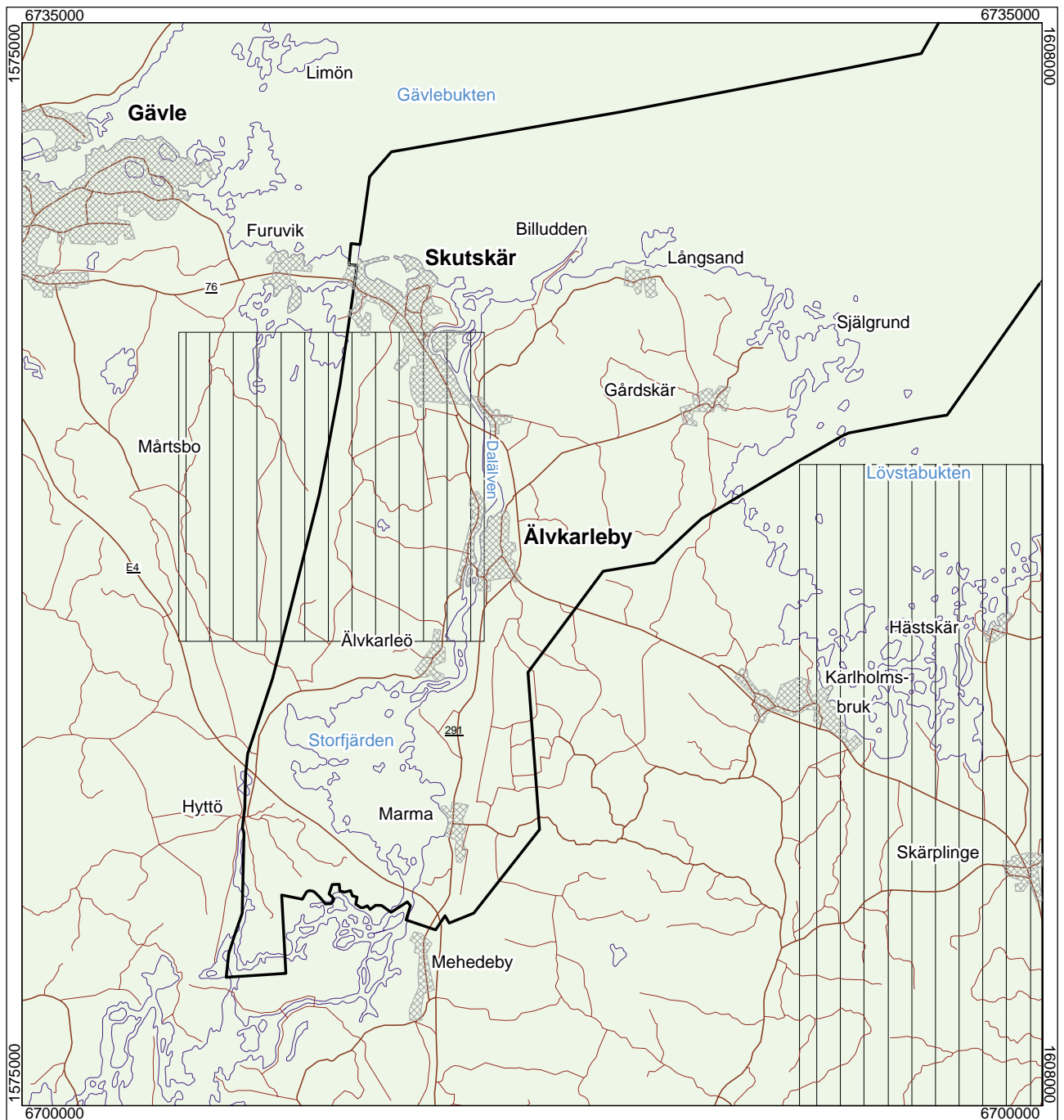
Flyggeofysisk information

Flygburna geofysiska mätningar utförs för att registrera variationer i jordens magnetfält, elektriska egenskaper och den naturliga gammastrålningen. Resultaten används bland annat vid kartering av berggrunden och vid prospektering efter värdefulla mineral. Som framgår av Figur 3-3 finns information från flygburna mätningar över hela området. Utöver SGUs ordinarie kartbladsvisa mätningar finns, inom två områden, mätningar utförda av Boliden AB.

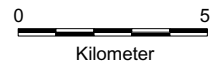
Magnetiska mätningar visar lokala variationer i jordens magnetfält. Dessa variationer återspeglar halten av magnetiska mineral, främst magnetit, i berggrunden. Eftersom olika bergarter ofta skiljer sig vad beträffar magnetit halt är magnetiska mätningar ett utmärkt hjälpmedel vid berggrundskartering. Genom att tolka magnetiska anomalier och anomalmönster erhålles också strukturgeologisk information.

Elektromagnetiska mätningar bygger på principen att ett elektromagnetiskt fält från en sändare, primärfältet, genom induktion ger upphov till elektriska strömmar i elektriskt ledande kroppar. Dessa strömmar ger i sin tur upphov till ett nytt elektromagnetiskt fält, sekundärfältet. Genom att mäta variationer i sekundärfältet kan elektriska ledare i berggrunden kartläggas. Dessa ledare utgörs vanligen av elektriskt ledande bergartsled (exempelvis grafitförande bergarter), kroppar med förhöjd halt av metalliska mineral eller av vatten- eller lermineralförande sprickzoner.

Gammastrålning är en elektromagnetisk strålning som avges vid sönderfall av instabila atomkärnor. I vår omgivning förekommer naturligt gammastrålning (radioaktiva) isotoper av kalium, uran och torium. Mätning av naturlig gammastrålning ger därför information om halten av dessa element i det översta skiktet av berggrunden (om den är blottad) eller i de lösa avlagringarna. Mätningarna ger också information om radioaktivt nedfall där cesium-137 från reaktorhaveriet i Tjernobyl är det mest aktuella exemplet.



- Mätning utförd av SGU (hela området)
- Mätning utförd av Boliden AB



SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Figur 3-3. Flygburna geofysiska mätningar.

Tyngdkraftsmätningar

Mätningar av jordens dragningskraft, så kallade tyngdkraftsmätningar, ger information om berggrundens densitet (täthet). Därigenom kan tyngre bergarter skiljas från lättare. Tyngdkraftsmätningar är också ett bra hjälpmedel för att studera lättare eller tyngre bergarters utbredning mot djupet. Exempelvis kan modellberäkningar av en granitkroppens utbredning mot djupet göras, förutsatt att dess densitet skiljer sig från omgivningens. Täckningen inom undersökningsområdet är relativt god med undantag av havsområdet. Figur 6-4 visar tyngdkraften och fördelningen av mätstationer. Mätningarna har i detta skede endast tolkats kvalitativt.

Topografiska data

Genom att studera höjdinformation, även kallad terrängmodellen, erhålls viktig information i flera avseenden. Terrängmodellen visar var det finns hög- respektive låglänta områden, samt var terrängen är flack, mjukt kuperad eller starkt bruten. Denna grundläggande information ger i sin tur information om bland annat hydrologiska förhållanden (dräneringsmönster) och sprickzoner. Sprickzoner återspeglas ofta i terrängen som mer eller mindre uthålliga branter, dalgångar eller raviner.

Lantmäteriet tillhandahåller över hela landet digitala höjddata i kvadratiska mätpunkter med 50, 200 och 500 m upplösning. I detta projekt har data med 50 m upplösning använts. Höjddata har inom havsområdet kompletterats med digitala djupkurvor från Sjöfartsverket.

3.4 Övriga undersökningar av särskilt intresse

I det befintliga underlagsmaterialet finns ett antal undersökningar som är av särskilt intresse och som direkt berör Älvkarleby kommun. Dit hör en översiktlig studie av Uppsala län (Antal m fl, 1998) och SKBs förstudie av Tierps kommun (Bergman m fl, 1999).

Studien av Uppsala län är en sammanställning av befintlig information och har, tillsammans med andra länsstudier, gett en regional översikt som bakgrund och jämförelsematerial till förstudierna i kommunskalet. Hela det nu aktuella undersökningsområdet har tidigare behandlats inom ramen för förstudien av Tierps kommun. Fördjupningar i form av t ex fältbesök inriktades dock i detta sammanhang på att närmare klarlägga de geologiska förhållandena i den då aktuella kommunen.

Av särskilt intresse är också de detaljerade arbeten som gjorts inom SKBs typområde Finnsjön samt inför anläggningen av Forsmarksverket och SFR. Dessa undersökningar är särskilt intressanta eftersom de har utförts med syfte att, som i Finnsjön, få fältdata till en säkerhetsanalys (KBS-1) för ett djupförvar. Eller, som i fallet SFR, få data inför en verklig lokalisering av ett förvar för radioaktivt avfall, om än på mindre djup och för låg- och medelaktivt, kortlivat avfall. Även inför anläggningen av Forsmarks kärnkraftverk var exempelvis berggrundens stabilitet och förekomst av regionala sprickzoner viktiga frågor. Undersökningarna har därför fokuserats på just sådana faktorer som är betydelsefulla när det gäller att bedöma förutsättningarna för att anlägga ett djupförvar. Det är dessutom endast i samband med dessa studier som borrhning till större djup utförts.

De ovan nämnda detaljundersökningarna har samtliga gjorts utanför Älvkarleby kommun, men den kunskap om berggrunden i en nära omgivning, och i samma geologiska miljö, som erhållits är ändå mycket värdefull. Kunskapen kan, dock med försiktighet, appliceras på berggrunden inom kommunen.

3.5 Informationstäthet och kvalitet

Den befintliga informationen inom undersökningsområdet är högst varierande såväl när det gäller tätheten av observationer och mätningar som ålder och delvis också kvalitet. I många fall är de bedömningar som presenteras i utredningen baserade på ett otillfredsställande underlag och måste därför användas med extra stor försiktighet.

Moderna jordartskartor täcker endast en mindre del av undersökningsområdet och endast en obetydlig del av själva kommunen. För huvuddelen av undersökningsområdet är jordartskartorna gamla och särskilt utbredningen av våtmarker är inaktuell. Kartorna har dock i någon mån kunnat revideras i detta avseende med hjälp av bl a flygbilder och geofysiska data. Med våtmark menas i detta fall områden som täcks av organiska jordarter som t ex torv.

Modern berggrundsgeologisk kartläggning saknas och de befintliga kartorna är gamla och översiktliga. Information om berggrundens strukturella karaktär och homogenitet samt mätningar av planstrukturer och observationer av kraftigt deformerade bergarter är därför mycket sparsam. Eftersom blottningsgraden är mycket låg måste den äldre kartering som gjorts, utan stöd av flyggeofysiska mätningar, betraktas som mindre tillförlitlig.

Flyggeofysiska och topografiska data finns numera över hela undersökningsområdet. Tyngdkraftsmätningar täcker också hela området, även om antalet mätstationer är få inom havsområdet.

Kommunens havsområde är av naturliga skäl mindre väl undersökt. Den information som finns är flyggeofysiska mätningar och topografiska data (djupkurvor). Elektromagnetiska mätningar och strålningsmätningar ger däremot ingen information från havsområdet. En mycket översiktlig geologisk karta över havsområdet har presenterats av Ahlberg (1986).

4 Älvkarleby kommun i ett regionalgeologiskt sammanhang

I detta kapitel presenteras, som bakgrund till beskrivningen av kommunens geologi, en regionalgeologisk översikt över Sverige. Översikten omfattar mer än 2 500 miljoner år och sträcker sig fram till och med den senaste geologiska perioden, kvartärtiden, som började för ca två miljoner år sedan och utmärks av återkommande istider. Tyngdpunkten har lagts på det tektoniska perspektivet. Med tektonik menas den geologiska delvetenskap som behandlar den storskaliga uppbyggnaden av jordklotets yttre skikt (jordskorpan). Termen innefattar geologiska processer och strukturer relaterade till rörelser i berggrunden. I den sista delen av detta kapitel placeras Älvkarleby kommun i ett nationellt perspektiv.

4.1 Kontinenternas rörelser

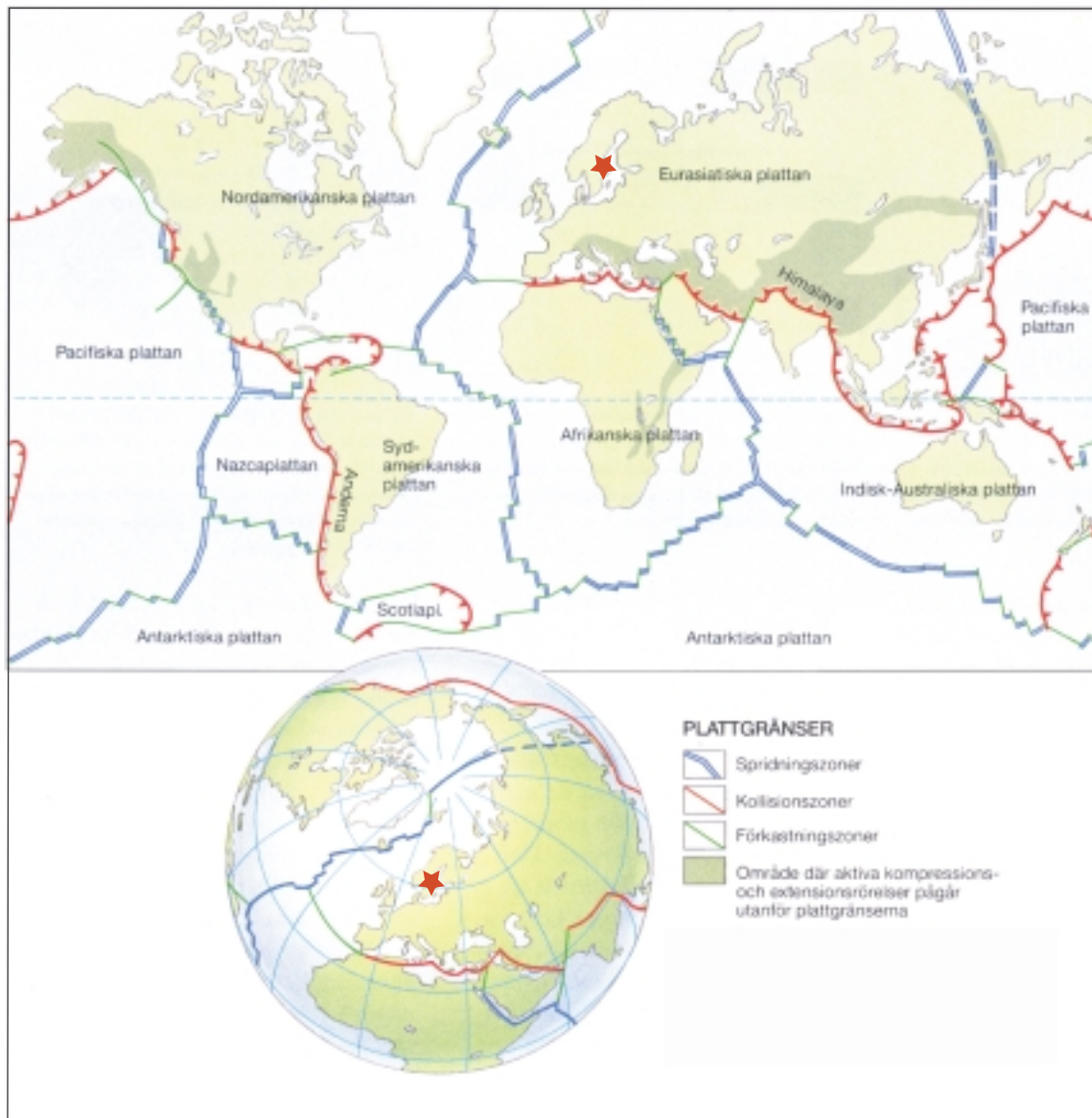
Jordskorpan är normalt 35–50 km tjock under kontinenterna och upp till 11 km tjock under oceanerna. Den är inte sammanhängande utan är tillsammans med den övre delen av manteln uppdelad i ett antal plattor, se Figur 4-1. Dessa plattor ”flyter” på den undre, delvis uppsmälta, manteln och rör sig i förhållande till varandra med en hastighet som uppgår till några centimeter per år. Rörelserna leder till att en kontinent kan kollidera med en ocean eller med en annan kontinent. En kontinent kan också spricka upp i två delar som glider isär. På så sätt bildas en ny ocean. Jordbävningar och vulkanutbrott förekommer företrädesvis i anslutning till plattgränserna.

En följd av plattornas rörelser är att också vårt landområde rört sig över jordklotet under den långa tidsrymd som förflutit sedan jorden bildades. Ett exempel på effekter av sådana rörelser är raukarna på Gotland, vilka utgör rester av gamla korallrev som bildades för ca 400 miljoner år sedan när ”Sverige” befann sig nära ekvatorn. Ett annat exempel på effekter av kontinenternas vandring är spår av nedisning i nuvarande Saharaöknen.

Särskilt i samband med plattkollisioner deformerar och omvandlas bergarterna kraftigt. Bergarter som utsätts för deformation på stort djup och under hög temperatur deformerar plastiskt, d v s de beter sig som en trögflytande massa. Detta ger upphov till en mer eller mindre genomgripande deformation som dock i vissa fall koncentreras till s k plastiska skjivzoner. På högre nivåer i jordskorpan, där temperaturen är lägre, deformerar bergarterna sprött (genom uppsprickning), vilket ger upphov till sprickor, sprickzoner och förkastningar. Termen förkastning används för sprickor eller sprickzoner längs vilka rörelser har skett parallellt med zonen. Zoner längs vilka deformationen i berggrunden är kraftigare än i omgivningen kallas med ett gemensamt namn för deformationszoner och är av speciell betydelse vid val av plats för ett djupförvar.

Plattkollision, bergskedjebildning (orogenes) och tillväxt av kontinenter

Tillväxt av kontinenter sker huvudsakligen genom att bergartssmältor, s k magmor, stiger från djupare delar av jordskorpan för att sedan på en högre nivå kristallisera till bergarter. Sådan magmatisk aktivitet präglar idag randzonen till några kontinenter där plattor



Figur 4-1. Jordklotets viktigare, nu aktuella plattor och plattgränser. Efter Wikström (1994). Sverige ligger inom den Eurasiatiska plattan långt öster om den mittatlantiska ryggen där de Eurasiatiska och Nordamerikanska plattorna glider isär; och på stort avstånd från en aktiv plattkollisionszon i södra Europa.

uppbyggda av kontinental och oceanisk jordskorpa kolliderar. Tillväxt kan också ske när två kontinenter som följd av de plattetektoniska rörelserna kolliderar och slås samman.

Dessa storskaliga processer utmärker vad som inom den geologiska terminologin kallas för orogenes eller bergskedjebildning. Områden som berörs av en orogenes kallas för orogener eller orogena bälten. De orogena processerna pågår vanligtvis under flera tiotals till hundratals miljoner år och jordskorpan inom det orogena bältet är under denna period mycket instabil. Exempel på områden där orogena processer pågår idag är bergskedjebildningen i Anderna som är ett resultat av en kollision mellan en kontinent (Sydamerika) och en ocean (Stilla Havet), och i Himalaya som är en produkt av att en kontinent (Indien) kolliderar med en annan (Asien). Kollisionen i Himalaya började för ca 65 miljoner år sedan och pågår fortfarande.

Efter hand som de orogena processerna upphör bildas en mer stabil jordskorpa, en skraton, som då även kan omfatta äldre orogena bälten. Större delen av Sverige tillhör en gammal kraton vilken kallas den fennoskandiska skölden eller urberget, och som huvudsakligen är uppbyggd av prekambrisk bergarter (äldre än 545 miljoner år). Inom begränsade områden täcks urberget av ett tunt täcke av fossilförande, fanerozoiska bergarter (yngre än 545 miljoner år). En successivt pågående upplyftning och erosion av jordskorpan leder till att bergarter som en gång bildades och/eller omvandlades djupt ner i jordskorpan, idag kan utgöra den exponerade berggrundsytan.

Kontinentuppsprickning och bildning av en ny ocean

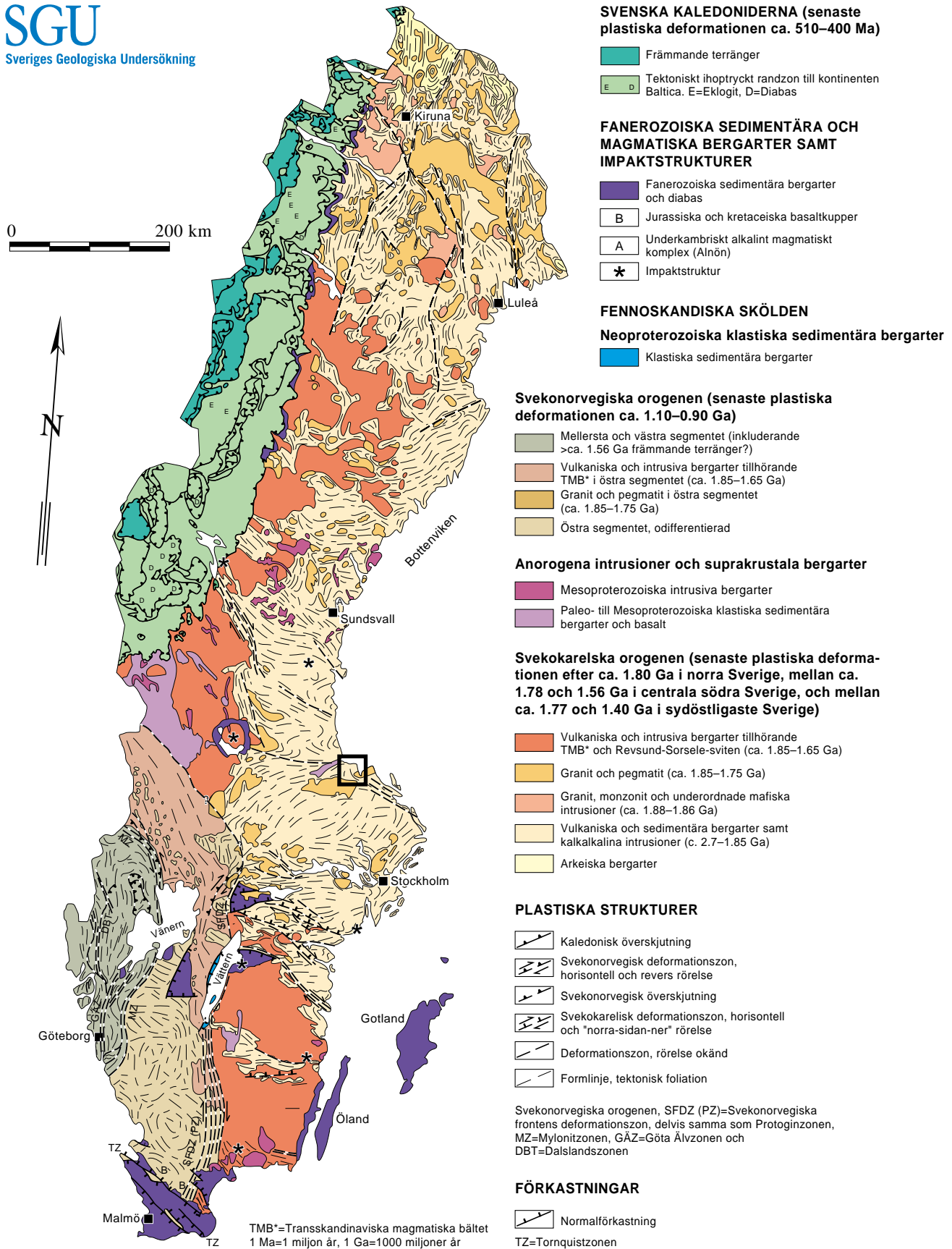
Ett annat tektoniskt scenario är när en stor kontinent förtunnas och spricker upp. En långtgående sådan process innebär att "kontinentfragment" glider ifrån varandra och ny ocean bildas mellan "fragmenten". Kontinentuppsprickning karakteriseras av vulkanism och förkastningsrörelser relaterade till förtunningen av jordskorpan.

Vid i stort sett samma tidpunkt som Indien började att kollidera med den asiatiska kontinenten, startade uppsprickningen och isärglidningen av den stora kontinent i vilken "Nordamerika" och "Europa" bildade viktiga komponenter. Så småningom ledde dessa processer till bildandet av en ny ocean (Nordatlanten). Gränsen mellan plattorna, där isärglidningen fortfarande pågår med en hastighet av ca 2 cm/år, kallas den mittatlantiska ryggen. Island ligger på den norra delen av denna rygg.

4.2 Regional tektonisk utveckling i Sverige

Bergskedjebildningar och etablering av en plan urbergsyta

Merparten av Sveriges berggrund kan hänföras till tre olika orogener (Stephens m fl, 1994), se Figur 4-2. Den äldsta är den svekokarelska orogenen i östra Sverige. Den näst äldsta, den svekonorvegiska orogenen, har sin utbredning i sydvästra delen av landet och den yngsta, den kaledoniska orogenen, i nordväst. Större delen av den skandinaviska fjällkedjan tillhör den kaledoniska orogenen. De tre orogenerna ligger samtliga väster om, men har delvis påverkat, en ännu äldre (mer än 2 500 miljoner år) kontinentkärna som exponeras i den nordligaste delen av Sverige samt i Finland, Norge och Ryssland. Den slutliga kratoniseringen, dvs stabiliseringen av jordskorpan efter det att de orogena processerna upphört, skedde i östra Sverige för ca 1 600 miljoner år sedan, i sydväst för ca 900 miljoner år sedan och i den nordvästra delen av landet för ca 400 miljoner år sedan.



Figur 4-2. Tektoniska enheter i den svenska berggrunden. Modifierad efter Stephens m fl (1994). Rektangeln visar undersökningsområdet.

Sedan de orogena bältena stabiliserats har de dock påverkats av ett flertal tektoniska skeenden och magmaintrusioner, av vilka de viktigaste är:

1. Injektion av magma, delvis i samband med kontinental uppsprickning, under ett flertal perioder, bl a för ca 1 600–1 400, 1 250–1 200, 700–600, 300–275 och 165–130 miljoner år sedan.
2. Avsättning av ett upp till 2 km tjockt, fossilförande sedimenttäckte, yngre än ca 545 miljoner år, på en kraftigt nederoderad och plan urbergssyta, det s k subkambriska peneplanet.
3. Bildandet av sprickor, sprickzoner och förkastningar. Några av dessa har varit aktiva senare än för ca 545 miljoner år sedan och har stört det subkambriska peneplanet. Relationen mellan dessa strukturer och vissa tektoniska skeenden i jordskorpan utveckling är i de flesta fall mycket svårbestämd.
4. Bildning av ett flertal runda strukturer efter meteoritnedslag från perioden 545–70 miljoner år sedan.

Det subkambriska peneplanet bildades under den senare delen av prekambrisk tid, för ca 700–545 miljoner år sedan, när det svenska urberget påverkades av upplyftning och erosion, vilket skapade en plan urbergssyta (se även Kapitel 4.3, Figur 4-5). Denna urbergssyta och andra liknande erosionsytor (t ex Lidmar-Bergström, 1993, 1994, 1996) utgör viktiga hjälpmedel för att tidsbestämma senare rörelser i jordskorpan. Rörelser som påverkat det subkambriska peneplanet är yngre än ca 700–545 miljoner år.

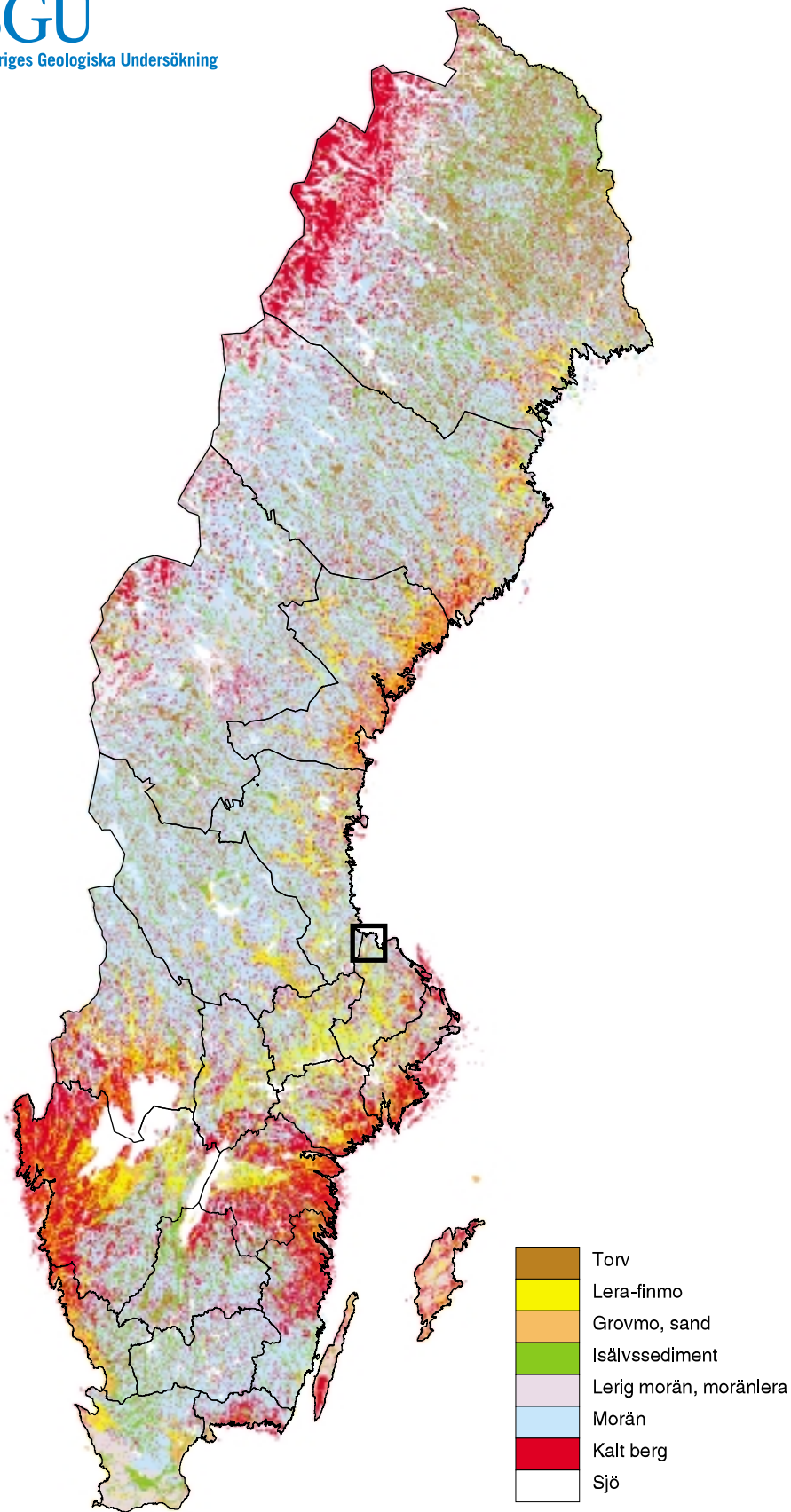
Nedisningar, postglacial utveckling och framtida klimatförändringar

Den yngsta perioden i jordens utvecklingshistoria, kvartärtiden, omfattar de senaste ca två miljoner åren och kännetecknas av ett kallt klimat (Lindström m fl, 1991). Delar av bl a norra Europa, inklusive Sverige, har flera gånger under denna period täckts av landisar. Redan för 15–10 miljoner år sedan skedde en markant klimatförsämring och temperaturen föll, samtidigt som svängningarna mellan kallare och varmare perioder blev allt mer markanta. Detta mönster tilltog sedan under kvartärtiden. Den senaste istiden, Weichselistiden, inleddes för ca 115 000 år sedan. För ca 20 000 år sedan var landisen som mäktigast och täckte hela Skandinavien. Enligt matematiska glaciologiska modeller var isen då 2–2,5 km mäktig (Boulton, 1985; Holmlund, 1993). Kortare perioder då iskanten drog sig tillbaka, s k interstadialer, har också förekommit under Weichselistiden.

Isen och smältvattnet från isen avsatte flertalet av de jordarter, t ex morän och isälvssediment, som förekommer i Sverige, se Figur 4-3. En del jordarter har dock bildats efter landisens avsmältning och bildas fortfarande. Sand och lera avsätts utmed vattendrag, lera och gytta bildas i sjöar, och torv bildas genom att växter dör och förmultnar på platsen.

I samband med isavsmältningen började den av isen kraftigt nedtryckta jordskorpan att höja sig, först snabbt och sedan i allt långsammare takt, en rörelse som fortfarande pågår. Kraftigare s k sen- eller postglaciala rörelser, som gav upphov till större jordskalv, utlöstes däremot främst i samband med själva isavsmältningen eller kort därefter.

Analyser av borrhärlor från inlandsisen i Antarktis har nyligen presenterats av ett internationellt forskarlag. Resultaten är entydiga och ger en unik insikt i hur jordens klimat skiftat under de senaste 420 000 åren (Petit m fl, 1999). Det mest slående är hur regelbundna svängningarna varit mellan kalla och varma perioder. Dessa undersökningar visar



Figur 4-3. Jordartskarta över Sverige. Efter Jonasson 1996. Rektangeln visar undersökningsområdet.

att klimatet styrs av jordens position i förhållande till solen, vilket förklarar den strikta periodiciteten i klimatets skiftningar. Genom att beräkna framtida variationer i jordens bana är det därför möjligt att göra vissa förutsägelser om klimatet i framtiden (se även Boulton, 1991).

Enligt Boulton och Payne (1992) kan en väsentlig tillväxt av glaciärer i fjällkedjan förväntas om ca 6 000 år och istäcket skulle få sin maximala utbredning om ca 70 000 år, med isfronten liggande i Skåne. De studier som gjorts (Mörner, 1972; Boulton och Payne, 1992) visar att flera forskare förutser större kallfaser om 15 000 till 35 000 år och 54 000 till 70 000 år. I beräkningarna och spekulationerna bortses från mänsklig påverkan av förloppen. Den pågående meteorologiska forskningen visar att klimatet under de närmast kommande årtusendena sannolikt kommer att påverkas av växthuseffekten. Hur detta eventuellt förändrar de långsiktiga naturliga förlopp som nämnts ovan är däremot inte klarlagt.

4.3 Deformationszoner från 1 850 miljoner år sedan till nutid

4.3.1 Plastisk deformation

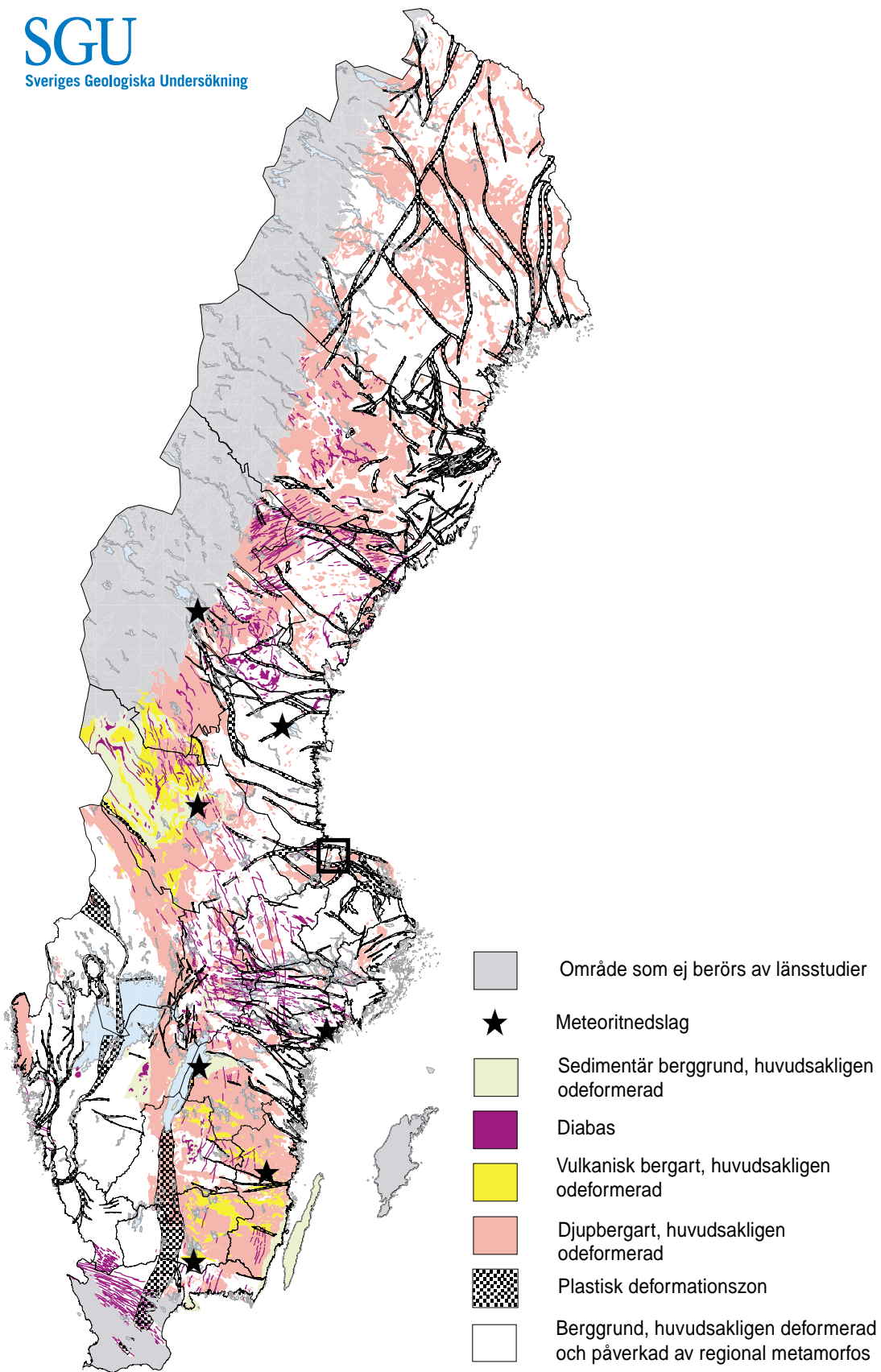
Plastiska deformationszoner har anlagts under de orogeneser (bergskedjebildningar) som bildat de olika orogenerna. Beskrivningen görs utifrån kartan över tektoniska enheter, se Figur 4-2, samt en sammanställning av plastiska deformationszoner inom den prekambryska berggrunden i Sverige, se Figur 4-4.

Svekokarelska orogenen

I norra Sverige utgörs den svekokarelska orogenen av bergarter som är ca 1 960–1 800 miljoner år gamla. Allra längst i norr finns också bergarter tillhörande den gamla kontinentkärnan (äldre än ca 2 500 miljoner år) samt bergarter med åldrar mellan ca 2 500 och 1 960 miljoner år. Formlinjerna, som markerar den regionala trenden för plastiska planstrukturer (exempelvis berggrundens förskiffring eller gnejsighet), varierar kraftigt i riktning. Ett flertal plastiska skjuvzoner stryker i riktning NV, N-S till NNO och ONO. De flesta av dessa zoner har brant stupning och går att följa 100–200 km i strykningsriktningen.

Längre söderut utgörs den svekokarelska orogenen huvudsakligen av bergarter med åldrar på ca 1 900–1 750 miljoner år. Planstrukturer i bergarter som bildades för ca 1 900–1 850 miljoner år sedan har senare omställts i samband med storskalig veckning och bildandet av brantstupande plastiska skjuvzoner orienterade i riktning NV till O-V. Zonerna kan oftast följas minst 100 km och vissa är mer än 10 km breda. Ett exempel på en NV-lig zon finns mellan Östhammar och Skärplinge i norra Uppland, den så kallade Singö-skjuvzonen, medan ett system av skjuvzoner med O-V-lig orientering kan följas från trakten av Oskarshamn och västerut.

Den exakta åldern på den plastiska deformationen inom dessa skjuvzoner är ej känd. Baserat på åldersbestämningar av bergarter vilka är opåverkade av deformationen, tolkas den som äldre än ca 1 560 miljoner år i den centrala delen av Sverige, och äldre än ca 1 450 miljoner år i den södra delen av landet. Sannolikt anlades de plastiska deformationszonerna huvudsakligen för ca 1 850–1 750 miljoner år sedan, men många zoner har



Figur 4-4. Regionala plastiska deformationszoner i Sveriges urberg. Rektangeln visar undersökningsområdet.

senare reaktiverats under spröda förhållanden. En rörelse där det södra blocket har rört sig åt väster eller uppåt och åt väster i förhållande till det norra blocket har konstaterats i flera plastiska skjuvzoner i de södra och centrala delarna av den svekokarelska orogenen (Skjernaa, 1992; Stephens och Wahlgren, 1993; Bergman och Sjöström 1994; Talbot och Sokoutis 1995; Beunk m fl, 1996).

Svekonorvegiska orogenen

Huvuddelen av bergarterna inom den svekonorvegiska orogenen bildades för ca 1 700–1 590 miljoner år sedan. Framför allt väster om Vänern hade bergarterna för ca 1 580 miljoner år sedan blivit deformerade och omvandlade under den gotiska orogenesen. Bergarterna påverkades sedan av ytterligare deformation och omvandling under den svekonorvegiska orogenesen för ca 1 100–900 miljoner år sedan.

Inom den svekonorvegiska orogenen uppträder ett stort antal ungefärligen N-S-liga plastiska skjuvzoner, där åtminstone den sista rörelsen har skett för ca 1 000–900 miljoner år sedan. Dessa zoner bildar en stor vinkel mot de svekokarelska skjuvzonerna i öster. Ett bälte av plastiska deformationszoner utgör den östra begränsningen av den svekonorvegiska orogenen. Söder om Vättern är detta bälte flera tiotals kilometer brett och benämns traditionellt "Protoginzonen". Zonerna i bältet domineras av vertikalrörelser och berggrunden på den västra sidan av respektive zon har rört sig uppåt och åt öster i förhållande till berggrunden på den östra sidan (Park m fl, 1991; Wahlgren m fl, 1994). Horisontella rörelser, d v s rörelser parallellt med strykningsriktningen, har dock konstaterats inom flera av de svekonorvegiska plastiska skjuvzonerna. Detta gäller exempelvis "Mylonitzonen" som sträcker sig genom Vänern (Stephens m fl, 1996).

Kaledoniska orogenen

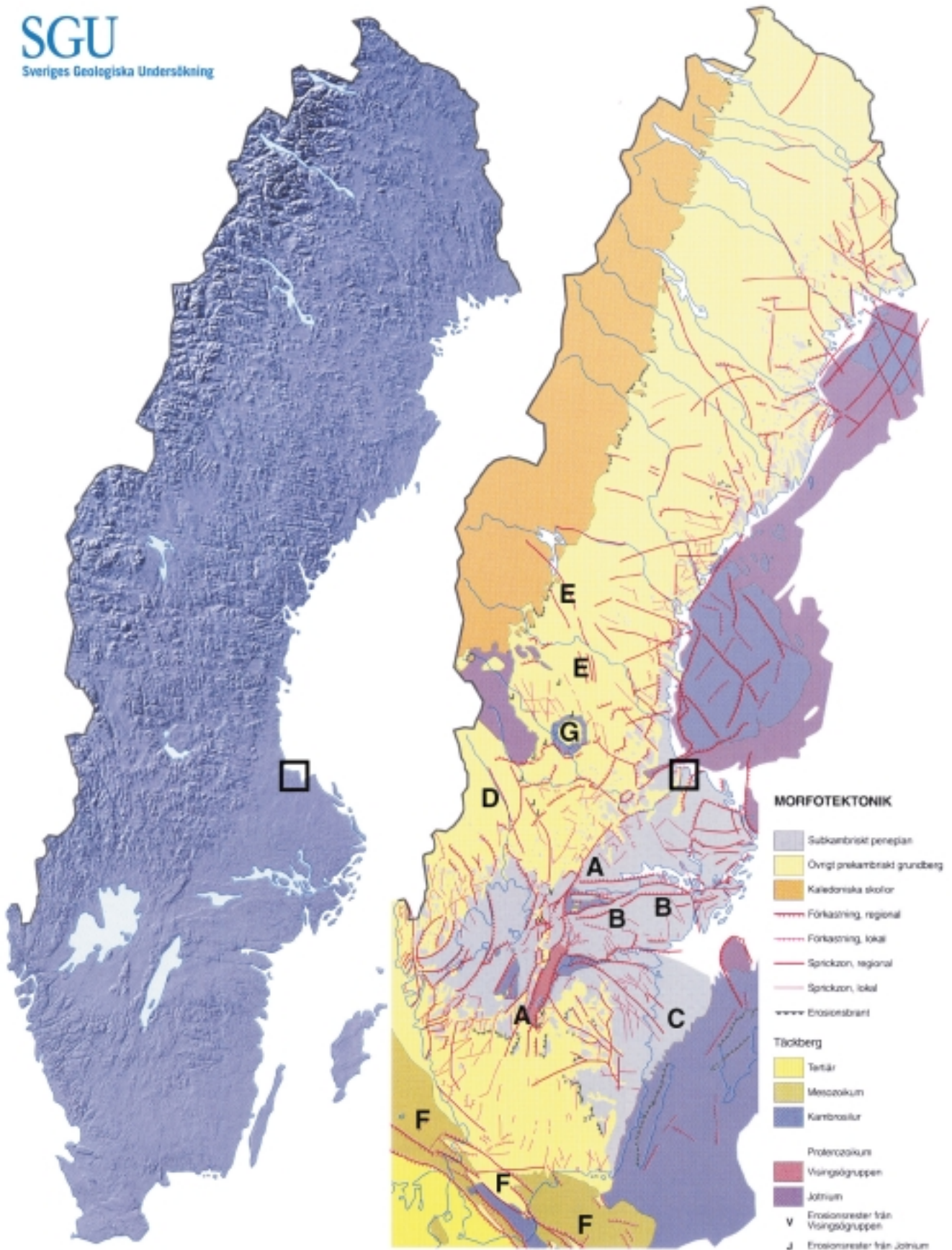
Den kaledoniska orogenen i nordvästra Sverige motsvarar i princip den svenska fjällkedjan. Deformation och omvandling ägde rum för ca 510–400 miljoner år sedan och påverkade både äldre bergarter och de bergarter som bildades i samband med själva orogenesen.

De dominerande strukturerna inom detta område är flackt liggande deformationszoner som skiljer stora berggrundspaket (skollor) från varandra. Utefter dessa zoner har ursprungligen lägre belägna bergartsenheter skjutits upp över vad som ursprungligen var högre belägna enheter. Detta kallas inom den geologiska terminologin för "överskjutningar". Skollorna har i många fall transporterats flera hundratals kilometer åt OSO upp på varandra och har även påverkats av storskalig veckning.

4.3.2 Spröd deformation

Spröda deformationszoner har anlagts antingen i ett sent skede av en orogenes, när jordskorpan börjat stabiliseras, eller efter det att de orogena processerna upphört. Den spröda tektoniken är därför inte på ett enkelt sätt relaterad till respektive orogenes och spröda deformationszoner kan även övertvåra flera orogener. Nedanstående beskrivning av spröda deformationszoner görs utifrån Figur 4-5 som visar relief och regionala sprickzoner/förkastningar samt bl a utbredningen av det subkambriska peneplanet.

Ett större förkastningssystem i riktning NNO kan följas mer eller mindre kontinuerligt från sydväst om Vättern via Kilsbergen till södra norrlandskusten (A i Figur 4-5). De flesta av dessa förkastningar är yngre än ca 400 miljoner år. Rörelser som skett för ca



Figur 4-5. Sverigekarta som visar relief (till vänster) och några regionala sprickzoner/förkastningar (till höger). Efter Lidmar-Bergström (1994). Rektangeln visar undersökningsområdet. A-G refereras till i texten.

800–700 miljoner år sedan har dock påvisats längs Vättern. I området öster om Vättern-Kilsbergen förekommer ett flertal förkastningar i riktning O-V till ONO, varav många varit aktiva för ca 400 miljoner år sedan eller senare. Dessa förkastningar begränsar ett större uppskjutet berggrundsblock mellan Linköping och Örebro (B i Figur 4-5). Många av de yngre förkastningarna följer äldre plastiska skjuvzoner (t ex Loftahammarförkastningen norr om Västervik; C i Figur 4-5, jfr Figur 4-4).

Väster om Vättern förekommer ett flertal förkastningar vilka ändrar riktning från NO i söder till NNV i norr. Klarälvens dalgång (D i Figur 4-5) följer en förkastning som fortsätter in i Norge där den klipper skollorna i den kaledoniska orogenen. Även denna förkastning har således varit aktiv för ca 400 miljoner år sedan eller senare. Förkastningssystemet som kan följas från Edsbyn i söder i NNV-lig riktning till Storsjön i norr (E i Figur 4-5), följer en äldre plastisk skjuvzon, jfr Figur 4-4 och 4-5.

I sydligaste Sverige finns övergången mellan de äldre prekambriiska bergarterna (äldre än ca 545 miljoner år) i norra Europa och de yngre sedimentära bergarterna som dominerar i Centraleuropa. Övergången utgörs av en komplex zon med förkastningar orienterade i NV (F i Figur 4-5) och unga magmatiska bergarter vilka är ca 300–275 och 165–130 miljoner år gamla (Bergström m fl, 1992). Förkastningarna utgör en del av den s k Tornquistzonen som sträcker sig från Nordsjön i nordväst till Svarta havet i sydost.

Tornquistzonen är en av Europas mest tydliga deformationszoner och har under de senaste 300 miljoner åren varit aktiv ett flertal gånger. Förkastningarna i sydligaste Sverige är förmodligen de yngsta deformationszoner som bildats i Sverige i samband med storskaliga tektoniska rörelser i jordskorpan.

4.3.3 Sen- eller postglaciala förkastningar

Väldokumenterade sen- eller postglaciala förkastningsrörelser, d v s rörelser som skett i samband med eller efter inlandsisens avsmältning, finns i norra Skandinavien och Finland (Lagerbäck, 1979; Bäckblom och Stanfors, 1989; Stanfors och Ericsson, 1993; Muir Wood, 1993), se Figur 4-6. Dessa rörelser utlöste kraftiga jordskalv för ca 9 000 år sedan. I de flesta fall har berggrunden på den östra sidan av de östligt stupande förkastningarna rört sig upp över berggrunden på den västra sidan (Lagerbäck, 1979, 1990). När effekterna av rörelserna studerats genom bl a grävning har det visat sig att de företrädesvis skett utefter äldre förkastningar, s k reaktivering (t ex Bäckblom och Stanfors, 1989; Stanfors och Ericsson, 1993).

Beträffande södra Sverige finns delade meningar om förekomsten av sen- eller postglaciala förkastningsrörelser. Några belagda rörelser i samma storleksordning som de i norra Skandinavien är inte kända. Däremot har vissa blockansamlingar, sprickor i berget och störningar i jordlagerföljder tolkats som resultat av kraftiga, sen- eller postglaciala rörelser i berggrunden (Mörner, 1979a, 1979b, 1989; Mörner m fl, 1989). Andra forskare är dock tveksamma till dessa tolkningar och hävdar att fenomenen kan vara orsakade av helt andra processer (SKB, 1990; Muir Wood, 1993). Exempel på sådana omdiskuterade företeelser är blockansamlingar vid Marma och Älvkarleö i Älvkarleby kommun samt en liknande blockansamling, Mehedeby gryt, i trakten av Mehedeby i Tierps kommun (Sjöberg, 1994).

4.3.4 Seismicitet och rörelse i berggrunden i historisk tid

Figur 4-7 visar en karta över epicentra och magnituder för registrerade jordskalv i Skandinavien och Finland under perioden 1 375–1 996. En nyligen genomförd undersökning av den seismiska aktiviteten i Sverige (Muir Wood, 1993) visar dock att fel på upp till 10–15 km kan förekomma när det gäller platsangivelsen för många av de jordskalv som registrerats. Osäkerhet råder också när det gäller djupangivelsen men huvuddelen av skalven har skett 10–20 km ner i jordskorpan.

Kartan illustrerar tydligt att Sverige utgör ett område med låg seismisk aktivitet jämfört med t ex området längs Norges västkust. Hela Skandinavien, inklusive Norges västkust, tillhör dock, i ett globalt perspektiv, ett mycket stabilt område. I Sverige förekommer en förhöjning av seismisk aktivitet i den sydvästra delen av landet, längs Norrlandskusten och i ett område i norra Norrbotten med fortsättning in i Finland och Norge. Lagerbäck (1979) konstaterar att det föreligger ett nära samband mellan sen- eller postglaciala förkastningar och seismisk aktivitet i Norrbotten. Muir Wood (1993) menar att en stor del av dagens seismiska aktivitet troligen kan kopplas till landhöjningen. Nya beräkningar visar mer entydigt att de stora sen- eller postglaciala förkastningszonerna i Norrbotten fortfarande är seismiskt aktiva (Arvidsson, 1996) och att den nutida seismiciteten i regionen till stor del är knuten till dessa zoner.

4.4 Meteoritkratrar

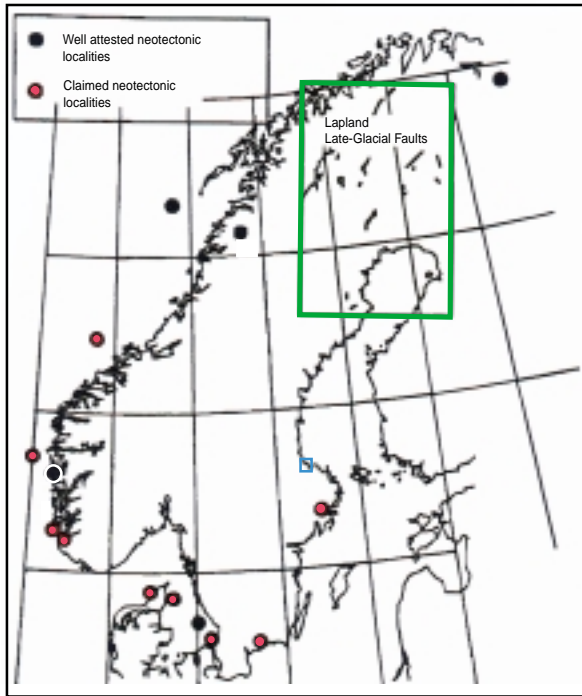
På flera ställen i Sverige förekommer mer eller mindre runda strukturer i berggrunden av storleksordningen 2–55 kilometer i diameter, vilka har tolkats som meteoritkratrar, s k impaktstrukturer, se Figur 4-2. De anses vara mellan 545 och 70 miljoner år gamla (Wickman, 1988; Henkel och Pesonen, 1992). Den bäst dokumenterade strukturen är Siljanstrukturen i Dalarna (Siljansringen), se G i Figur 4-5. Dokumentation av äldre meteoritnedslag saknas men detta beror inte på att nedslag inte skulle ha förekommit, utan på att spåren suddats ut till följd av senare tektoniska rörelser och erosion.

4.5 Malmprovinser

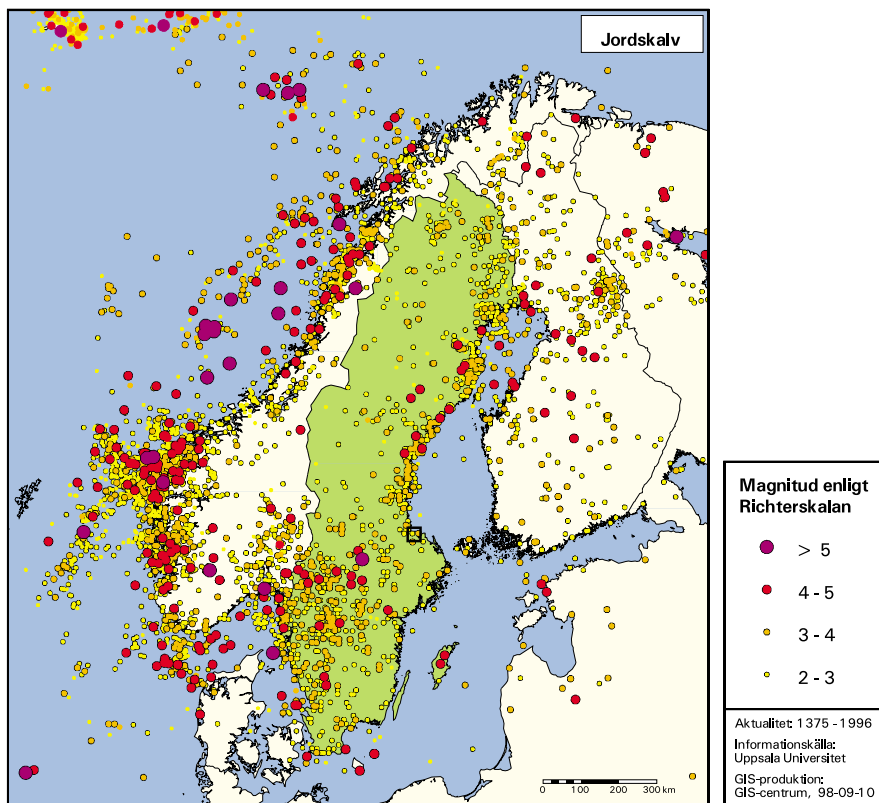
En malm är definitionsmässigt en mineralförekomst som kan brytas med ekonomisk vinning och ett malmfält är ett område inom vilket flera malmförekomster av samma typ uppträder. När flera malmfält täcker ett större landområde brukar man tala om en malmprovins. I Sveriges urberg finns tre betydande malmprovinser; Bergslagen i mellersta Sverige, Skelleftefältet i Västerbotten och de Norrbottniska malmfälten, se Figur 4-8.

Bergslagen är den historiskt sett mest betydelsefulla malmprovinsen och omfattar flera malmfält med sammanlagt flera hundra malmförekomster varav de flesta innehåller metallerna järn, zink, bly, koppar, silver och guld. Brytning av järn, koppar och silver har skett sedan medeltiden och när Falu koppargruva stängdes i början av 1990-talet avslutades en mer än 700-årig bearbetning av denna fyndighet.

Under det senaste århundradet har nya malmfält upptäckts och exploaterats i det svenska urberget. Hit hör de Norrbottniska malmfälten med bl a järnmalm i Kiruna och Malmberget samt kopparfyndigheten Aitik. I Aitik utvinns även guld och silver. Hit hör



Figur 4-6. Sen- eller postglaciala förkastningar i Skandinavien och Finland, vilka i figuren benämns neotektoniska förkastningar. Efter Muir Wood (1993). Förutom sen- eller postglaciala förkastningar i Lappland (rektangeln med grön färg) visar figuren väldokumenterade (svarta cirklar) och föreslagna men icke belagda (röda cirklar) områden med sådana förkastningar. Den blå rektangeln visar undersökningsområdet.



Figur 4-7. Jordskalv i Skandinavien och Finland 1375-1996. Data från Uppsala Universitet. Rektangeln visar undersökningsområdet.

också Skelleftefältet med sina förekomster av massiva och komplexa sulfidmalmer (koppar, zink, bly och guld) i metavulkaniska bergarter samt rena guldförekomster, vanligen i kvartsgångar.

Av de över 400 större gruvor som varit i drift i Sverige återstår idag bara 14 stycken, de flesta i Skelleftefältet. Medan antalet gruvor i drift under senare tid minskat drastiskt har dock den sammanlagda produktionen hela tiden ökat. I dag är malmprospekteringen fokuserad framför allt till Skelleftefältet och Norrbotten. Detta framgår också av att flertalet beviljade undersökningstillstånd, se Figur 4-8, ligger inom dessa områden.

4.6 Älvkarleby kommun i ett nationellt perspektiv

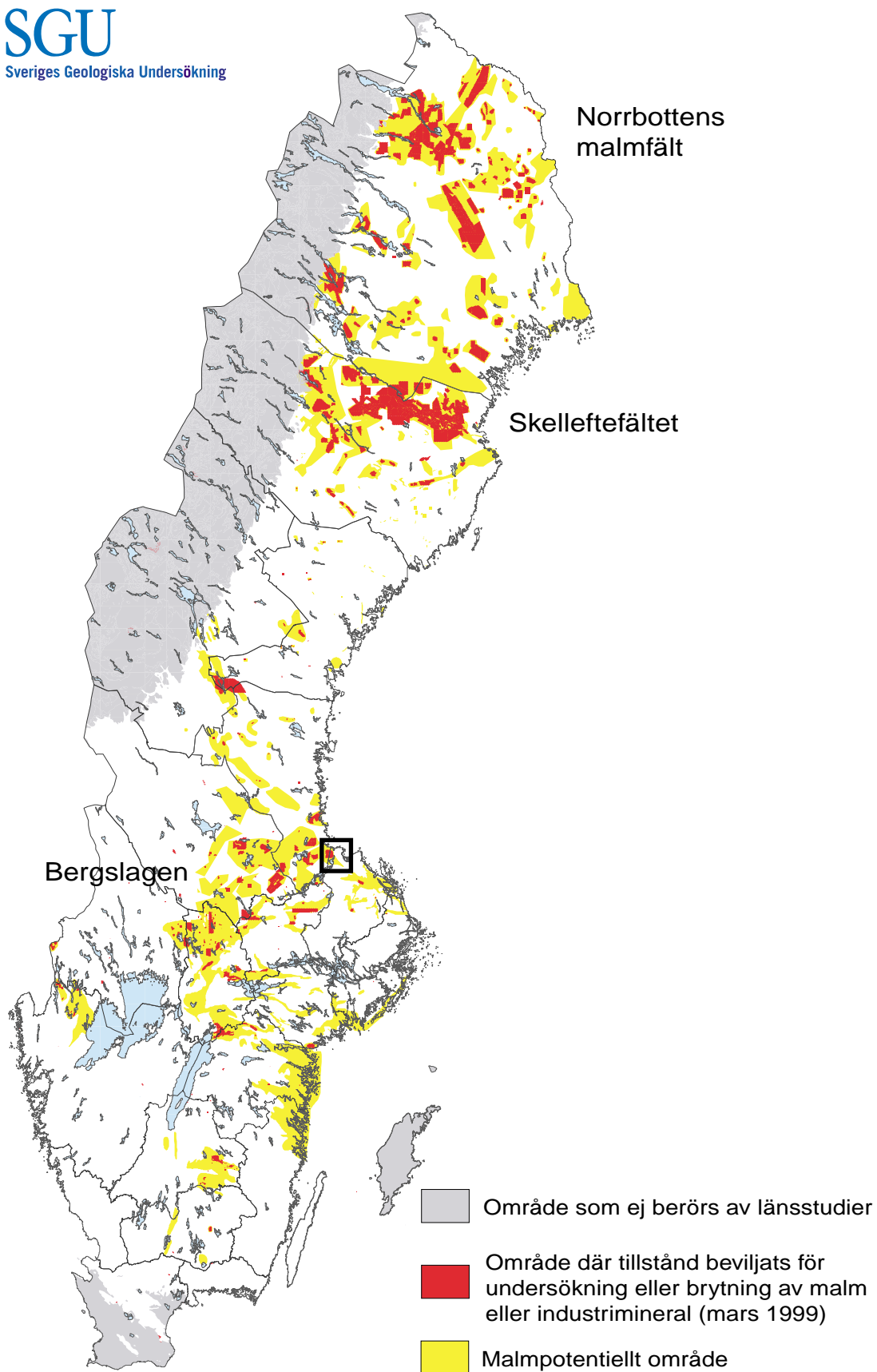
Den största delen av undersökningsområdet, dvs Älvkarleby kommun med omgivning, ligger inom den svekokarelska orogenen, se Figur 4-2. I området kring Gävle, i den nordvästra delen av området, förekommer dock sedimentära och magmatiska bergarter, vilka har bildats efter den svekokarelska bergskedjebildningen.

Berggrunden domineras av metagranitoider, gnejser samt yngre graniter. Prefixet “meta” anger att bergarten har genomgått omvandling (metamorfos), vilken vanligtvis också är associerad med förskifring och förgnejsning. Metagranitoiderna är ca 1 890 miljoner år gamla, medan de yngre graniterna är ca 1 800 och 1 780 miljoner år. Basiska djupbergarter och metavulkaniska bergarter förekommer väster om Dalälven. Alla dessa bergarter är vanligt förekommande i Sveriges urberg.

De metavulkaniska bergarterna är i vissa delar malmförande och tillhör den nordostligaste delen av Berglagens malmprovins, se Figur 4-8. I Älvkarleby kommun är det endast en enskild mindre järnmalm som brutits men mot sydost, i Tierps och Östhammars kommuner, finns ett stort antal äldre gruvor som brutits för sitt innehåll av järn, koppar och zink. I dag pågår malmprospektering i undersökningsområdets västra del.

Många bergarter som nu återfinns vid markytan är mer eller mindre deformerade och omvandlade. Detta skedde för mellan 1 850 och 1 800 miljoner år sedan, när bergarterna låg på 10–15 km djup i jordskorpan och vid en temperatur sannolikt över 550 °C. Regionala plastiska deformationszoner stryker i riktning VNV- till O-V genom större delen av området. En zon med NO-lig strykningsriktning förekommer i den sydostligaste delen. Alla dessa zoner tillhör ett större system av sensvekokarelska plastiska deformationszoner i centrala Sverige, se Figur 4-4.

Längs i stort sett alla de plastiska zonerna finns tolkade regionala, spröda deformationszoner (sprickzoner och förkastningar), vilket tyder på att de plastiska zonerna har reaktiverats en eller flera gånger. För övrigt uppvisar undersökningsområdet ett typiskt varierande sprickzonsmönster. VNV- till O-V-liga zoner dominerar, men zoner med NNV- och NO-lig strykningsriktning förekommer också. Några av dessa förkastningar tillhör ett system av spröda deformationszoner i centrala Sverige som påverkar det subkambriska peneplanet, se Figur 4-5. Detta visar att de troligen har varit aktiva senare än för ca 545 miljoner år sedan, vilket ur ett geologiskt perspektiv motsvarar relativt unga rörelser. Några säkra tecken på sen- eller postglaciala rörelser i berggrunden har inte rapporterats från undersökningsområdet som dessutom ligger inom en region med låg seismisk aktivitet, se Figur 4-7.



Figur 4-8. Malmprovins i Sveriges urberg. Rektangeln visar undersökningsområdet.

Jordartsförhållandena inom kommunen är normala för östra Mellansverige med morän som den mest allmänna jordarten, se Figur 4-3. Jordlagren är relativt mäktiga, särskilt längs Uppsalaåsen, som är en av Sveriges största rullstensåsar. Den sträcker sig i N-S-lik riktning tvärs igenom undersökningsområdet och utgör ett mycket framträdande drag i landskapet. I anslutning till åsen uppträder mäktiga svallsediment. Flera borrhningar redovisar jorddjup på mer än 20 meter. I sänkor och dalgångar finns stora områden med lera och torv.

Sett i ett nationellt perspektiv framstår de geologiska förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar till Älvkarleby kommun som generellt sett goda. En översiktlig studie av Uppsala län (Antal m fl, 1998) pekade också ut ett större område i den nordöstra delen av kommunen som bedömdes vara sannolikt lämpligt för vidare undersökning. Det måste emellertid understrykas att i ett avseende, nämligen tillgång till modern och tillförlitlig information, är förutsättningarna allmänt sett mindre goda och den mycket låga andelen berg i dagen gör att framtida undersökningar försvåras. En faktor som också noga måste beaktas är det system av plastiska deformationszoner som präglar kommunen. Att lokalisera ett djupförvar till en mer eller mindre opåverkad s k tektonisk lins i ett sådant system förutsätter att skjuvzonernas egenskaper noga undersöks. Information och erfarenheter finns från området runt Forsmarksverket samt SKBs typområde Finnsjön, vilka båda ligger i sådana linser.

5 Jordartsgeologi

Den långsiktiga säkerheten i ett djupförvar påverkas normalt inte av de jordartsgeologiska förhållandena. Hög blottningsgrad och tunt jordtäckte underlättar dock geologiska undersökningar medan mäktiga och komplexa jordlager är en försvårande omständighet.

Med en jordart avses de lösa avlagringar som täcker berggrunden. Vanliga jordarter är exempelvis sand, grus, lera, torv och morän. Jordartsdefinitioner och bildningsätt samt principer för modern kartläggning av jordarter finns redovisade i "Metodik och jordartsindelning" (SGU, 1979).

Jordarterna i Älvkarleby kommun har bildats under och efter den senaste istiden. Äldre bildningar från tidigare istider eller mellanistider, interglacialer, har inte observerats i kommunen. Närmaste kända lokal med material från tidigare varm- och kallperioder är belägen några mil söder om kommunen vid samhället Junkil nordväst om Uppsala (Svantesson, 1991).

I detta sammanhang kan dock nämnas en komplex moränskärning någon km väster om Furuvik. För knappt 50 år sedan undersöktes en då färsk skärning i samband med en allmän kartläggning av jordarter i Gävleborgs län (Lundqvist, 1963, sid 21). I schaktväggen fanns en omvänd lagerföljd med lera som både var täckt och underlagrad av morän. Leran analyserades med kol 14-metoden, som vid denna tidpunkt var en helt ny dateringsmetod och som därför inte gav helt tillförlitliga resultat. Analysen visade att leran avsattes för mellan 9 000 och 15 000 år sedan. Det är således inte fråga om material av interglacial ålder men leran är något äldre än normalt för regionen.

5.1 Isavsmältning och isrörelser

För ca 13 000 år sedan hade den senaste landisen börjat smälta över södra Sverige och isfronten nådde Älvkarleby kommun för omkring 10 000 år sedan (Lundqvist, 1994). Kommunen blev isfri knappt 100 år senare men var då täckt av vatten i Östersjösänkan. Vattendjupet var i allmänhet mellan 150 och 200 meter. Området i sin helhet ligger under högsta kustlinjen och var under många årtusenden efter deglaciationen helt täckt av vatten (jfr nedan). Det måste poängteras att det pågår en revision av denna tolkning, varför de ovanstående tidsangivelserna marginellt kan komma att ändras. Avsmältningstakten var, enligt mätningar av årliga lervarv, ganska snabb över Älvkarleby kommun och isfronten drog sig tillbaka ca 400 meter per år (Strömberg, 1989). Isens mäktighet i frontzonen har uppskattats till ca 300 m (Persson, 1992).

Frågan om hur isavsmältningen i detalj skett i Gävletrakten har sedan lång tid diskuterats i olika sammanhang och det finns många oklarheter som fortfarande återstår att lösa. En redogörelse för olika tankegångar om isavsmältningen i detta område har sammanställts av Åberg (1984).

Landisens rörelser återspeglas av isräfflor. Merparten av räfflorna visar isrörelserna vid fronten under den senaste landisens avsmältning och ger därmed även en uppfattning om isfrontens ungefärliga sträckning. De flesta räffelobservationerna i nordligaste Uppland och Gävletrakten visar en isrörelse mot SSV. Dessa iakttagelser har framför allt gjorts i

området mellan Hållnåshalvön i öster och rullstensåsen mellan Hedesunda och Gävle i väster. Äldre räfflor i samma område visar en isrörelse mot SSO. De yngsta isräfflorna visar att det kring Uppsalaåsen, genom att kraftiga smältvattenflöden bröt upp isen vid mynningen av istunneln något tidigare än i områdena längre bort från åsen, bildades ett estuarium. Med estuarium menas en bred, oftast trattformig, mot havet öppen flodmynning.

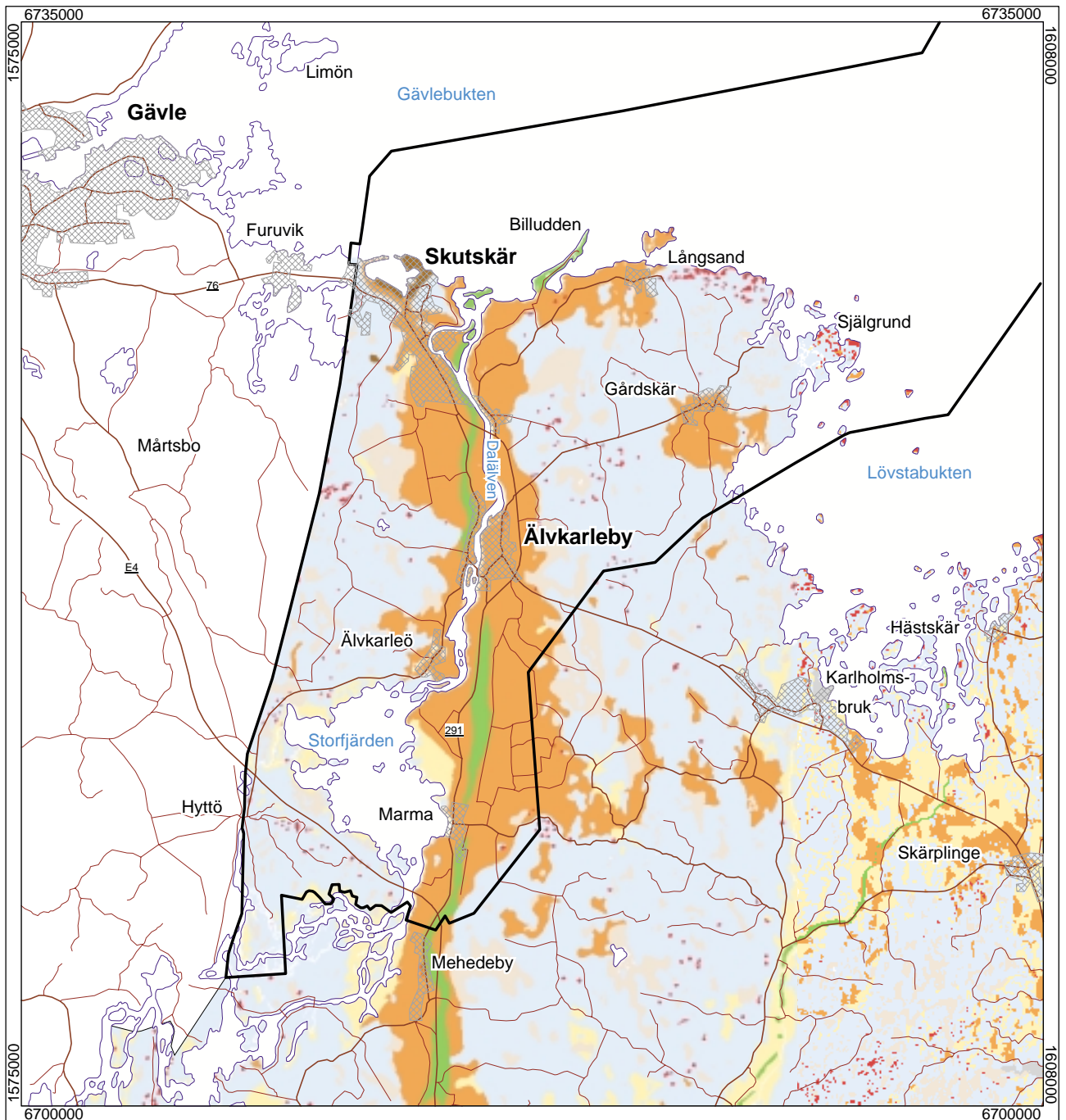
De högsta partierna i kommunen är belägna ca 50 meter över havet. Enligt undersökningar från ett område mellan Tierp och Österbybruk höjde sig denna nivå över havsytan för omkring 5 700 år sedan på grund av landhöjningen, (Robertsson och Persson, 1989). Vid denna tid var landhöjningen relativt snabb. För 4 000 år sedan låg havsytan i Östersjö-sänkan ca 35 m ö h och då fanns en skärgård väster om den nuvarande sträckningen av Dalälven med ett stort antal öar. I dag är den årliga landhöjningen i kommunen ca 6 mm i söder och ca 7 mm i norr.

5.2 Jordarter inom Älvkarleby kommun

Jordartsgeologin inom undersökningsområdet har sammanställts till en digital jordarts-karta avsedd att presenteras i skala 1:100 000. Till denna rapport bifogas en förminskad version i skala 1:200 000, se Figur 5-1. Kartan bygger i huvudsak på befintlig jordarts-information i form av kombinerade jordarts- och berggrundskartor, se Kapitel 3.1. Nedanstående beskrivning behandlar i första hand jordarterna inom Älvkarleby kommun.

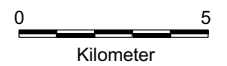
Som framgår av Figur 5-1 täcker jordarter den underliggande berggrunden i stor utsträckning och berg i dagen förekommer endast i begränsad omfattning, se även Figur 5-2. Det är endast efter kusten vid Gävlebukten, från Långsand och österut, som hållfrekvensen är betydande. Inom övriga delar av kommunen finns endast spridda bergblottningar. Ett sådant område är Höghällsberget, några kilometer väster om Älvkarleby. Flertalet brunnsborrningar från kommunen anger jordmäktigheter på mer än 10 meter och ett 10-tal av dessa redovisar mer än 20 meter jord, upp till som mest 36 m. En uppskattning av den genomsnittliga jordmäktigheten pekar på att den är knappt 10 meter i väster, drygt 10 meter kring Uppsalaåsen och ca 5 meter i öster. En jämförelse med de övriga uppländska kommunerna visar att jordarternas genomsnittliga mäktighet troligen är störst i Älvkarleby kommun.

Jordarterna kan indelas i glaciala och postglaciala. De glaciala jordarterna har avlagrats av landisen (morän) och dess smältvatten (isälvssediment och glaciala finkorniga sediment) medan de postglaciala jordarterna har bildats efter det att landisen dragit sig tillbaka. Exempel på postglaciala jordarter är svallsediment, postglacial lera, älv- och svämsediment samt organiska jordarter, huvudsakligen torv.



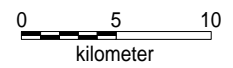
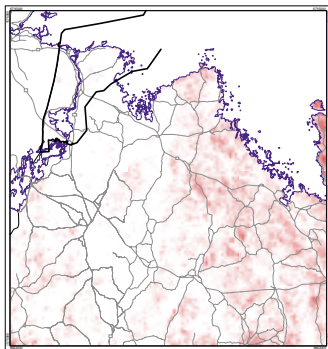
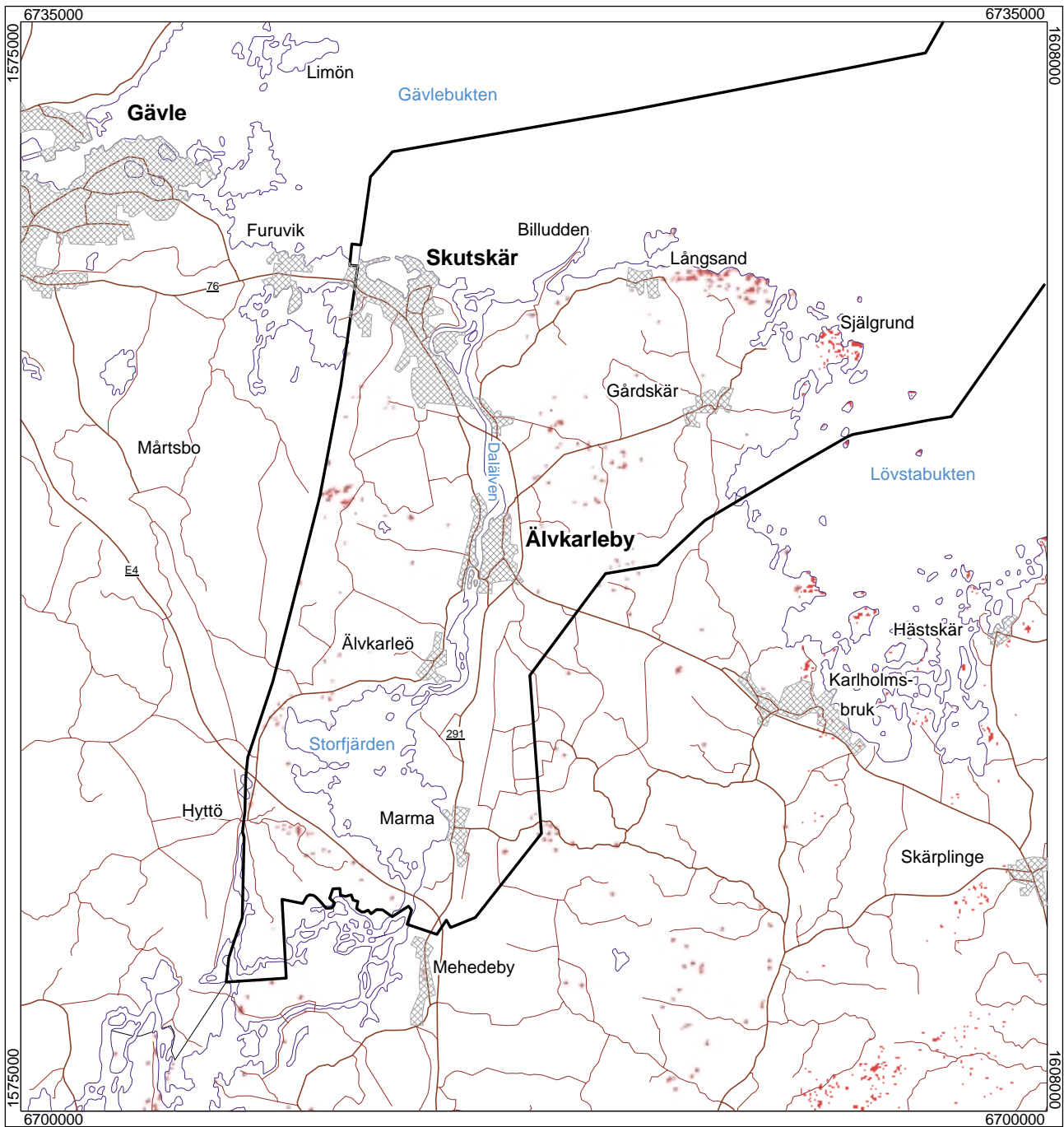
- Organiska jordarter
- Sand och grus
- Lera och silt
- Isälvssediment

- Morän
- Berg
- Fyllning



SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Figur 5-1. Jordartskarta över Älvkarleby kommun med omgivning.



SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Figur 5-2. Älvkarleby kommun med omgivning. Berg i dagen. Jämför med området längre österut (lilla bilden).

5.2.1 Glaciala jordarter

Morän

Morän, ett av landisen upplöskt, transporterat och avlagrat material, är den mest allmänna jordarten inom Älvkarleby kommun. Ofta ligger detta osorterade material direkt på berggrunden och har stor utbredning. Inom ytor med täta hållblottningar, som exempelvis längs Gävlebukten, är moränens mäktighet vanligen endast några få meter men inom stora sammanhängande moränområden kan mäktigheten vara betydligt större och 10 till 15 meter är inte ovanligt.

Flera olika moräntyper förekommer, men sandig morän är den dominerande typen. Ofta är den mer eller mindre hårt packad och en viss skiffrihet, s k presstruktur, har observerats i den övre delen närmast markytan. Blockhalten i ytan är vanligen normal. Inom mindre områden uppträder andra moräntyper som grusig morän, sandig-siltig morän och lerig, sandig morän. Den grusiga moränen uppträder främst vid gränsen mot Gävle kommun. Moränens översta lager är i exponerade områden påverkade av svallning.

I allmänhet har moränen inga egenformer utan fyller ut sänkor i berggrunden och ligger som uppåt uttunnande täcken på bergsidorna. Landskapets morfologi bestäms således i hög grad av berggrundsytan. Om frånvaron av moränryggar beror på bristfällig information eller om området verkligen saknar moränryggar är delvis oklart.

På några platser har komplexa lagerföljder noterats, där morän överlagrar finkorniga sediment som glacial lera och sand. Dessa iakttagelser har bl a gjorts vid en brunnsgrävning väster om Skutskärs station, där sand påträffades under 4 meter morän. Liknande observationer med komplexa moränlagerföljder har gjorts på många ställen i regionen. En möjlig förklaring till de komplexa lagerföljderna är att två samtida ismassor rört sig över området. Den enda landisen framryckte i Östersjösänkan och inristade de ovan nämnda isräfflorna som visar en isrörelse mot SSV. Den andra landisen rörde sig snett ut mot kusten mot sydost från isdelaren i inlandet.

Moränen är på många ställen inom Älvkarleby kommun kalkhaltig beroende på att kalkhaltigt material transporterats av landisar från Bottenhavet söderut och avlagrats i norra Uppland. Den kalkhaltiga moränen observerades redan under 1800-talet vid den då genomförda kartläggningen (Wahlqvist, 1868a, 1868b). Under 1960-talet studerades kalkhalten närmare i norra Uppland (Gillberg, 1967a, 1967b). Ett klart mönster framkom med höga karbonathalter i kustområdena längs Gävlebukten och Ålands hav och med avtagande halter söderut. Den ursprungliga kalkhalten har reducerats nära markytan genom urlakning och denna process kan ha nått flera meters djup, bland annat beroende på hur lång tid urlakningen pågått (Ingemar och Moreborg, 1976). Samma generella spridningsbild beträffande moränens kalkhalt men betydligt mer detaljrik, framkom vid den moderna kartläggningen i norra Uppland (Persson, 1984, 1985, 1986).

Isälvs sediment

Isälvs sedimenten transporterades och sorterades av isälvar och smältvattenströmmar i och under landisen för att slutligen avlagras vid isfronten. Huvuddelen av isälvs sedimenten utgörs av grus med varierande halter block och sten samt sand. Inom Älvkarleby kommun finns endast ett stråk, Uppsalaåsen, med isälvs sediment. Denna ås är desto större och sträcker sig genom det aktuella området i N-S-lig riktning från Mehedeby i söder till Billudden i Gävlebukten.

Uppsalaåsen är en av Sveriges största åsar med en total längd av några 10-tal mil. Den sträcker sig från Nynäshamtrakten i söder till Billudden i norr och fortsätter därefter norrut i Bottenhavet upp till åtminstone i höjd med södra Hälsingland (Hoppe, 1961). Närmast Billudden är stråket avsatt som en hög undervattensrygg. I Älvkarlebykommunen höjer sig Uppsalaåsen upp till 30 meter över omgivningarna och dominerar landskapsbilden. Åsens inre uppbyggnad och struktur framgår av några grustäkter i kommunen. Sedimenten är vanligen grova med en åskärna av block och sten. Åt sidorna dominerar grus och sand. Grusbrytningen har numera helt upphört i de flesta täkter som i allmänhet är efterbehandlade. En inventering av tillgångarna på naturgrus har genomförts av Länsstyrelsen i Uppsala län (1978).

I och med att åsen utgör några av de högsta delarna inom en större region har den varit utsatt för kraftig svallningspåverkan från öster. Materialet har då förts med strömmar västerut. En typisk tvärprofil för Uppsalaåsen är därför asymmetrisk med en brant västsida och en långsluttande ostsida. Den kraftiga svallningspåverkan kan även spåras genom att de omgivande svallsedimenten både är relativt mäktiga och har stor utbredning.

Mellan Mehedeby och Marma har åsen en markerad ryggform med branta sidor. Norr om Marma blir den något flackare. Väster om åsen finns där ett mycket väl utformat strandvallsområde med strandporrar och flygsanddyner, det s k Ambrickafältet. Området som utgörs av en vidsträckt, flack sandavlagring, huvudsakligen bildad av svallsand från Uppsalaåsen, har i detalj beskrivits av Björklund (1977).

I höjd med Älvkarleö är åsen hög och smal och utgör ett dominerande inslag i landskapet. Åskrönet ligger ca 50 m ö h. Den markanta ryggformen avtar sedan norrut upp mot Älvkarleby. Som framgår av jordartskartan är inte åsen sammanhängande i trakten av Älvkarleby. Troligen finns dock åsmaterial under svallsedimenten och åsens utbredning är därför sannolikt något större i området än vad som framgår av kartan. Detta indikeras bl a i de ca 15 m höga erosionsbranterna vid Dalälven. I själva älvfåran har det strömmande vattnet eroderat jordlagren och blottlagt den underliggande berggrunden.

Uppsalaåsen fortsätter sedan norrut, men nu väster om Dalälven, med en markerad ryggform. Den övertvåras ånyo Dalälven vid Skutskär. Åsens begränsningar vid kusten är diffusa och svåra att fastställa i detalj.

Billudden, se Figur 5-3, är Uppsalaåsens nordligaste del på land. Udden är av mycket stort intresse för forskning och studier angående landhöjningen, som där uppgår till ca 70 cm på hundra år. På uddens västra sida förs sand och grus iland av havsströmmar och detta förstärker effekterna av landhöjningen. På detta sätt bildas landtungor vilka bidrar till att avsnöra små havsvikar. Klapperstensfält och strandvallar finns på några platser

Glaciala finkorniga sediment

I Figur 5-1 har de glaciala finkorniga sedimenten (lera och silt) ej särskilts från de postglaciala finkorniga sedimenten. Drygt 30 % av de ytor som betecknats som finkorniga sediment utgöres av glaciala finkorniga jordarter. Den verkliga utbredningen är dock något större då dessa sediment underlagrar postglaciala finkorniga sediment och torv. Som helhet betraktat har dock de glaciala finkorniga sedimenten en begränsad utbredning inom kommunen.

De glaciala finkorniga sedimenten har avsatts av smältvatten från den tillbakadragande isen och på ett visst avstånd från isfronten. Inom kommunen domineras dessa sediment av glacial lera som i allmänhet är varvig. Varvigheten är tydlig utom i de översta delarna



Figur 5-3. Billudden med fiskeläget Billhamn. Uppe i höger bildkant på vänstra bilden samt i förstoring till höger ses vegetationsfria strandvallar. Halvön med fiskebodarna är en strandsporre runt vilken man skymtar materialtransport med havsströmmar. Foto A. Damberg 1988. Spridningstillstånd 1988-09-19.

närmast markytan. Den glaciala leran är vanligen rödbrun och i allmänhet styv med en lerhalt kring 50 %. Kalkhalten är hög utom nära markytan där leran till följd av urläkning oftast är kalkfattig. Mäktigheten är vanligen mindre än 5 meter. Glacial silt med lerskikt förekommer på ett par platser i flacka höjdområden nära Uppsalaåsen. Även dessa sediment håller en hög kalkhalt.

5.2.2 Postglaciala jordarter

Postglaciala sediment

Postglaciala sediment utgör omlagringsprodukter av glaciala jordarter eller har nybildats efter det att landisen lämnat området.

Grovkorniga postglaciala sediment, svallsediment, härrör främst från isälvssediment men även från morän. Svallsedimenten kring Uppsalaåsen täcker betydligt större områden än normalt kring rullstensåsar i Mellansverige. Grus och framför allt sand dominerar och har där en förhållandevis stor mäktighet. Borrningar i samhällena Älvkarleby och Skutskär redovisar sandmäktigheter på ibland mellan 5 och 10 meter. Även ansamlingar av block och sten, s k klapperfält, förekommer på några ställen i anslutning kring Uppsalaåsen. De finns både som krönbildningar och på lägre nivåer. Några mindre klapperstensfält finns exempelvis på Billudden.

Ett större område med svallsand finns i trakten av Gårdskär. Området är flackt och sanden fyller ut små sänkor på låga nivåer endast några meter över den nutida havsytan. Enligt uppgift är sanden något kalkhaltig.

Postglaciala finkorniga sediment domineras av olika typer av leror. De har bildats i från havet avsnörda bassänger och avsatts i de lägst belägna delarna i landskapet. Postglacial lera är vanligen homogen och som regel gråaktig, men kan ibland vara svartflammig av sulfider. Mäktigheten är oftast mindre än 4 meter. Gyttjelera, som är en postglacial lera med ett viss halt organisk material, har i regel en grönaktig färg. Dess mäktighet är begränsad och överstiger sällan 2 meter.

Älv- och svämsediment bildas utmed vattendrag då dessa svämmar över vid hög vattenföring. Älvsedimenten är ofta väl sorterade och fattiga på organiskt material och de har i denna rapport förts till svallsedimenten. Svämsedimenten är vanligen ofullständigt sorterade och i växlande grad uppblandade med organiskt material, främst växtrester. Svämsedimenten ingår i jordartsbeteckningen lera och silt.

Älv- och svämsediment förekommer längs Dalälvens stränder och vikar. Eftersom älven numera har en reglerad vattenyta, nybildas inte dessa sediment lika frekvent som före regleringen. En jämförande kartstudie över området kring Dalälvens nedre lopp mellan kartor från 1800-talet och helt moderna kartor visar stora förändringar i fördelningen mellan vatten och land.

Organiska jordarter

Organiska jordarter domineras av torv och inom kommunen har torvmarker en ganska stor utbredning. Kärr är den dominerande torvmarkstypen men även tall-rismossar med bl a ljung och hjortron förekommer relativt frekvent. Större torvmarksområden finns kring Storfjärden i söder och öster om svallsanden i anslutning kring Uppsalaåsen. Kärrtorven är i allmänhet upp till 3 meter mäktig, lokalt något mera, medan mossetorvens mäktighet varierar mellan 0,5 och 2 meter. Den totala torvmäktigheten överstiger sällan 4 meter.

En jämförelse mellan torvmarkernas utbredning under 1800-talet och den nutida utbredningen visar stora förändringar. Utdikning av torvmarker har under 1800-talets senare del och 1900-talet varit omfattande och medfört stora förändringar i landskapet. Arealen våtmarker har drastiskt minskat.

6 Berggrundsgeologi

Berggrundens sammansättning och homogenitet är av stor vikt vid lokaliseringen av ett djupförvar och i detta kapitel redovisas befintlig kunskap i dessa avseenden. Djupförvaret bör förläggas i en vanligt förekommande, homogen bergart.

6.1 Metodik

Befintlig information har sammanställts till en berggrundskarta över Älvkarleby kommun med omgivning avsedd att presenteras i skala 1:100 000. Till rapporten har bifogats en förminskad version i skala 1: 200 000, se Figur 6-1. På berggrundskartan visas också sprickzoner (spröda deformationszoner), vilka härrör från den tektoniska tolkning som gjorts inom ramen för förstudien. Deformationszonerna inom området diskuteras i Kapitel 8.

Fältbesök har gjorts av ett flertal hållblottningar inom Älvkarleby och Tierps kommuner. Dessa fältbesök har, tillsammans med tolkning av geofysisk information, resulterat i en viss modifiering av berggrundskartan inom båda kommunerna (Bergman m fl, 1999). De mest betydande förändringarna inom Älvkarleby kommun har gjorts i kommunens norra del där övergången från mer välbevarade bergarter till omvandlade, s k migmatiter och ådergnejser, har definierats. I området öster om Marma har en mindre justering gjorts av den norra begränsningen av det större området av yngre granit i kommunens södra del. I övrigt grundas sammanställningen i Figur 6-1 på äldre befintliga berggrundskartor.

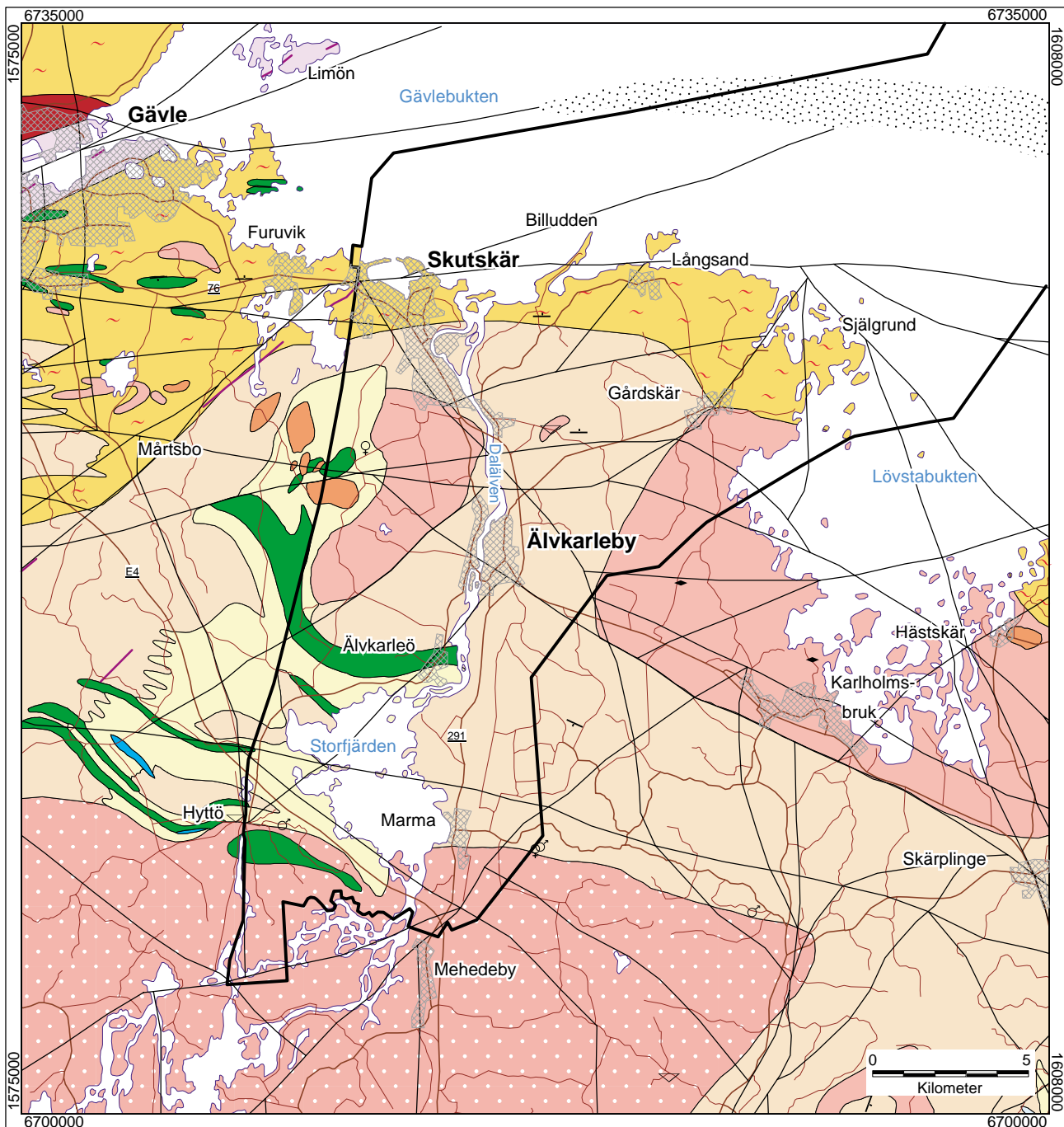
6.2 Bergartsindelning

Bergarter indelas vanligtvis, utifrån hur de har bildats, i tre huvudgrupper; ytbergarter, djupbergarter och gångbergarter.

Ytbergarterna har, som namnet antyder, bildats på eller nära jordytan. De har antingen avsatts i form av lösa avlagringar (sediment i form av t ex lera eller sand) som sedan förts ned i jordskorpan och omvandlats till bergarter, eller bildats genom att vulkaniska produkter (lava eller aska) flutit ut eller avsatts på jordens yta.

Djupbergarter bildas på större djup i jordskorpan genom att en bergartsmälta (magma) tränger uppåt och till följd av sjunkande temperatur stelnar till en bergart. På grund av upplyftning och erosion kan bergarter som bildats och/eller omvandlats på varierande djup idag utgöra berggrundens överyta.

Gångbergarterna utgör ett mellanled och bildas vanligtvis sent i ett geologisk skeende. De utgörs antingen av aplit-, granit- och pegmatitgångar som bildas ur stelnande kiselrika magmor, eller av diabas som bildas ur en lättflytande kiselfattig magma.



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 1890 milj. år
- Diabas

YTBERGARTER

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

BERGARTER AV VARIERANDE URSPRUNG

- Inneslutning av äldre bergart i yngre
- Nedlagd gruva eller skärpning (järnmalm)
- Nedlagd gruva eller skärpning (sulfidmalm)
- Bergtäkt
- Förskiffring och lagring
- Sprickzon
- Bred lågmagnetisk zon under havet, sannolikt av tektoniskt ursprung
- Kommungräns

Fig 6-1. Berggrundskarta över Älvkarleby kommun med omgivning.

6.3 Berggrunden inom undersökningsområdet

Berggrunden inom Älvkarleby kommun med omnejd domineras av djupbergarter i form av metagranitoider (brun färg på berggrundskartan, Figur 6-1). "Meta-" betyder, som tidigare påpekats, att bergarten genomgått omvandling (metamorfos) och i samband därmed vanligen blivit förskiffrad och förgnejsad.

Tillsammans med metagranitoiderna förekommer sura till intermediära metavulkaniska bergarter (ljus gul färg på berggrundskartan) och metagabbro samt basiska bergarter av mer osäkert ursprung (mörkgrön färg på berggrundskartan). Metasedimentära bergarter inklusive marmor förekommer endast i liten omfattning inom undersökningsområdet och då utanför Älvkarleby kommun (blå färger på berggrundskartan).

Inom 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. Omvandlingen har givit upphov till en mycket komplex och inhomogen berggrund med stora variationer vad gäller bergarternas textur, sammansättning och kornstorlek. På berggrundskartan visas dessa kraftigt omvandlade bergarter med röda "spiriller" på mörkt gul bottenfärg. Den metamorfa omvandlingen inom Älvkarlebyområdet skedde huvudsakligen för ca 1 850–1 800 miljoner år sedan.

Stora delar av undersökningsområdet utgörs emellertid av yngre, mer välbevarade bergarter. Av dessa dominerar ca 1 800 och ca 1 780 miljoner år gamla 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 granit, ca 1 500 miljoner år, som återfinns norr om Gävle med mörkröd färg.

I det följande ges, med utgångspunkt från den berggrundsgeologiska kartan i Figur 6-1, en mer detaljerad beskrivning av undersökningsområdets bergarter.

6.3.1 Ytbergarter

Ytbergarterna domineras av sura till intermediära metavulkaniska bergarter och förekommer huvudsakligen väster och norr om Storfjärden (ljus gula på berggrundskartan). Metasedimentära bergarter finns endast dokumenterade från områden utanför kommunen i undersökningsområdets sydöstra del (ljus blå på berggrundskartan) samt väster om Storfjärden i form av marmor (mörkt blå på berggrundskartan). De metavulkaniska bergarterna är inom stora områden associerade med basiska bergarter av osäkert ursprung. En åldersdatering av en sur metavulkanisk bergart utanför Uppsala indikerar en ålder på ca 1 900 miljoner år (Welin, 1987), vilket också antas vara en trolig ålder för de metavulkaniska bergarterna inom Älvkarleby kommun. Betydligt yngre ytbergarter förekommer i områdets nordvästligaste del och utgörs av jotnisk sandsten, ca 1 500 miljoner år (violett på berggrundskartan) och ordovicisk kalksten.

Metavulkaniska bergarter (ca 1 900 miljoner år)

De sura till intermediära metavulkaniska bergarterna är vanligtvis finkorniga, skiktade bergarter som till största delen består av mineralen kvarts och fältspat. De antas vara bildade som vulkaniska lavaflöden eller askor. Välbevarade, finkorniga varianter benämns i den äldre litteraturen "hälleflintor" medan deras grövre och mindre välbevarade motsvarigheter har benämnts "leptiter". Hälleflinta förekommer på ett flertal platser i Uppland och är också Upplands landskapssten. I Älvkarleby kommun förekommer de sura metavulkaniska bergarterna huvudsakligen väster och norr om Storfjärden. De är tillsammans med marmor i många fall värdbergart för malm- eller mineralfyndigheter. I kommunen har en mindre järnmineralisering, strax öster om Hyttö, brutits i liten omfattning under 1800-talet (Sandegren och Lundegårdh, 1949), se Figur 6-1. Inom metavulkanitområdet väster om Älvkarleby pågår för närvarande malmprospektering. Malmfyndigheter och prospekteringsuppslag inom kommunens behandlas i Kapitel 9.

Metasedimentära bergarter (ca 1 900 miljoner år)

Till de metasedimentära bergarterna räknas både kristallin kalksten (marmor) samt kvarts- och fältspatdominerade, vanligtvis skiktade bergarter. Kvarts- och fältspatdominerade metasedimentära bergarter förekommer endast underordnat inom det undersökta området och har endast dokumenterats från ett litet område i sydost, se Figur 6-1. Kristallin kalksten uppträder i de flesta fall som tunna inlagringar i de metavulkaniska bergarterna. Lokalt förekommer dock något mäktigare lager, som t ex väster om Storfjärden där marmor brutits i liten skala vid Hyttö (Sandegren och Lundegårdh, 1949). På senare år har också enstaka hällar av marmor dokumenterats i området sydväst om Skutskär i samband med mineraljakt i länet, se vidare Kapitel 9. Någon revidering av den översiktliga berggrundskartan i Figur 6-1 har dock inte gjorts med anledning av detta. Läget för observationerna finns markerade i Figur 9-1.

Yngre sedimentära bergarter (ca 1 500-450 miljoner år)

I Gävleområdet överlagras det prekambrisk urberget av geologiskt sett unga sedimentära bergarter, bl a sandsten (yngre än 1 500 milj. år) och ordovicisk kalksten (ca 450 miljoner år). Till skillnad från de äldre metasedimentära och metavulkaniska bergarterna, vilka vanligtvis är brantstående, uppvisar de yngre bergarterna vanligen i det närmaste horisontell skiktning/lagring. Sandstenen i Gävleområdet (lila på berggrundskartan) begränsas i stor utsträckning av ONO-liga förkastningszoner. Parallellt med dessa förekommer också post-jotniska (ca 1 200 miljoner år gamla) diabasgångar som intruderat sandstenen (Lundegårdh, 1966). Den totala mäktigheten i den centrala delen av sandstenen har beräknats till ca 1 000 m (Gorbachev, 1967).

Ordovicisk kalksten täcker stora delar av havsbotten i Gävlebukten (Ahlberg, 1986) och har observerats i fast klyft på ett par öar, exempelvis på Limön (Sandegren m fl, 1939).

6.3.2 Djupbergarter

Djupbergarterna är undersökningsområdets klart dominerande bergarter och kan indelas i en äldre, ca 1890 miljoner år, och en yngre generation, ca 1 800–1 500 miljoner år. Den äldre gruppen består av granitoider och underordnat av basiska djupbergarter. Den yngre generationen uppträder till största delen som homogena granitmassiv och i mindre områden som pegmatiter och mer komplexa inhomogena graniter med varierande innehåll av äldre berggrund.

Äldre djupbergarter (ca 1 890 miljoner år)

De äldre djupbergarterna upptar större delen av undersökningsområdet och domineras av medel- till grovkorniga, vanligtvis svagt förskiffrade metagranitoider, se Figur 6-2a (ljust brun färg på berggrundskartan). Underordnat förekommer också mer basiska bergarter som t ex metadiorit och metagabbro (kvartsfattiga djupbergarter som markerats med mörkt grön färg på berggrundskartan). En datering av en äldre granit strax väster om Uppsala (s k Vängegranit) gav en ålder på ca 1890 miljoner år (Ripa och Persson, 1997), vilket också antas vara en trolig ålder för metagranitoiderna i Älvkarlebyområdet.

De äldre djupbergarterna är i undersökningsområdets centrala och södra delar vanligtvis relativt homogena, välbevarade och endast svagt förskiffrade. I de norra delarna, ungefär från Älvkarleby och norrut, är de mer omvandlade med varierande inslag av nybildad granit och pegmatit som ådror och gångar, se Figur 6-2b. Vid kusten har den metamorfa omvandlingen varit så betydande att ursprungsbergarten i många fall inte längre är igenkännbar. Berggrunden domineras där av migmatit och ådergnejs, se vidare Kapitel 6.3.4. Med tilltagande omvandlingsgrad ökar också graden av inhomogenitet i berggrunden, genom det ökade inslaget av pegmatit och finkornig granit samt större variationer i kornstorlek och sammansättning. Huvuddelen av de migmatitiska bergarterna i Skutskärstrakten utgörs förmodligen av kraftigt omvandlade äldre granitoider.

Yngre graniter (ca 1 800–1 500 miljoner år)

I samband med den regionala omvandlingen och deformationen för ca 1 850–1 800 miljoner år sedan skedde betydande omvandling och partiell uppsmältning av äldre bergarter. I samband med detta bildades, som tidigare nämnts, migmatiter och ådergnejsar men också större bergartssmältor vilka stelnade och bildade granitkroppar (röda färger på berggrundskartan).

De yngre graniterna utgör en mycket varierande bergartsgrupp som omfattar både större homogena kroppar och mer inhomogena, delvis pegmatitiska områden med inneslutningar av äldre berggrund. Större områden med homogen yngre granit förekommer huvudsakligen i kommunens södra del i området omkring Mehedeby samt omkring Karlholmsbruk vid Lövstabusken. Graniten i områdets södra del betecknas ”Hedesundagranit” och ett prov av denna granit från Hedesunda i Dalarna har daterats till 1 782 miljoner år (Persson och Persson, 1997). Graniten omkring Karlholmsbruk brukar på äldre berggrundskartor betecknas ”Stockholmsgranit” på grund av motsvarande bergarts stora utbredning i stockholmsområdet, där den har daterats till ca 1 800 miljoner år (Ivarsson och Johansson, 1995).

Hedesundagraniten (ljust röd med vita prickar på berggrundskartan) är vanligtvis medel- till grovkornig och porfyrisk med rektangulära kalifältspatkristaller, se Figur 6-2c. Inom stora områden är mineralet hornblände vanligt förekommande i graniten. Inom



a) Svagt förskiffrad meta-granitoid (ca 1 km sydost om Älvkarleby, RAK 6716660-1591471).



b) Förgnejsad metagranitoid med pegmatitiska ådror (ca 4 km nordost om Älvkarleby).



c) Grovkornig, porfyrisk yngre granit, s k Hedesundagranit (ca 11 km sydväst om Mehedeby, RAK 6699703-1576870).

Fig 6-2. Typiska bergarter från Älvkarleby kommun.

andra delar är den fattig på mörka mineral och då utgör kalifältspat och kvarts huvud-mineral. I undersökningsområdets sydvästra del sammanfaller denna bergartstyp med ett lågmagnetiskt tyngdkraftsminimum som uppvisar förhöjd naturlig gammastrålning, se Figur 6-3, 6-4 och 6-5. Bergartens norra begränsning i området öster om Marma har, efter fältbesök i området, justerats något sedan berggrundskartan över Tierps kommun med omgivningar presenterades (Bergman m fl, 1999).

Den yngre graniten i området omkring Karlholmsbruk (ljusröd på berggrundskartan) är, jämfört med Hedesundagraniten, mer finkornig, se Figur 6-6a. Utbredningen som tolkats utifrån geofysiska data, enstaka fältobservationer och befintliga berggrundskartor är dock något osäker. På äldre sammanställningar har i vissa fall någon distinktion inte gjorts mellan den finkorniga och relativt homogena graniten och mer inhomogen ådergnejs och migmatit som också förekommer i området. I föreliggande arbete har dock ett försök till gränsdragning gjorts, se berggrundskartan i Figur 6-1. En begränsande faktor vid bedömningen av granitens utbredning är den låga blottningsgraden i området väster om Karlholmsbruk, se Figur 5-2. I området mellan Skutskär och Gårdskär förekommer också ett litet område (ca 0,5 km²) av Stockholmsgranit. Detta område är beviljat för täktverksamhet (Länsstyrelsen i Uppsala län, 1997, 1999).

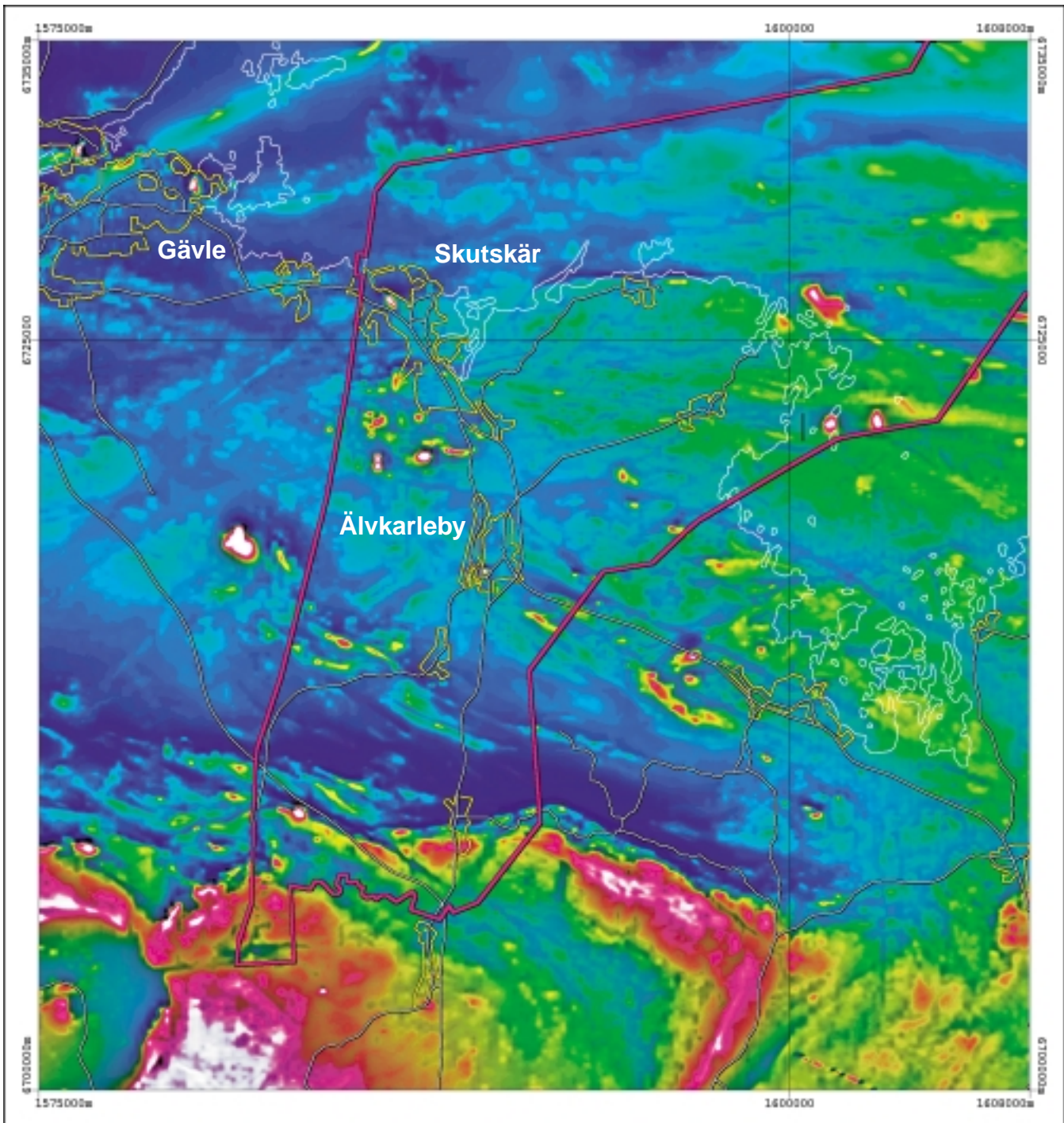
I området väster om Älvkarleby förekommer ett flertal områden med pegmatit och inhomogen yngre granit. Blottningsgraden i området är dock mycket låg och berggrundskartan över området bör därför betraktas som mycket schematisk. Den inhomogena graniten uppvisar ett stort inslag av äldre bergarter och pegmatit. Den norra delen, omedelbart söder om Skutskär, karakteriseras dessutom av ett magnetiskt anomali-mönster, se Figur 6.3, som skulle kunna indikera förekomst av en annan bergart än granit. Däremot ger den södra delen ett homogent intryck. Området omfattas av ett beviljat undersökningstillstånd och har bland annat därför bedömts ha en viss malmpotential, se vidare Kapitel 9.

Strax norr om Gävle vid Strömsbro finns ett litet område av Strömsbrogranit, en grovkornig kalifältspatdominerad granit (mörkröd färg på berggrundskartan). Graniten har daterats till ca 1 500 miljoner år (Andersson, 1997) och tillhör en granitgeneration som är vanligt förekommande på bl a Åland och i Finland, s k Rapakivigranit.

6.3.3 Gångbergarter

Gångbergarterna är en inom undersökningsområdet arealmässigt underordnad bergarts-grupp. De utgör dock betydelsefulla inhomogeniteter i berggrunden och kan till viss del styra lokaliseringen av sprickor och sprickzoner till kontakterna mot omgivande bergarter. De är därmed också av betydelse för det lokala grundvattenflödet. Kunskap om förekommande gångbergarter är därför av vikt vid val av plats för ett djupförvar.

Den befintliga kunskapen om gångbergarter är mycket låg inom hela undersökningsområdet, på grund av avsaknaden av moderna, detaljerade berggrundskartor. Ett flertal större diabasgångar har dock tolkats fram i denna studie, huvudsakligen med hjälp av flygmagnetiska data. Gångarna har markerats som violetta linjer på berggrundskartan i Figur 6-1 och på deformationszonskartan i Figur 8-4. De har en nordostlig utbredning och förekommer huvudsakligen utanför kommunen i den nordvästra delen av undersökningsområdet.



Magnetiskt anomalifält

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

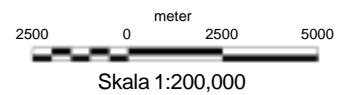
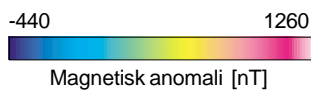
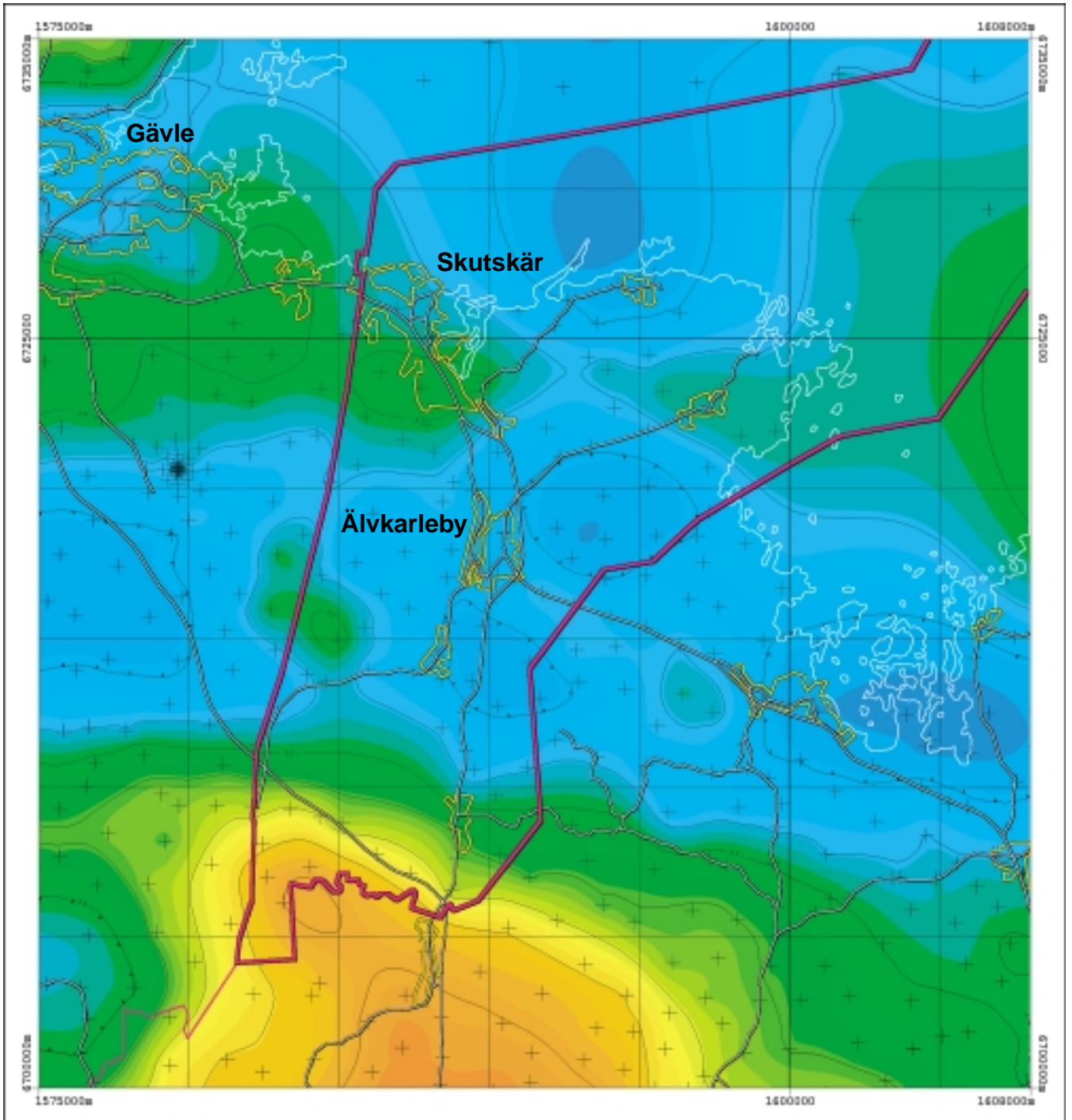


Fig 6-3. Magnetiskt anomalifält. Violetta-ljusa färger visar hög magnetisering och blå färger visar låg magnetisering.



Tyngdkraft

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

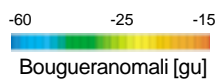
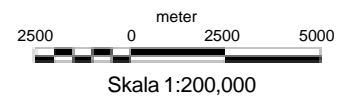
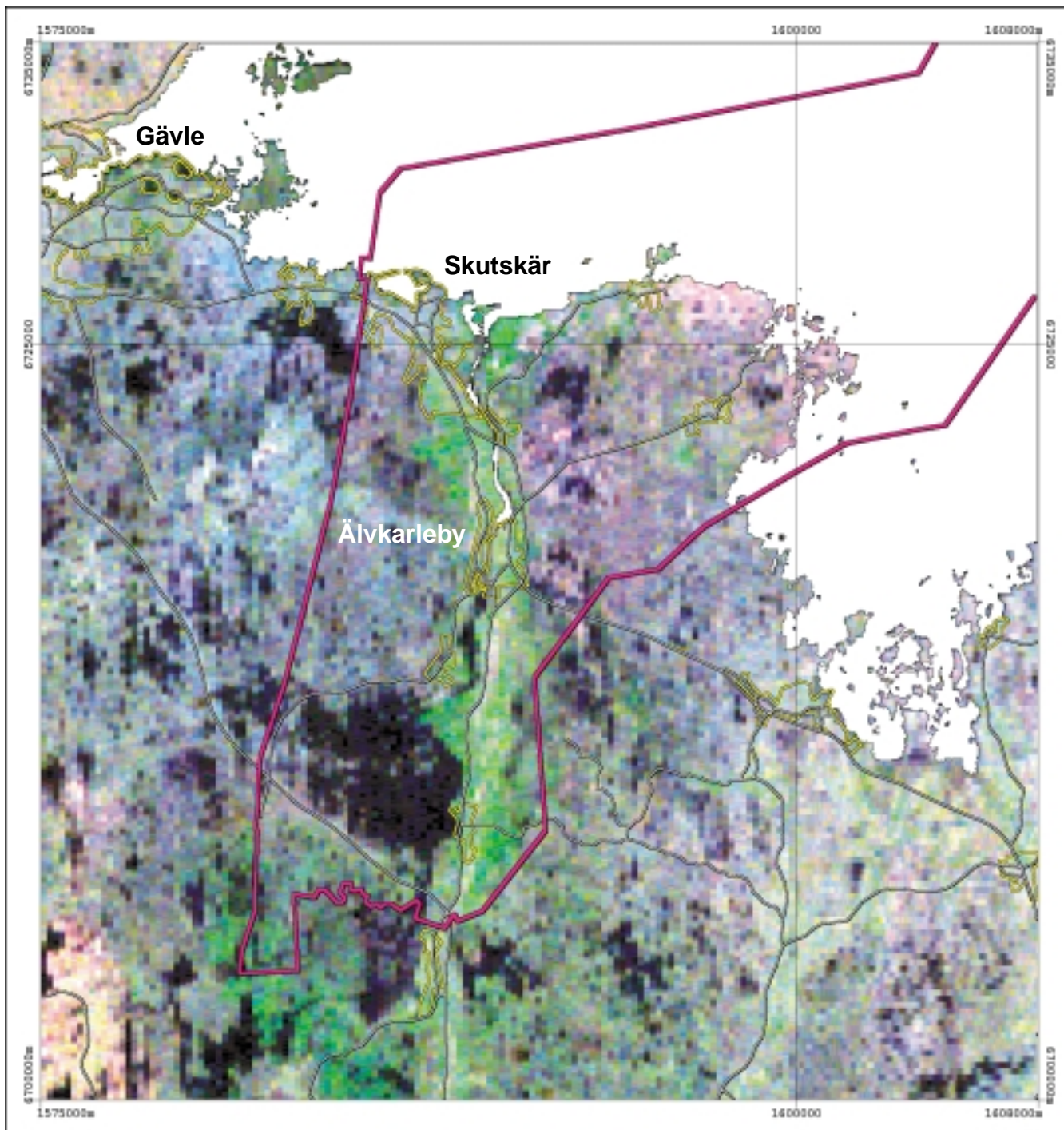


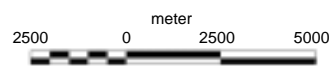
Fig 6-4. Tyngdkraft i gu (gravity unit, "gravitationsenhet"). Orange-röd färg visar massöverskott och blå färg visar massunderskott.



Naturlig gammastrålning

Geofysisk flygmätning, SGU

Färgkombination av torium (röd), kalium (grön) och uran (blå)



Skala 1:200,000

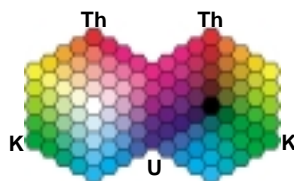
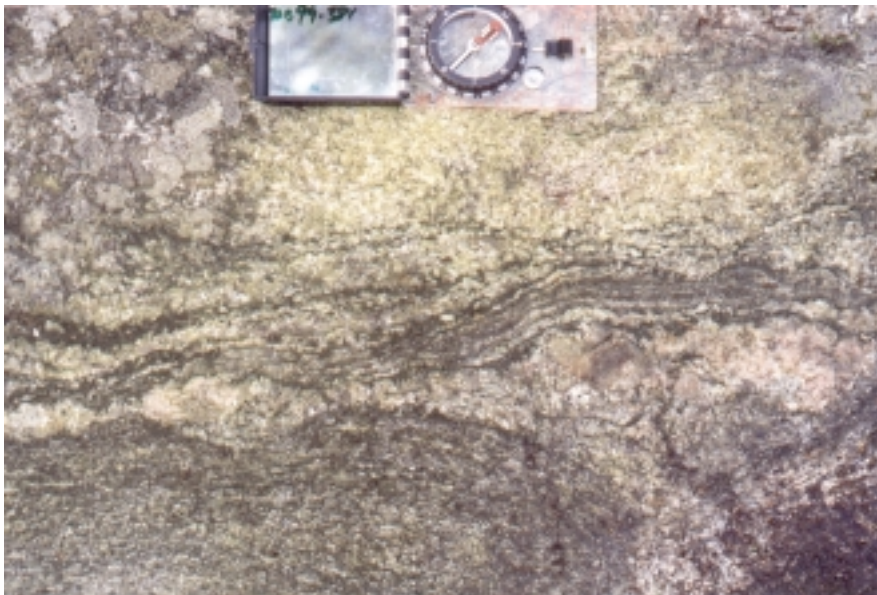


Fig 6-5. Naturlig gammastrålning. Relativa fördelningen av kalium, uran och torium. Ljusa nyanser visar förhöjda nivåer av samtliga element medan mörka nyanser visar låga nivåer.



a) Medelkornig, massformig yngre granit, s k Stockholmsgranit (1,7 km öster om Skutskär, RAK 6721974-1592022).



b) Ådergnejs (3,3 km västsydväst on Långsand, RAK 6725609-1591450).

Fig 6-6. Typiska bergarter från Älvkarleby kommun.

6.3.4 Migmatit och ådergnejs av varierande ursprung

Migmatit och ådergnejs är starkt omvandlade bergarter som förekommer längs kusten från Gävle-Skutskär via området norr om Gårdskär och vidare österut i Tierps kommun (röda "spiriller" på mörkt gul bottenfärg i Figur 6-1). Omvandlingen av berggrunden skedde huvudsakligen för 1 850–1 800 miljoner år sedan.

Den kraftiga omvandlingen har medfört att den äldre berggrunden delvis smält upp och omkristalliserat, vilket gör att det inom stora områden är svårt att avgöra om ursprungsbergarten varit en ytbergart eller en djupbergart. Bergarterna har därför på berggrundskartan neutralt betecknats som "migmatit och ådergnejs av varierande ursprung" samt getts en grundfärg som skiljer sig både från de äldre djupbergarternas (ljusbruna, mörkgröna) och de äldre ytbergarternas (ljusgula, blå). Inom Älvkarleby kommun bedöms dock ursprunget vara djupbergarter (granitoider). Figur 6-6b visar ett exempel på ådergnejs.

6.4 Berggrundens homogenitet

Berggrundens homogenitet är svårbedömd inom hela kommunen på grund av avsaknaden av detaljerade berggrundskartor och låg blottningsgrad. Som inhomogeniteter räknas i detta sammanhang till exempel mindre intrusioner, gångbergarter och inneslutningar. Detaljerad information om detta saknas i hela undersökningsområdet.

Generellt sett bedöms dock de större massiven av yngre granit som relativt homogena med undantag för området nordväst om Älvkarleby. Hedesundagraniten i undersökningsområdets södra del bedöms i sin helhet som homogen och graniten i området runt Karlholmsbruk bedöms vara mest homogen öster om Karlholmsbruk. Enstaka fältkontroller i området indikerar en ökad frekvens av basiska inneslutningar och pegmatitgångar i de västra delarna. Noteras skall dock att bedömningen försvåras av den låga blottningsgraden i området väster om Karlholmsbruk.

Den minst homogena berggrunden inom Älvkarleby kommun återfinns troligtvis i kommunens norra del. I detta område förekommer migmatit och ådergnejs med stora variationer vad gäller kornstorlek och sammansättning samt med betydande inslag av grovkornig pegmatit och gångar av finkornig granit. Stora delar av området överpräglas dessutom av betydande plastisk deformation vilket ytterligare förstärker den inhomogena karaktären.

Betydande bergartsvariationer förekommer också i området väster om Älvkarleby där yngre granit, pegmatit, metavulkanit och basiska bergarter förekommer i flera små områden liksom enstaka mindre förekomster av marmor (ej medtagna på berggrundskartan i Figur 6-1). Området bedöms dessutom vara malmpotentiellt.

7 Radon i jordarter och berggrund

Över hela Älvkarleby kommun finns flygradiometriska mätningar som möjliggör bestämning av det översta marklagrets radiumhalt. Radium ingår i urans sönderfallskedja och är modernuklid till radon. Flygmätningarna har, tillsammans med information om jordarternas utbredning, använts för att framställa en radonprognoskarta, Figur 7-1, samt en karta över berggrundens radiumhalt, Figur 7-2. Som jordartsgeologiskt underlagsmaterial har använts den karta som sammanställts i förstudien.

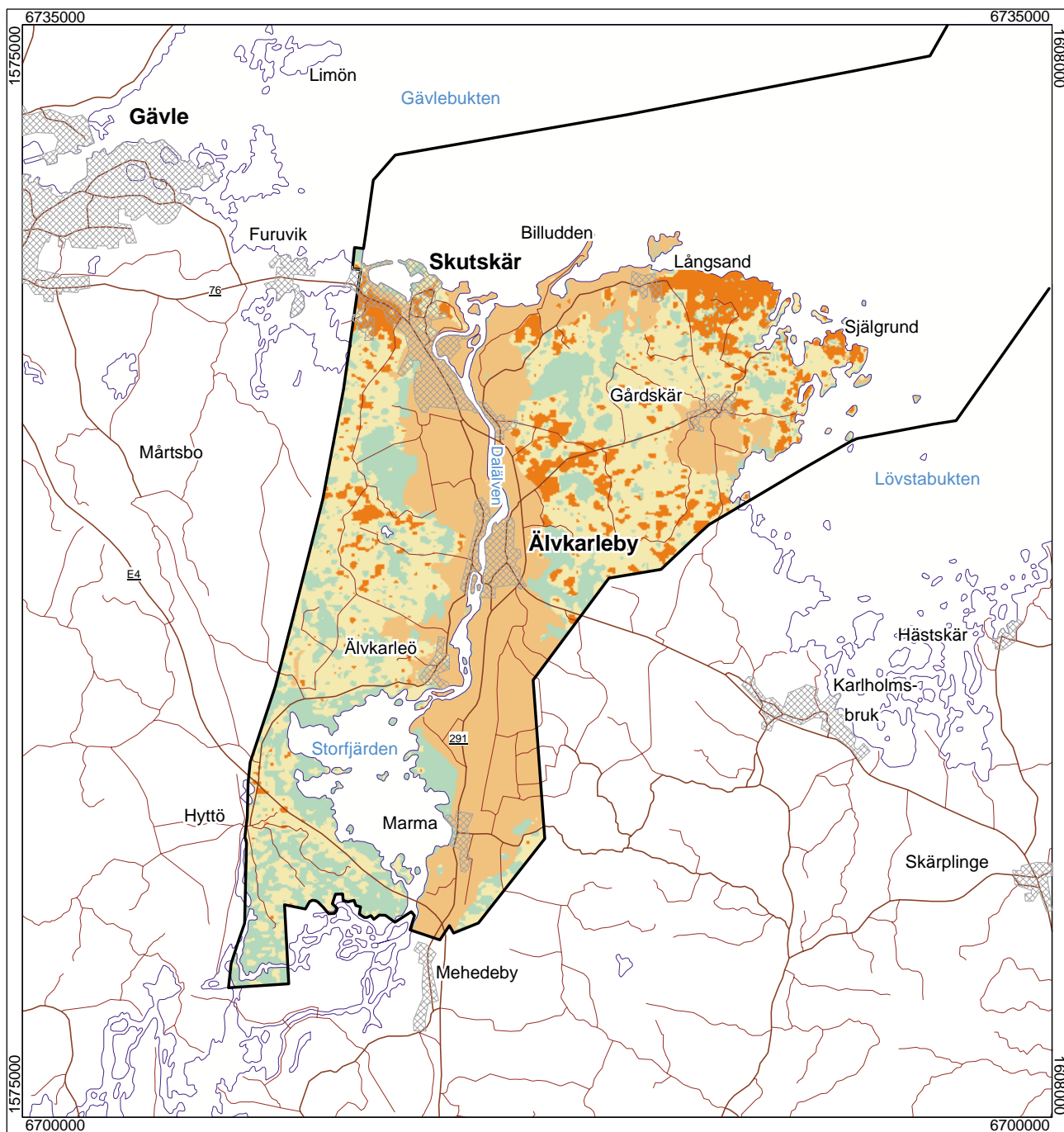
Radonhalten i de lösa jordlagren är av intresse både vid planering av nybyggnation och för det befintliga bostadsbeståndet. Detta gäller även radiumhalten i berggrunden om hus är, eller avses bli, byggda på krossberg. Radiumhalten i berggrunden kommer att avgöra radonavgången i en underjordsanläggning och kan påverka ventilationsbehovet både under byggnation och drift (Åkerblom och Lindén, 1994). Ett djupförvar kommer att tillföras radon genom avgång från bergytter, krossat berg och från inläckande grundvatten. Kunskap om vilka radonhalter som kan förväntas är därför av stort värde för att kunna anpassa konstruktionen till de krav som måste ställas med hänsyn till radonförhållandena. Radiumhalterna i det utsprängda materialet kan också medföra begränsningar av möjliga användningsområden, exempelvis som ballastmaterial.

7.1 Jordarter

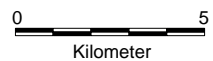
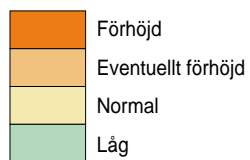
Jordarter klassificeras som högradonmark, normalradonmark och lågradonmark. För en tät jordart, exempelvis lera, kan radiumhalten vara betydligt högre än i en mer permeabel jord, exempelvis grus, utan att detta medför ökad radonrisk. Klassning av mark avseende radon beror därför både på jordartens radiuminnehåll och på jordartstyp. Utifrån flygburna spektrometermätningar av markytans gammastrålning kan det översta marklagrets radiumhalt beräknas i en första prognos över radonpotentialen. Däremot går det inte att direkt göra en klassning enligt vad som stipuleras för att upprätta en radonriskkarta då detta kräver kompletterande markmätningar (Åkerblom m fl, 1988).

Utgående från bestämningen av radiumhalten i marken har den klassats i fyra grupper – låg, normal, eventuellt förhöjd och förhöjd radonpotential – beroende på radiumhalt och jordartstyp, se Figur 7-1. Åsar, grusförekomster och fyllningar medför ofta förhöjd radonrisk och klassas därför, om inte radiumhalten är så hög att den motiverar klassningen förhöjd radonpotential, alltid som områden med eventuellt förhöjd potential.

Uppsalaåsen med dess isälvsediment och omgivande svallsediment i form av sand och grus intar en betydande areal inom Älvkarleby kommun, se Figur 5-1. Eftersom radonpotentialen i dessa jordarter enligt ovan alltid klassas som minst "eventuellt förhöjd" kommer en stor andel av kommunen att ges denna klassning. I resten av kommunen, som domineras av morän, är radonpotentialen i allmänhet låg till normal. Undantag, med förhöjd radonpotential, är i första hand ett område öster om Långsand och i andra hand några områden belägna väster om Skutskär samt NNO om Älvkarleby. I övrigt finns endast mindre områden med förhöjd radonpotential. Värt att notera är att radonpotentialen är genomgående något högre i den norra delen av kommunen jämfört med den södra.

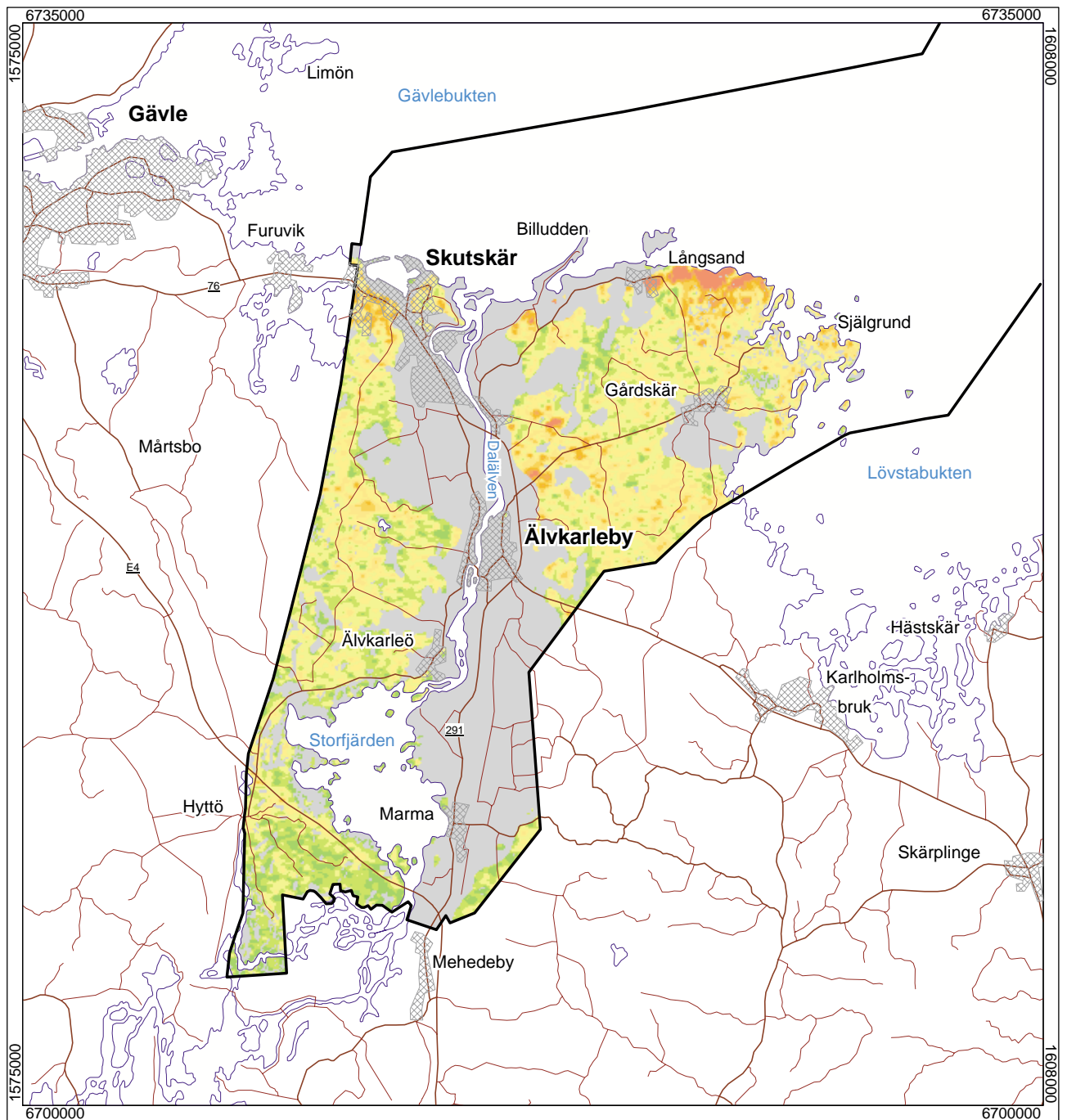


RADONPOTENTIAL

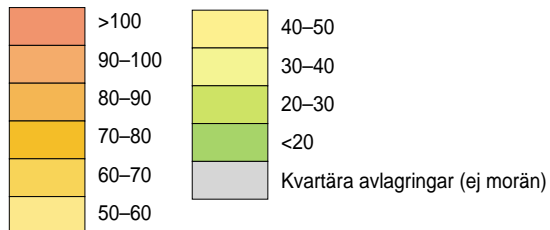


SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Figur 7-1. Markradonpotential i Älvkarleby kommun.



RADIUMHALT (Bq/kg)



0 5
Kilometer

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

Figur 7-2. Berggrundens radiumhalt i Älvkarleby kommun.

7.2 Berggrund

Radiometriska flygmätningar över blottad berggrund möjliggör bestämning av bergartens radiumhalt. Blottad berggrund utgör normalt ganska små ytor men stora delar av Sverige täcks i stället av morän, som relativt väl speglar den underliggande berggrundens sammansättning. Moränen återspeglar dock inte alltid till fullo den underliggande berggrunden. Exempelvis kan utspädning med annat material och förekommande växtlighet göra att de erhållna värdena blir något lägre än berggrundens verkliga radiumhalt.

Vid beräkningen av berggrundens radiumhalt har analysen endast omfattat områden som i det jordartsgeologiska materialet klassificerats som blottat berg eller som morän. Övriga ytor har gråstrerats på kartan. Inom Älvkarleby kommun bortfaller därigenom ungefär hälften av ytan eftersom den täcks av andra jordarter än morän. På grund av att blottningsgraden är mycket låg, se Figur 5-2, blir dessutom bedömningen av resterande del av kommunen mindre säker.

Radiumhalter i berggrunden på upp till 30 becquerel per kilo (Bq/kg) är normala halter och radiumhalter över ca 50 Bq/kg kan betecknas som anomala. Sett ur den synpunkten är radiumhalten vanligen normal till svagt förhöjd, samt inom spridda områden, främst i kommunens norra del, måttligt förhöjd.

Emellertid finns ett område, öster om Långsand, med kraftigt förhöjd radiumhalt. Mätningarna indikerar maximala radiumhalter i berggrunden på upp till ca 200 Bq/kg vilket motsvarar ungefär 15 g/ton uran. De höga radiumhalterna uppträder i de starkt omvandlade bergarter, migmatit och ådergnejs, som återfinns längs hela kusten i Älvkarleby kommun. Markmätningar i trakten av Långsand har lokalt påvisat mycket höga radiumhalter, mer än 10 000 Bq/kg.

Hedesundagraniten i den sydvästra delen av undersökningsområdet uppvisar övervägande låg radiumhalt. Dock finns ett område allra längst i sydväst, utanför Älvkarleby kommun, med högre radioaktivitet, se strålningskartan i Figur 6-5. Genomsnittliga radiumhalter på ca 110 Bq/kg har rapporterats från markmätningar av Hedesundagranit inom Tierps kommun (Lindén och Mellander, 1985).

8 Deformationszoner

I detta kapitel ges först några viktiga definitioner av olika typer av deformationszoner och hur de bildas. Vidare beskrivs metodiken för hur deformationszoner har identifierats utifrån befintlig information och hur de karakteriseras. Därefter ges en beskrivning av de dominerande deformationszonerna inom Älvkarleby kommun med omgivning och en sammanfattning av hur de uppträder i tid och rum.

Regionala deformationszoner måste undvikas vid anläggningen av ett djupförvar, dels för att de i sig kan medföra säkerhetsmässigt ogynnsamma förhållanden, dels för att eventuella framtida rörelser i berggrunden företrädesvis förväntas ske längs sådana zoner.

8.1 Definitioner

En deformationszon är en svaghetszon i berggrunden, i vilken deformationen är betydligt kraftigare än i omgivande bergmassa, och utefter vilken berggrunden på ömse sidor om zonen har rört sig. Deformationszoner kan vara av både plastisk och spröd karaktär, beroende på hur djupt ned i jordskorpan som deformationen skett.

Sker deformationen på stora djup (mer än 10–15 km) och under varma förhållanden (över 250–350 °C) deformeras bergarterna plastiskt, likt en trögflytande massa, och zonen benämns då allmänt plastisk deformationszon eller plastisk skjuvzon. Dessa zoner kan variera i bredd från mindre än en decimeter till flera kilometer. Deformationen är vanligtvis inhomogen, d v s den varierar i intensitet, och bergarterna uppvisar kraftig förskiffring eller bandning samt stänglighet. I denna rapport används termen plastisk skjuvzon vanligen för områden som bedöms innehålla en hög koncentration av enskilda plastiska zoner. Inom större system av sådana skjuvzoner är de mellanliggande områdena ofta linsformade och benämns då tektoniska linsar.

Högre upp i jordskorpan (mindre än 10–15 km) där temperaturen är lägre (under 250–350 °C) är deformationen av spröd karaktär, d v s det sker en mekanisk nedbrytning och uppsprickning av berggrunden. I detta fall kallas zonen allmänt för en spröd deformationszon eller sprickzon. En förkastning är en sprickzon längs vilken rörelser skett parallellt med zonen. Sprickzoner avgränsar berggrundsblock, vars storlek är beroende av med vilket inbördes avstånd zonerna uppträder. I östra Sverige skedde övergången från plastisk till spröd deformation för ca 1 600 miljoner år sedan, när jordskorpan stabiliserats efter det att den svekokarelska orogenesisen avklingat.

Termen lineament används för en ospecificerad, topografiskt och/eller magnetiskt framträdande, linjär (långsträckt) struktur.

8.2 Metodik

För att identifiera och beskriva deformationszonerna har en sammanställning gjorts av plastiska planstrukturer (förskiffring, gnejsighet, bandning) som uppmätts i samband med tidigare utförd geologisk kartering inom området, se Figur 8-1. Vidare har i huvudsak magnetiska och topografiska data använts vid tolkningsarbetet, se Figur 8-2 och 8-3. Rapporterade fältiakttagelser av kraftigt deformerade bergarter (krossbreccior) har också använts.

För att på ett effektivt sätt kunna nyttja informationen i de olika datamängderna har en stor del av tolkningsarbetet skett med hjälp av digitala presentations- och bildanalyssystem. En integrering har skett direkt i tolkningsprocessen, där flera informationskällor har kunnat studeras samtidigt. Ett flertal mellanprodukter har framtagits av vilka kan nämnas formlinjer, magnetiska konnektioner samt topografiska och magnetiska lineament.

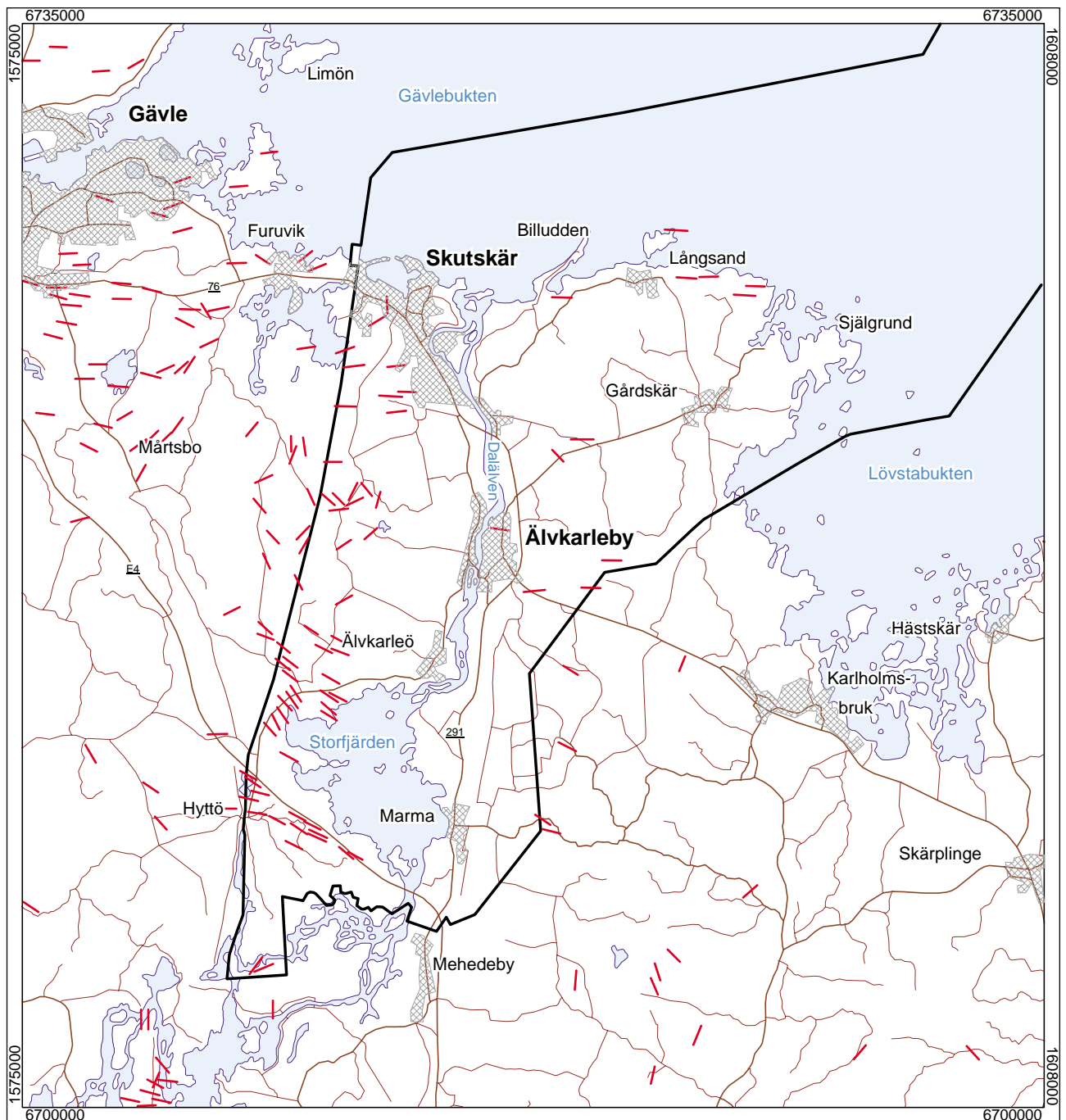
Formlinjer visar den regionala trenden av plastiska planstrukturer äldre än ca 1 600 miljoner år, sannolikt bildade under tidsintervallet för ca 1 900–1 800 miljoner år sedan. Formlinjerna som presenteras på deformationszonskartan, se Figur 8-4, är baserade på en interpolation av fältmätningar av planstrukturer. Basinformationen har hämtats från SGUs äldre berggrundskartor publicerade före 1950 (se Kapitel 3). I de områden där fältinformationen är sparsam har de strukturella formlinjerna kompletterats med magnetiska konnektioner.

Magnetiska konnektioner sammanlänkar bandade, magnetiska anomalimönster av likartad karaktär (jämför Figur 8-2 och 8-4). Anomalier som förmodas vara orsakade av gångbergarter, t ex diabas, är undantagna.

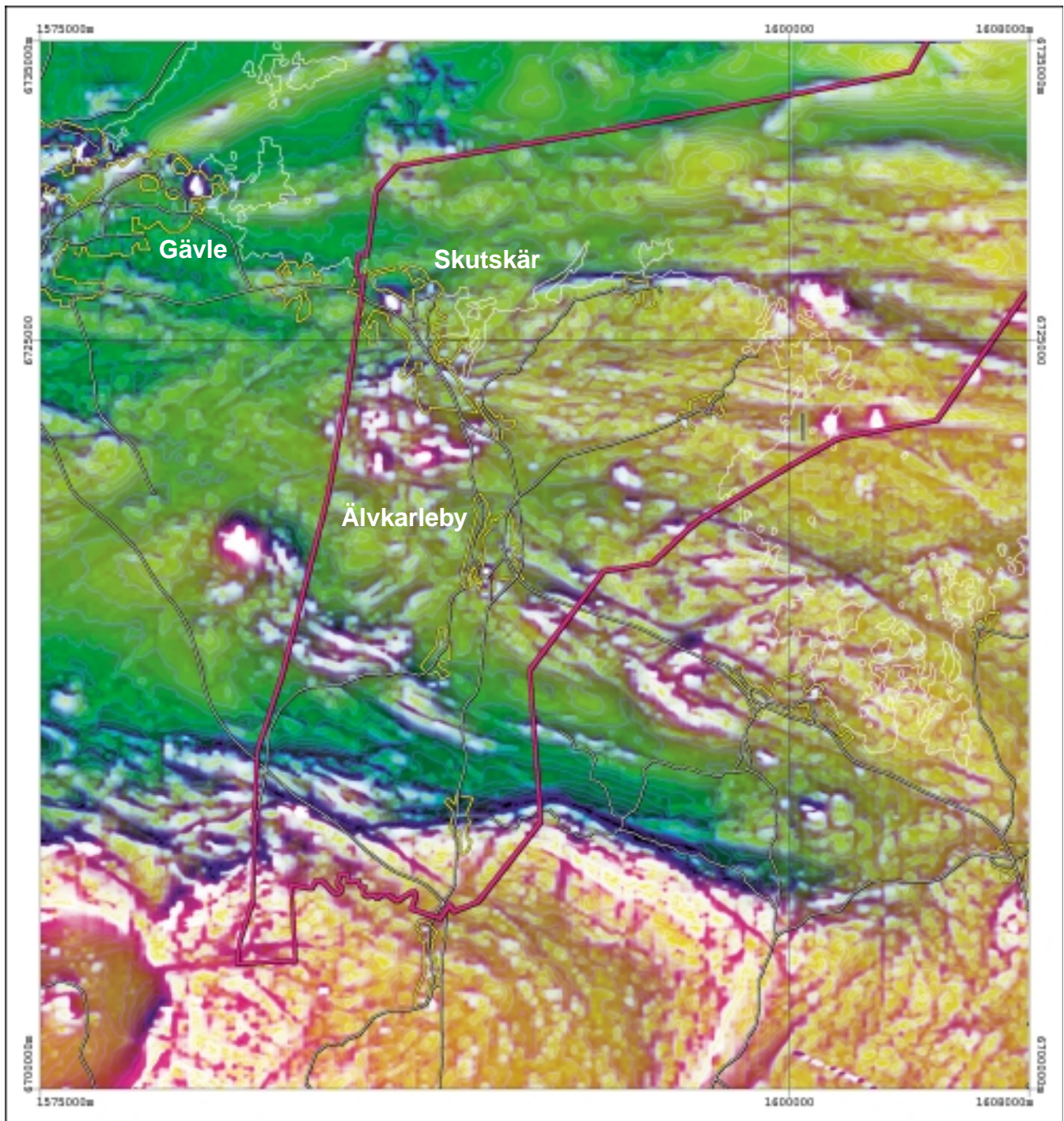
Formlinjer och magnetiska konnektioner återspeglar berggrundens storskaliga strukturriktningar. Sammanställning av dessa linjer ger ofta en antydning om förekomsten av plastiska skjuvzoner. Mellan skjuvzonerna finns områden med mer homogen och mindre intensiv plastisk deformation eller med odeformerade bergarter. Utmärkande är också att planstrukturerna i den omgivande berggrunden ställvis är inböjda mot de plastiska skjuvzonerna. Längs zonerna påträffas ofta starkt förskiffrade eller bandade samt stängliga bergarter.

Topografiska och magnetiska lineament som kan följas minst 4–5 km i strykningsriktningen har tolkats och sammanställts, se Figur 8-4. Längden på dessa storskaliga lineament, tillsammans med att de delvis utgör bergartsgränser (jämför Figur 8-4 med Figur 6-1), tyder på att de oftast utgör sprickzoner och förkastningar. Dessa spröda deformationszoner har bildats senare än för ca 1 600 miljoner år sedan.

Storskaliga spröda deformationszoner utgör vanligen sänkor fyllda med glaciala och/eller postglaciala avlagringar, moss- och myrmarker eller vattendrag, varför direkta studier sällan är möjliga. Att de utgör sänkor beror på att det uppspruckna berget i sprickzonerna är betydligt mer lättroderat än omgivande berg. Zonerna mejslas därför ofta ur av inlandsis och erosion och framstår då som topografiska sänkor eller branter. På den magnetiska anomalikartan framträder de i regel som smala, distinkta lågmagnetiska stråk beroende på att magnetit i det uppspruckna berget oxiderat till omagnetiska mineral. Alternativt ger zonerna upphov till avbrott i anomalimönstret. Sprickzoner har därför i huvudsak tolkats med hjälp av höjddata och magnetiska data med stöd av andra geofysiska flygmätningar (elektriska mätningar och gammastrålningsmätningar). Tolkningen bekräftas ibland av att krossbreccior bildade under relativt låg temperatur påträffas längs sådana zoner.

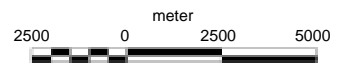


Figur 8-1. Mätvärden för strykningsriktning av planstrukturer i berggrunden inom Älvkarleby kommun med omgivning. Det finns endast ett fåtal mätvärden inom undersökningsområdet. Detta beror huvudsakligen på att systematiska mätningar av planstrukturer inte gjordes i samband med (den äldre) kartläggningen. Därutöver förekommer i dessa områden betydande inslag av mer välbevarade graniter, vilka vanligen saknar planstrukturer.

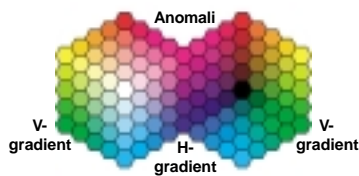


Magnetiskt anomalifält

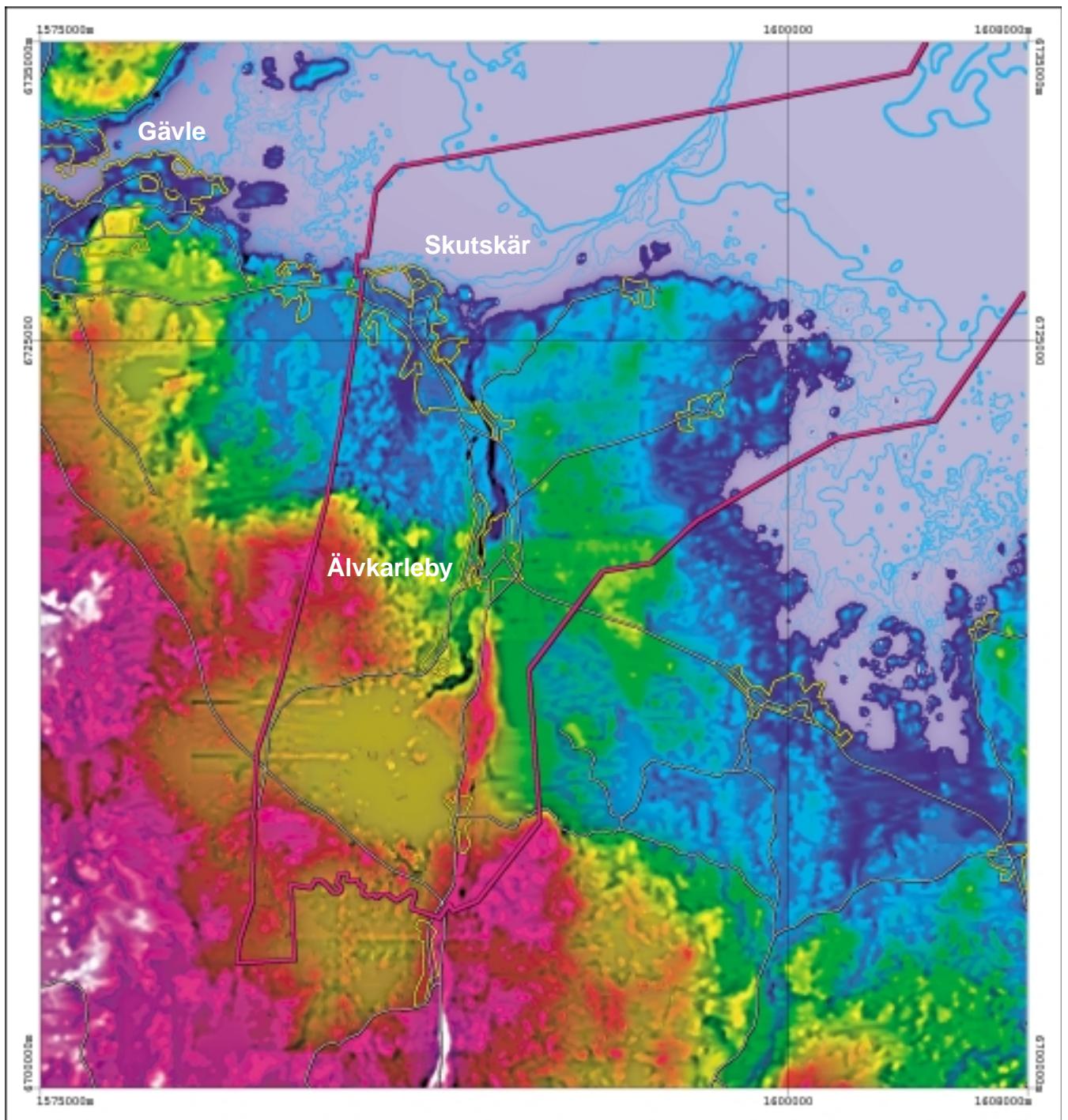
Geofysisk flygmätning, SGU och Boliden
Färgkombination av anomalifält, vertikal- och horisontalgradient



Skala 1:200,000

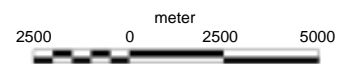


Figur 8-2. Magnetiskt anomalifält. Kontrastförstärkt för att framhäva strukturer. Ljusa nyanser visar högt anomalifält och kraftiga gradienter medan mörka nyanser visar lågt anomalifält och svaga gradienter.

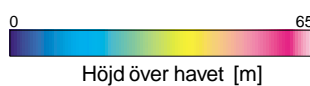


Topografisk karta

Höjddata (Lantmäteriet),
 gradienter förstärkta genom skuggning med vertikaldervatan.
 Djupkurvor (Sjöfartsverket) redovisas över havsområdet.



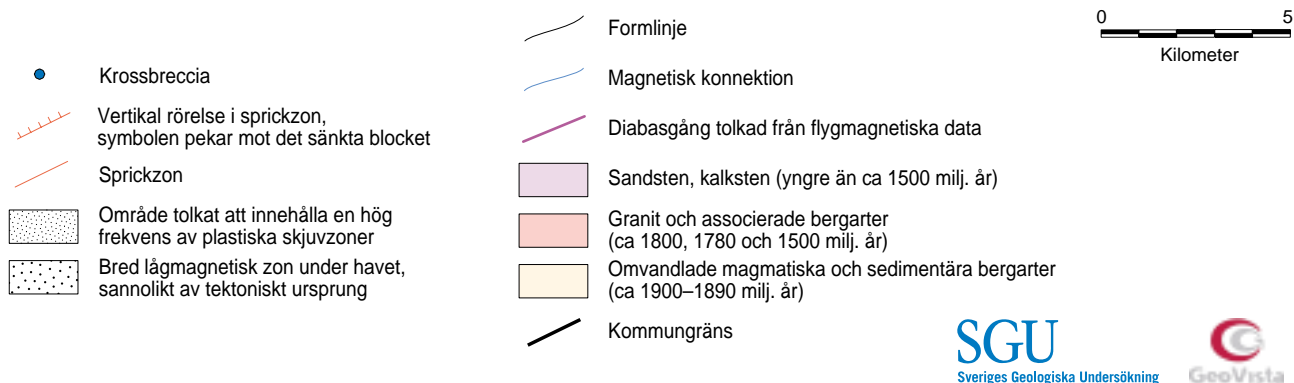
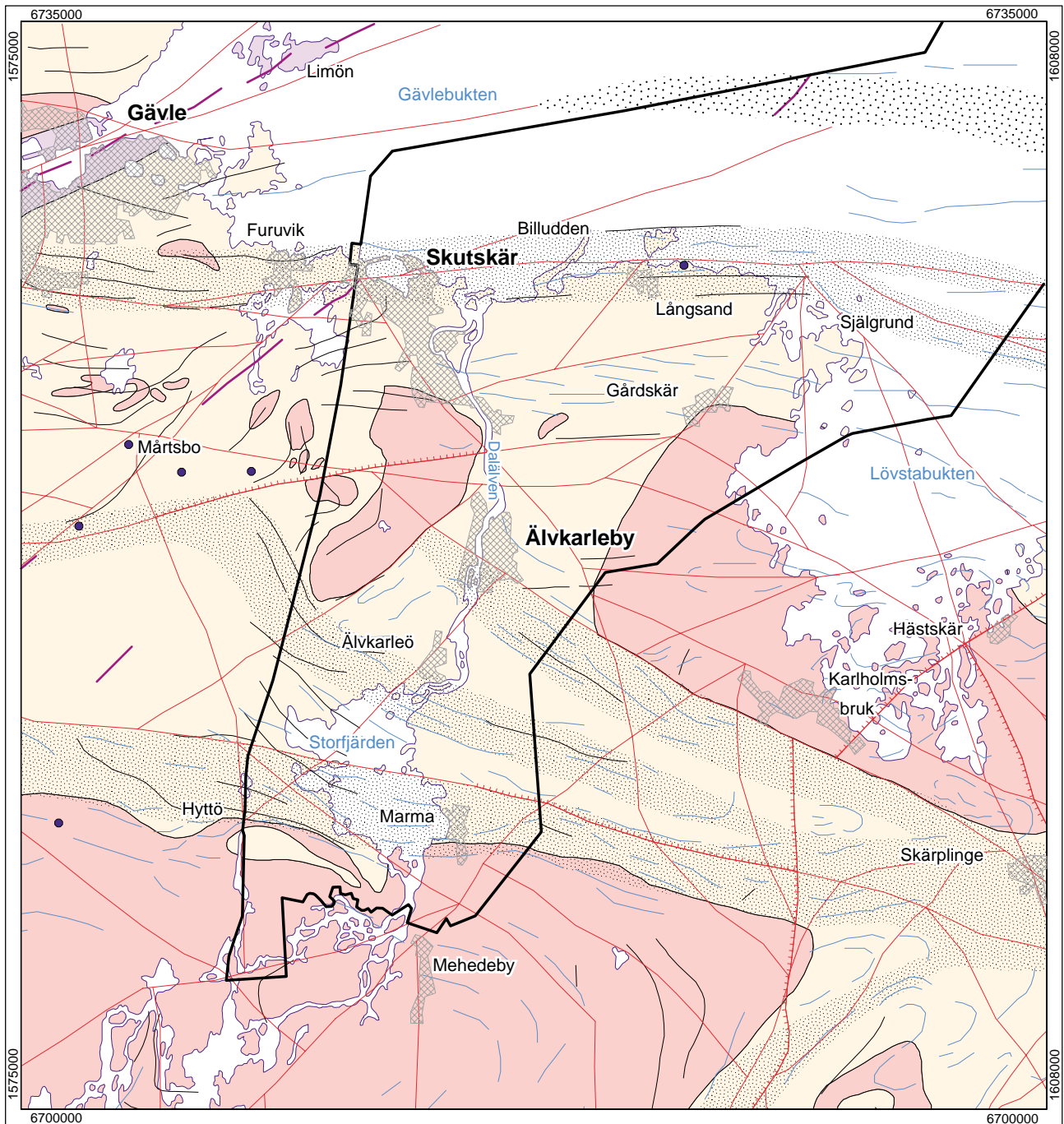
Skala 1:200,000



Djupkurvor:
 3,6,10,15,20,50 [m]



Figur 8-3. Topografisk karta över Älvkarleby kommun och omgivning.



Figur 8-4. Deformationszonskarta över Älvkarleby kommun och omgivning.

De i denna utredning tolkade spröda zonerna motsvarar första och andra ordningens sprickzoner (diskontinuiteter) i terminologin enligt Almén m fl (1996), dvs zoner som kan följas minst några kilometer och ligger minst flera hundra meter från varandra. Den information som finns tillgänglig från tolkningar av flygbilder och satellitdata i närliggande områden (Olkiewicz, 1981; Stålhös, 1991) tyder på att många berggrundsblock definierade i denna studie innehåller kortare topografiska lineament. Vad gäller tolkningen av dessa småskaliga lineament är det svårt att avgöra om de indikerar mindre sprickzoner eller endast något mer lättroderad berggrund. Vid eventuella framtida studier bör förekomsten av mindre sprickzoner utredas.

Det bör noteras att flacka eller horisontella strukturer är betydligt svårare att identifiera än branta strukturer med de metoder som beskrivits. För att identifiera flacka deformationszoner krävs i allmänhet detaljerade undersökningar där fältkontroll, seismik och borring är de bäst lämpade metoderna.

Resultatet av tolkningarna, tillsammans med tidigare känd information, har sammanställts till en digital deformationszonskarta som är avsedd att presenteras i skala 1:100 000. Till denna rapport har bifogats en karta i skala 1:200 000, se Figur 8-4. Kartan visar olika bergartsgrupper inom området, utvalda från ett tektoniskt perspektiv (se nedan) samt förekomster av krossbreccior. Vidare presenteras tolkade formlinjer, magnetiska konnektioner, skjuvzoner ("områden påverkade av kraftig plastisk deformation") samt storskaliga sprickzoner och förkastningar.

I de följande avsnitten beskrivs först de viktigaste bergartsgrupperna i ett tektoniskt perspektiv och sedan deformationszonerna utifrån den indelning i delområde A och B som framgår av Figur 8-5. De bägge delområdenas speciella karaktär sammanfattas i samband med beskrivningen nedan.

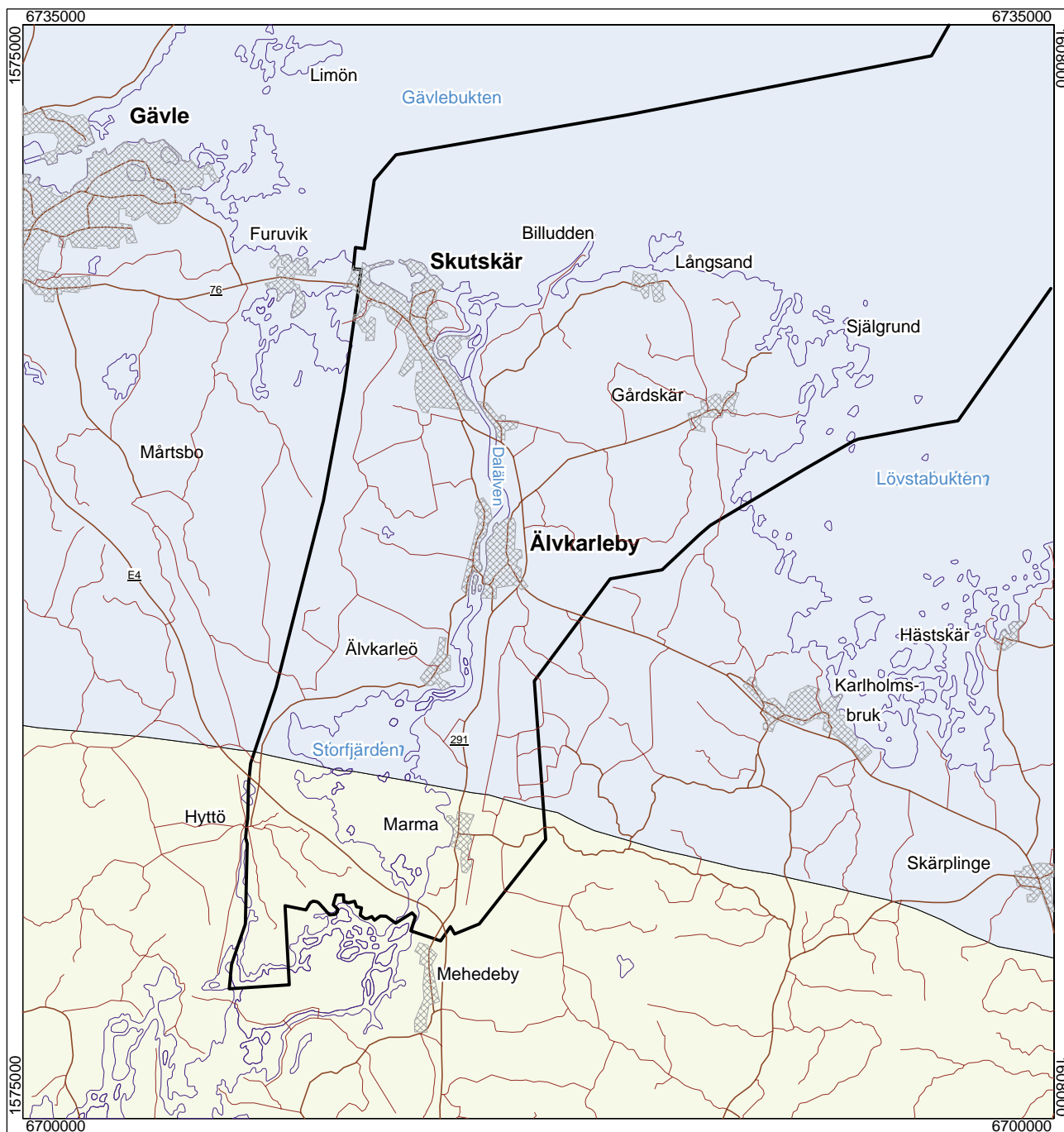
8.3 Bergartsgrupper i ett tektoniskt perspektiv

Berggrunden inom undersökningsområdet har indelats i tre huvudgrupper med utgångspunkt från deformationsstil och grad av omvandling, se Figur 8-4. De tre grupperna, rangordnade efter den ytmässiga fördelningen, är:

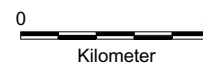
Grupp 1: Vulkaniska, sedimentära och intrusiva bergarter (främst granitoider) med åldrar omkring 1 900–1 890 miljoner år. Bergarterna har påverkats av plastisk deformation och omvandling, vilken kulminerade för ca 1 850–1 800 miljoner år sedan under den svekokarelska orogenesen (se Kapitel 4). Inom delområde B är bergarterna ställvis kraftigt omvandlade med bildning av ådrade och migmatitiska bergarter (se Kapitel 6 och Figur 6-1).

Grupp 2: Graniter, pegmatiter och apliter med åldrar omkring 1 800, 1 780 och 1 500 miljoner år. Dessa bergarter är välbevarade och uppvisar ingen eller endast begränsad plastisk deformation.

Grupp 3: Yngre sandsten och diabasgångar i den nordvästra delen av undersökningsområdet. Dessa bergarter har bildats efter det att den plastiska deformationen och omvandlingen av berggrunden upphört.



- Delområde A
- Delområde B



Figur 8-5. Karta som visar delområden för beskrivning av deformationszoner.

8.4 Tolkade deformationszoner

Utbredningen av berggrundens tre huvudgrupper, utifrån ett tektoniskt perspektiv, framgår av deformationszonskartan, se Figur 8-4. Plastiska skjuvzoner, d v s områden som tolkas innehålla en hög koncentration av enskilda plastiska skjuvzoner, har markerats med ett svart prickraster. Zonerna kan följas flera tiotals kilometer. En bred (upp till 2 km i undersökningsområdet) lågmagnetisk zon under havet i Gävlebukten, som är följbär österut flera tiotals kilometer, visas på kartan med ett grövre raster. Zonen är sannolikt av ett komplext tektoniskt ursprung.

Tolkade sprickzoner av regional karaktär, som är tydligt framträdande och huvudsakligen följbära minst 4-5 kilometer, visas med röda linjer på kartan, se Figur 8-4. Dessa linjer markerar smala zoner där i de flesta fall lågmagnetiska anomalier eller avbrott i det magnetiska mönstret sammanfaller med topografiska sänkor eller branter, d v s det finns både en magnetisk och topografisk indikation på en svaghetszon i berggrunden. Rapporterade fältiakttagelser av krossbreccior visas med blå punkter. Tillgänglig dokumentation om i vilken riktning berggrunden längs en deformationszon har rört sig visas också på deformationszonskartan. Tolkningen av sprickzonerna i havet baseras huvudsakligen på förekomst av lågmagnetiska linjära anomalier delvis i kombination med topografiska sänkor indikerade av djupdata.

Noteras bör att hela undersökningsområdet ligger mindre än 100 meter över havet och att höjdskillnaderna i allmänhet är små. Den huvudsakligen plana topografiska ytan i området motsvarar den subkambriska peneplanet (se Kapitel 4 och Lidmar-Bergström, 1994).

8.4.1 Delområde A

Delområde A, se Figur 8-5, utgör en mindre del av undersökningsområdet och omfattar bara den sydligaste delen av Älvkarleby kommun. Delområdet domineras av den ca 1 780 miljoner år gamla Hedesundagraniten (Grupp 2) men äldre magmatiska bergarter (huvudsakligen Grupp 1) förekommer i den sydöstra delen (se också Kapitel 6 och Figur 6-1).

Delområdet karakteriseras vidare av en plastisk deformationszon i NNO-lig riktning i områdets sydöstra del, se nedan, och olika sprickzoner i ett blockmönster. Gränsen mellan delområde A och B följer ett betydelsefullt system av VNV-liga deformationszoner som sträcker sig från Storfjärden i väster till söder om Skärplinge och vidare mot sydost. I gränssonen är bergarterna påverkade av både spröd och plastisk deformation, och gränsen i Figur 8-5 definieras av en regional spröd zon (förcastning).

Plastisk deformation

Orienteringen av formlinjer och magnetiska konnektioner inom delområde A antyder storskaliga veckstrukturer. Veckstrukturerna är asymmetriska i hela regionen (Bergman m fl, 1999), med bredare veckben som stryker ONO- till O-V-ligt och smalare veckben, men med högre grad av plastisk deformation, som stryker i stort sett NNO-ligt. Vecken böjer förskiffringen i de äldre bergarterna samt en planstruktur och magnetiska konnektioner, sannolikt av magmatisk ursprung, i den yngre Hedesundagraniten. Axialplanen (de plan som sammanlänkar veckomböjningarna) stryker i riktning NO. Dessa storskaliga

veckstrukturer tillhör sannolikt ett system av veck som är typiskt för den östra delen av Mellansverige, från Västervik i söder till Hudiksvall i norr (Asklund, 1921; Stålhös, 1962, 1981; Lundegård, 1967; Sukotjo, 1995a, b).

En relativt smal (1–2 km), utpräglad zon längs den östra kontakten av Hedesunda-graniten, i vilken formlinjer stryker i NNO-lig riktning, kan följas från söder om Tierp (utanför undersökningsområdet) norrut mot Skärplinge. Denna zon förekommer i den sydostligaste delen av undersökningsområdet och har preliminärt tolkats som en plastisk skjuvzon (Bergman m fl, 1999)

Spröd deformation

De tolkade regionala topografiska och lågmagnetiska lineamenten inom delområde A bildar ett regelbundet tvärkorsande mönster som avgränsar berggrundsblock mellan enskilda lineament. Lineamentens riktningar är NV, NNO till N-S och NO till ONO. Undersökningar i närliggande områden öster och sydost om kommunen visar att de mer betydande sprickorna till helt övervägande del är hopläkta av kvarts. I småsprickorna är däremot kalcit den dominerande sprickfyllnaden (Stålhös, 1991).

Det NNO- till N-S-liga lineament som sträcker sig genom Tierp norrut mot Karlholms bruk i delområdets sydöstra del, bildar den tydligaste topografiska sänkan inom delområdet. Längs detta lineament är peneplanet uppbrutet och stört. Peneplanet på västra sidan av lineamentet genom Tierp faller skarpt ca 30 m i förhållande till den östra sidan som i sin tur stupar flackt mot öster. Liknande vertikala förskjutningar har skett längs lineamenten med samma strykningsriktning, vilka förekommer mot sydost i Tierps och Östhammars kommuner (Bergman m fl, 1996, 1999) genom sjön Strömaren, Österbybruk och nära Gimo, se Figur 8-4. Störningar i det subkambriska peneplanet bekräftar att åtminstone det NNO- till N-S-liga lineamentet i delområdets sydöstra hörn är en förkastningszon av regional karaktär. Detta stöder tolkningen att lineamenten generellt sett utgör sprickzoner och förkastningar.

De regionala deformationszonerna avgränsar berggrundsblock som till ytan ofta är flera tiotals km² stora. En närmare studie av deformationszonskartan (Figur 8-4 samt motsvarande karta i Bergman m fl, 1999) visar dock att områden i anslutning till lineamentet genom Tierp och norrut mot Karlholmsbruk innehåller berggrundsblock som är mindre. En högre frekvens av mindre sprickor och kortare sprickzoner än de som har dokumenterats i denna studie kan också förväntas i närheten av detta lineament. Särskild hänsyn bör tas till dessa faktorer om vidare undersökningar skulle bli aktuella.

Detaljerade undersökningar vid Dannemora järnmalmsförekomst, 1 km VNV om Vattholma-Österbybruk-förkastningen (Bergman m fl, 1996, 1999) i Östhammars kommun, har påvisat flera horisontella eller svagt stupande förkastningar på olika nivåer i gruvan samt två system av brant stupande förkastningar som stryker i riktning NNO och NNV (Lager, 1986). Bredden på zonerna som stryker NNO kan vara upp till 20 m. De består av kloritskölar, leromvandlingar och är ställvis vattenförande (Olkiewicz, 1981). Denna information betonar behovet av att, vid fortsatta undersökningar, noga beakta förekomster av både branta och flackt stupande sprickzoner.

8.4.2 Delområde B

Delområde B, se Figur 8-5, omfattar större delen av undersökningsområdet och av Älvkarleby kommun. Det domineras av ca 1 900–1 890 miljoner år gamla magmatiska bergarter (Grupp 1), främst metagranitoider, vilka längs kusten i stor utsträckning är kraftigt omvandlade till ådergnejser och migmatiter (se Kapitel 6 och Figur 6-1). Yngre, mer välbevarade graniter och pegmatiter (Grupp 2) samt sandsten och diabas (Grupp 3) utgör underordnade komponenter.

Delområdet karakteriseras av plastiska deformationszoner i VNV- till O-V-lig riktning. Dessa zoner bildar ett sammanflätat nätmönster kring tektoniska linser som bedöms vara mindre påverkade av plastisk deformation. Sprickzonerna i delområdet uppvisar också en dominerande VNV- till O-V-lig strykningsriktning.

Plastisk deformation

Formlinjer, magnetiska konnektioner och bergartsgränser stryker i regel VNV eller O-V inom ett antal zoner som sträcker sig dels sydväst om Älvkarleby och Karlholmsbruk, dels längs kustområdet vid Skutskär och Långsand. De publicerade berggrundskartorna indikerar att formlinjerna representerar en förskiffring som stupar vertikalt eller brant mot söder. Zonerna är upp till flera kilometer breda och kan följas över flera tiotals kilometer i ett sammanflätat nätverk, vilket karakteriserar berggrunden i den nordligaste delen av Uppsala län (Antal m fl, 1998). En bred, lågmagnetisk zon med O-V-lig riktning förekommer i Gävlebukten i den nordligaste delen av undersökningsområdet.

På grund av att information från detaljerad kartering och mätningar av planstrukturer saknas, är läget av dessa zoner osäkert. Zonernas lägen har inte heller, i detta område, kunnat definieras med hjälp av flygmagnetiska data. Emellertid finns det betydligt bättre kontroll av zonerna i delområdets fortsättning mot sydost, i Tierps och Östhammars kommuner (se Bergman m fl, 1996, 1999). Zonerna sydväst om Älvkarleby och Karlholmsbruk tolkas utgöra den västra fortsättningen av det system av skjuvzoner som benämns *Singö-skjuvzonen*. På motsvarande sätt tolkas zonen längs kusten genom Skutskär och Långsand som den västra fortsättningen av *Örskärzonen* (Bergman m fl, 1998). Den breda lågmagnetiska zonen har också noterats öster om undersökningsområdet och av Bergman m fl (1999) benämns *Gävlebuktenzonen*.

Singö-skjuvzonen har tolkats som en plastisk skjuvzon (Tälbot och Sokoutis, 1988, 1995), vilken varit aktiv på relativt djupa nivåer i jordskorpan. Fältundersökningar öster om Östhammar (Tälbot och Sokoutis, 1988, 1995) och omkring Forsmarks kärnkraftverk (Bergman m fl, 1996, 1998) har påvisat flera tunna zoner med starkt plastiskt deformerade bergarter som stryker NV till VNV inom denna zon. Berggrunden söder om enskilda plastiska zoner har rört sig uppåt och åt väster i förhållande till berggrunden på den norra sidan. Fältkontroll av ett fåtal hållar mellan Marma och Skärplinge samt öster om Skutskär bekräftar den kraftiga plastiska deformationen i de tolkade västra fortsättningarna av Singö-skjuvzonen, Figur 8-6a, och Örskärzonen, Figur 8-6b.

I de tektoniska linserna mellan de plastiska deformationszonerna uppvisar strukturindikationer som formlinjer, magnetiska konnektioner och bergartsgränser huvudsakligen en NO-lig strykningsriktning. I den stora linsen mellan Älvkarleby och Långsand förekommer dessutom yngre graniter och till dessa associerade bergarter. Tidigare undersökningar öster om Lövstabukten visar att de tektoniska linserna mellan skjuvzonerna uppvisar veckstrukturer med axialplan som stryker O-V till NV (Bergman m fl, 1999). Begränsade fältkontroller mellan Älvkarleby och Långsand bekräftar att veckning av förskiffring, gnejshet och bandning förekommer inom denna tektoniska lins, se Figur 8-6c.

Spröd deformation

Delområde B domineras av topografiska och lågmagnetiska lineament i VNV- till O-V-lig riktning. Avstånden mellan lineamenten är upp till ca 3–5 km, de kan följas i åtskilliga tiotals kilometer och avgränsar berggrundsblock som är upp till flera tiotals kvadratkilometer stora. Exempel på sådana lineament sträcker sig från väster om Storfjärden till söder om Skärplinge, från Älvkarleby till Karlholmsbruk och vidare österut mot Forsmark (benämnd Forsmark-Granfjärden-linjen av Svedmark, 1887 och av Stephansson och Carlsson, 1976) samt längs kusten vid Skutskär och Långsand. Den senare delar sig öster om Långsand i en nordlig gren som fortsätter österut under Gävlebukten och en sydlig gren som sträcker sig i OSO-lig riktning mot Killskär i Tierps kommun och vidare österut mot Öregrundsgrepen och sundet mellan Gräsö och Örskär (Bergman m fl, 1999).

Även lineament med NV-, N-S- och NO- till ONO-lig strykningsriktning förekommer inom hela delområdet. De har en tendens till att visa ett något större inbördes avstånd, ca 5–15 km (jämför ovan). Många av dessa lineament skär tvärs över de tektoniska linserna som avgränsas av plastiska skjuvzoner i VNV- till O-V-lig riktning, se Figur 8-4.

Störningar i det subkambriska peneplanet (Lidmar-Bergström, 1994) har skett längs lineamenten mellan Storfjärden och Skärplinge, mellan Skärplinge och sydväst om Hästskär, genom Hästskär och Karlholmsbruk samt nordväst om Älvkarleby. Dessa störningar gör det möjligt att avgöra de relativa rörelserna längs lineamenten, se Figur 8-4. Berggrunden i delområde B har rört sig nedåt i förhållande till berggrunden i delområde A och berggrundsblocken väster om åtminstone några NV-, N-S- och NO- till ONO-liga lineament har rört sig nedåt i förhållande till blocken öster därom. De senare rörelserna liknar de som tolkats längs den förkastning som återfinns i den sydöstra delen av delområde A.

Detaljerade undersökningar av regionala sprickzoner saknas inom undersökningsområdet. I närliggande områden mot sydost i Tierps och Östhammars kommuner finns däremot detaljerade och väldokumenterade undersökningar av spröda förkastningszoner vid SKBs typområde Finnsjön respektive Forsmarks kärnkraftverk (se Bergman m fl, 1996, 1999 för en kort sammanställning av resultaten från dessa undersökningar). Dessa två områden ligger i den östliga fortsättningen av delområde B.

Ett viktigt resultat av ovan nämnda detaljundersökningar är dokumentationen av flackt stupande sprickzoner i regionen. Sådana zoner är svåra att identifiera med de metoder som använts i denna studie. Vidare bör noteras att i typområdet Finnsjön är sprickorna vanligtvis läkta med kalcit, laumontit, prehnit, kvarts, klorit, hematit, epidot och goethit. Epidot och kalcit är vanligtvis associerade med myloniter och breccierade bergarter, och har bedömts som de äldsta sprickfyllnadsmineralen. En annan generation av kalcit samt klorit och goethit är de yngsta. Sprickor som inte företer några tecken på reaktivering och som saknar sprickfyllnadsmineral är ovanliga. Slutligen bör noteras att en regional sprickzon nordost om Forsmarks kärnkraftverk (Singö-förkastningen av Carlsson och Christiansson, 1987) består av ca 200 m krossbreccia med talrika kvarts- och kalcitådror. Flera lerfyllda sprickor med en största bredd av 50 cm finns inne i breccian. Det dominerande lermineralet är illit.

Kraftigt deformerad berggrund bestående av krossbreccia har observerats längs ett fåtal lineament i delområde B, se Figur 8-4 och 8-6d. Förekomst av kraftigt deformerade bergarter i kombination med störningar i det subkambriska peneplanet bekräftar att åtminstone några lineament i delområde B är förkastningar av regional karaktär.



a) Brantstående plastisk skjuvzon i metagranitoid. Skjuvzonen stryker O-V och är minst 1 m bred. Den plastiska deformationen ökar markant från söder mot norr (från vänster till höger i bilden), (ca 9 km öster om Marma, RAK 6707138-1598507).



b) Kraftig deformation med O-V-lig strykningsriktning i en finkornig ådergnejs som ligger som en inneslutning i röd granit och pegmatit. Berggrunden i detta område är inhomogen (Långsand, RAK 6727250-1596213, samma lokal som Figur 8-6d)



c) Veckade ådror av pegmatit i grå metagranitoid. Veckstrukturen är klippt av en yngre pegmatitgång (övre delen av bilden), (vägen mellan Älvkarleby och Gårdskär i den tektoniska linsen mellan Älvkarleby och Långsand, RAK 6721256-1593062).



d) Kvartsläkt krossbreccia i en röd granit nära en tolkad regional sprickzon som stryker O-V längs kusten vid Skutskär (Långsand, samma lokal som Figur 8-6b).

Figur 8-6 a-d. Exempel på plastiska och spröda strukturer inom delområde B.

8.5 Deformationszoner i tid och rum

Den föreliggande dokumentationen av plastiska skjuvzoner samt av yngre sprickzoner och förkastningar ger en möjlighet att uppskatta berggrundens stabilitet i ett längre tidsperspektiv. Inte minst är det viktigt att försöka avgöra graden av reaktivering för att därmed göra en bedömning av framtida rörelser i jordskorpan.

De äldsta deformationszonerna i Älvkarlebyområdet bildades i form av plastiska skjuvzoner för 1 850–1 800 miljoner år sedan på mer än 10–15 km djup under varma förhållanden, sannolikt över 555 °C. Områden som bedöms innehålla en hög frekvens av sådana plastiska skjuvzoner är upp till några kilometer breda och kan följas över flera tiotals kilometer. Inom dessa zoner dominerar en starkt förskiffrad och stänglig, samt ofta inhomogen berggrund.

I samband med och efter den plastiska deformationen i området, höjdes berggrunden och blev med tiden allt kallare. För ca 1 600 miljoner år sedan övergick deformationen till att ske under mer spröda förhållanden, d v s bergarterna påverkades av en mekanisk nedbrytning och uppsprickning. Flera av sprickzonerna kan följas flera tiotals kilometer och är upp till ca 200 m breda. De är därmed i allmänhet betydligt smalare än de plastiska zonerna.

I stort sett alla de plastiska skjuvzonerna har reaktiverats en eller flera gånger när berggrunden senare deformerades under spröda förhållanden. Detta är ett viktigt skäl till att dokumentera var i terrängen de gamla, uthålliga deformationszonerna förekommer. Det finns emellertid också många sprickzoner som bildar egna system och övertvåras äldre plastiska skjuvzoner och tektoniska linser, exempelvis de regionala sprickzonerna som stryker NV, N-S, NO och ONO i kommunen.

Radiometrisk datering av uranmineral i kvarts-, kalcit- och kloritådror, vilka uppträder längs sprickor i den nordöstra delen av Uppsala län, har gett åldrar på ca 1 590–1 450 miljoner år (Welin, 1964). Det uranbärande mineralet i ådrorna är pechblände som förekommer tillsammans med hematit och olika sulfidmineral. Dateringen tyder på att åtminstone en del av sprickzonerna i regionen bildades bara en kort tid efter det att berggrunden lyfts upp till relativt ytliga nivåer (mindre än 10–15 km) och övergått till att deformerats under spröda förhållanden. Liknande åldrar har erhållits för epidotfyllda ådror i granitiska bergarter öster om Uppsala medan prehnit- och kalcitfyllda ådror ger en lägre ålder av ca 1 250–1 100 miljoner år (Wickman m fl, 1983).

En förskjutning av det subkambriska peneplanet längs olika förkastningar i undersökningsområdet indikerar att dessa förkastningar troligen har varit aktiva senare än för 545 miljoner år sedan. Studier av kalcitfyllda sprickor inom Singö-förkastningen (Erlström, 1987) tyder på att kalciten kommer från den nu borteroderade kalksten som täckte området för ca 450 miljoner år sedan. Rörelser i zonen efter avsättningen av kalkstenen har också påvisats. Åldersdateringen samt data från Finnsjön rörande sprickfyllnader av enskilda sprickor med olika mineral vid olika temperatur och djup, indikerar att rörelser längs åtminstone några sprickzoner förmodligen skett vid flera tillfällen, d v s de 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 och att området dessutom ligger inom en del av Sverige med låg seismisk aktivitet. Emellertid finns enstaka blockansamlingar, vid Marma och Älvkarleö i Älvkarleby kommun samt i närheten av Mehedeby i Tierps kommun, som av vissa forskare tolkats som orsakade av unga rörelser i berggrunden. Tolkningen är dock omtvistad (se även Kapitel 4.3)

De först förväntade framtida rörelserna av betydelse i berggrunden inom Älvkarleby kommun är de som kan komma att utlösas i samband med avsmältningen av nästa landis, om tidigast flera tiotusentals, möjligtvis 100 000 år. Rörelserna antas då företrädesvis ske längs med äldre förkastningar (Bäckblom och Stanfors, 1989; Stanfors och Ericsson, 1993).

9 Exploateringsintressen

I detta kapitel ges en kortfattad beskrivning av bergbundna naturresurser, som här benämns malm- och nyttostensförekomster, inom Älvkarleby kommun.

Ett djupförvar bör inte förläggas till en bergart eller inom ett område där mineralutvinning kan tänkas bli aktuell i en framtid eftersom nyttjandet av denna naturresurs då blockeras. Genom att undvika malmpotentiella områden minskar dessutom risken för att människor i samband med framtida mineralprospektering eller mineralutvinning oavsiktligt tränger in i djupförvaret.

9.1 Nyttostensförekomster

Med nyttosten menas en bergart som kan användas i byggnads- eller tillverkningsindustrin. Exempelvis kan en granit brytas och säljas som blocksten, eller den kan sågas och slipas till mindre block och plattor. Den kan även krossas och användas då övervägande som ballastmaterial. Oavsett användningsområde benämns förekomsterna nyttostens- eller naturstensförekomster.

Ballast är fyllnadsmaterial i t ex vägar och tillgång till ballast av hög kvalitet är viktigt i ett modernt samhälle. Därvid har andelen krossberg stadigt ökat i förhållande till t ex naturgrus. I Uppsala län ökade produktionen av krossberg från 10 % till 28 % av den totala ballastproduktionen under perioden 1994–1997 (SGU, 1998). Resterande 72 % utvinns huvudsakligen ur länets rullstensåsar.

Produktion av krossberg samt potentiella framtida bergtäkter

I Älvkarleby kommun finns en bergtäkt som producerar krossberg (Räkenhällarna, nr 1 i Tabell 9-1 och Figur 9-1). Brytningen har nyligen startats och tillståndsmängden är 800 000 ton (Länsstyrelsen i Uppsala län, 1999). Bergarten är en fin- till mellan-kornig, yngre granit innehållande smärre gångar av pegmatit.

En inventering av potentialen av krossberg inom Uppsala län (Länsstyrelsen i Uppsala län, 1997) visade på två lämpliga områden inom Älvkarleby kommun, en granodiorit vid Tisboda (nr 2 i Tabell 9-1 och Figur 9-1) och en granit öster om Överboda. Det är den senare bergarten som avses brytas i ovan nämnda bergtäkt (Råsjo Kross AB). I bägge områdena var kvaliteten och tillgången på berg god. Dock bör påpekas att graniten vid Räkenhällarna enligt SGU uppvisar en förhöjd radioaktivitet vilket kan tyda på ett förhöjt uraninnehåll och därmed förhöjd radonrisk.

Den täktverksamhet som idag bedrivs inom kommunen är obetydlig och den skulle knappast störa verksamheten i ett djupförvar, och omvänt torde lokaliseringen av ett djupförvar inte påverka den förhållandevis gynnsamma situation vad gäller den framtida tillgången på bergkross och ballast i kommunen.

Tabell 9-1. Malm-och nyttostensförekomster i Älvkarleby kommun och i angränsande områden. Numreringen hänvisar till kartan i Figur 9-1. Koordinater i rikets nät.

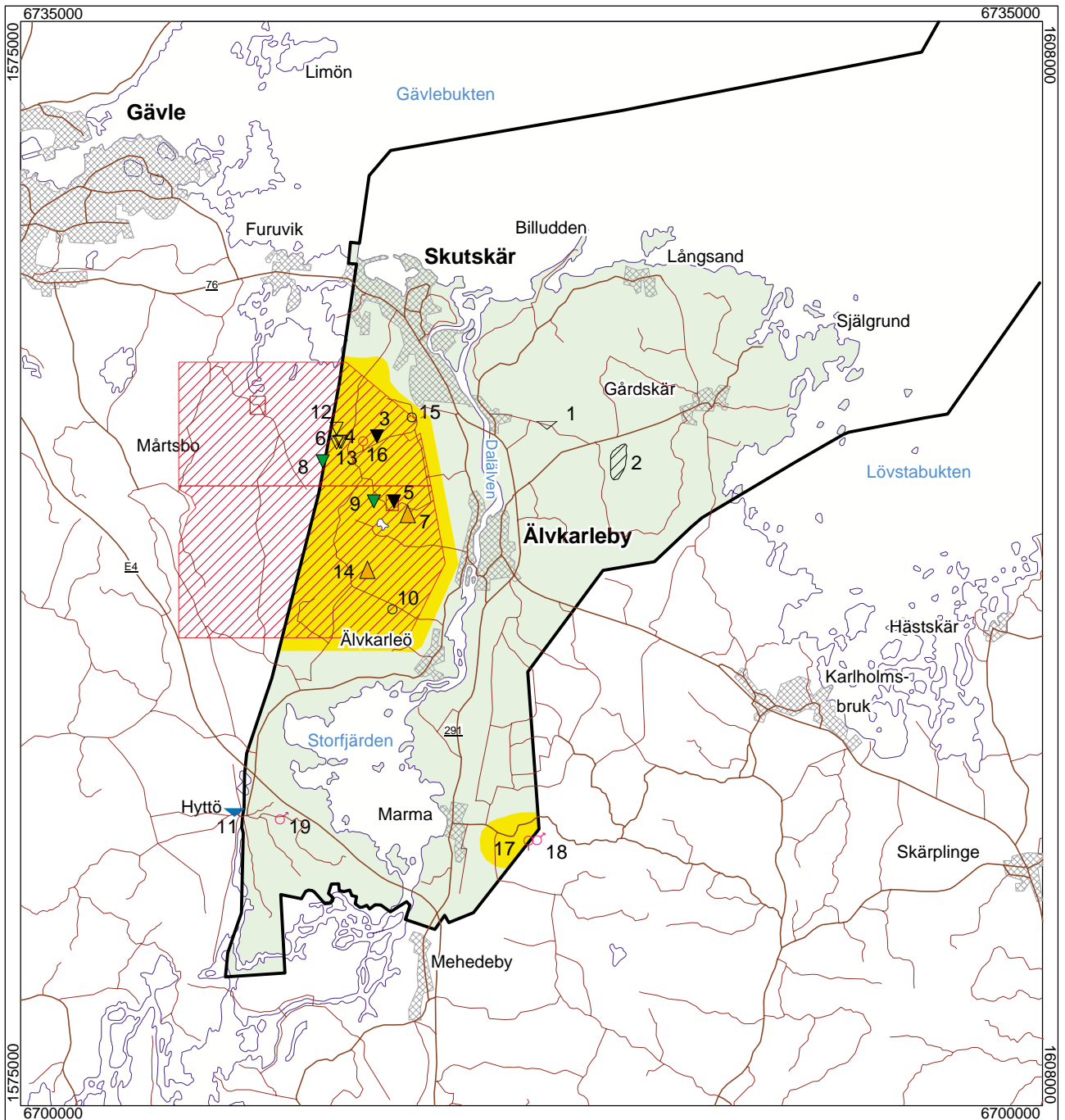
Nr	Namn	Koordinater (x/y)		Fyndighetstyp	Källa
1	Räkenhällarna	6722000	1592000	Bergtäkt	Länsstyrelsen
2	Tisboda	6720900	1594400	Bergtäktområde	Länsstyrelsen
3	Lummerbäcken	6721600	1586500	Wollastonit	SGAB, SGU
4	Nyfynd 1	6721450	1585300	Kalksten	SGU
5	Djupsjön 1	6719500	1587050	Wollastonit	SGU
6	Nyfynd 2	6721400	1585200	Kalksten	SGU
7	Höghällberget	6719000	1587500	Pegmatit	SGAB, SGU
8	Långhäll	6720800	1584750	Scheelit	SGU
9	Djupsjön 2	6719500	1586400	Scheelit	SGU
10	Hagadal	6716050	1587000	Zinkrikt block	SGU
11*	Hyttön	6709500	1581900	Kalksten	SGU, SIND
12	Gustavsmyrarna	6721850	1585200	Kalksten	SGU
13	Flät	6721430	1585350	Kalksten	SGU
14	Finntorpet	6717200	1586200	Pegmatit	SGU
15	Västanå	6722250	1587625	Kopparrikt block	SGU
16	Nyfynd 3	6721300	1586050	Sulfidmalm	SGU
17*	Nysäter	6708400	1591400	Sulfidmalm	Lindroos
18*	Karlsäter	6708600	1591700	Järnmalm	Lindroos
19	Storön	6709270	1583400	Järnmalm	Sandegren och Lundegårdh

Anm. * betyder att förekomsten ligger utanför kommunen

Kalksten och industrimineral

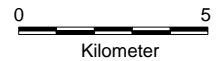
Kristallin kalksten (marmor), förekommer ofta i anslutning till järnmalmer i en berggrund som bildats på eller nära jordens yta genom sedimentära eller vulkaniska processer. I vardagligt tal menas med kalksten en bergart som domineras av mineralet kalcit (kalkspat). I Uppland förekommer även dolomitisk kalksten eller dolomit, som huvudsakligen består av mineralet dolomit (kalcium-magnesiumkarbonat). Krossad och mald kalksten av hög kvalitet har ett brett användningsområde t ex vid tillverkning av papper, färg, asfalt och betong. Kalksten är också det viktigaste utgångsmaterialet för tillverkning av cement. Kalkstensmjöl har stor användning vid kalkning inom jord- och skogsbruk. Helt rena kalkstenar är dock sällsynta. Vanliga föroreningar är kvarts och sulfidmineral. I anslutning till vissa kalkstenar förekommer även skarnmineral som exempelvis granat och wollastonit. Om mängden är tillräcklig och kvaliteten är god, kan de nyttjas som industrimineral.

I Älvkarleby har man via Mineraljakten, en tävling där allmänheten kan skicka in sina fynd, uppdagat flera fynd innehållande wollastonit, ett kalciumsilikat som i ren form har användning som tillsatsmedel i t ex keramik, papper, färg och plast. En förekomst vid Lummerbäcken (nr 3 i Tabell 9-1 och Figur 9-1) har undersökts mera ingående av dåvarande Nämnden för statens gruvegendom (NSG). Mängden wollastonit var dock otillräcklig för att förekomsten skulle kunna ha ett ekonomiskt värde (SGAB, 1990). Kalksten med wollastonit förekommer även nära Djupsjön (nr 5 i Figur 9-1) och den fyndigheten är idag inmutad, d v s undersökningstillstånd har beviljats, under benämningen Djupsjön nr 2.



- ▽ Krossbergstäkt
- ▼ Marmorbrott
- ▽ Marmorförekomst
- ▼ Marmorförekomst med wollastonit
- ▼ Marmorförekomst med scheelit
- ▲ Pegmatitförekomst
- ♀ Sulfidmineralisering innehållande koppar, bly, zink
- ♂ Skärpning med järnmalm
- Blockfynd med sulfidmineralisering

- Område lämpligt som bergtäkt
- Undersökningstillstånd
- Malmpotentiellt område



Nummer på kartan hänvisar till tabellerna i kapitel 9
 Källa: SGU, Länsstyrelsen, Mirab

SGU
 Sveriges Geologiska Undersökning

mirab
 MINERAL RESURSER AB

Figur 9-1. Malmpotentiella områden i Älvkarleby kommun.

De flesta fynd av kalksten förekommer i kommunens nordvästra del nära gränsen mot Gävleborgs län (se Figur 9-1). Förutom de som här medtagits under beteckningen marmor förekommer även fynd av skarnförande marmor innehållande det volframhaltiga mineralet scheelit (nr 8 och 9 i Figur 9-1). Såvitt känt är mängden scheelit dock otillräcklig för att dessa fynd skulle vara av ekonomiskt intresse (A Sundberg, SGU muntlig uppgift).

I kalkstensblock har man även påvisat sulfidmineraliseringar med blyglans och/eller zinkblände och nära Lummerbäckens wollastonitfynd förekommer en mera komplex sulfidmineralisering innehållande koppar, zink och bly (mineraljaktfynd 1989, nr 16 i Figur 9-1). Det finns ingen information om i vad mån dessa fynd har undersökts mera ingående, men Boliden Mineral AB har nyligen beviljats undersökningstillstånd inom ett större område i denna del av kommunen (se Figur 9-1).

Pegmatiter

Pegmatit är en grovkristallin granitisk bergart som i huvudsak består av mineralen kvarts, fältspat och glimmer. Pegmatiter uppträder vanligtvis som gångar eller mindre kroppar i anslutning till större granitmassiv. Det är vanligen ytterst ren fältspat med lämplig kemisk sammansättning som har en teknisk användning inom glasindustri och keramisk industri. Kvartsen i pegmatiter är sällan så ren att den har ett kommersiellt värde.

Fyndigheter av styckefältspat av hög kvalitet, bl a kalifältspat, har exploaterats på 3–4 platser i mellersta Sverige och avsättningsmöjligheterna för denna typ är fortfarande goda. De två pegmatiter som här redovisas (mineraljaktfynd 1990 respektive 1992, nr 7 och 14 i Figur 9-1) beskrivs som ”pegmatit och skriftgranit” med kalifältspat, kvarts och ljus glimmer. Den vid Finntorpet (nr 14) omfattar ett flertal stora hälltytor. Förekomsten på Höghällberget visar på en ställvis bra blandpegmatit där vissa partier håller en svagt glimmerhaltig, ljusröd till vit kalifältspatpegmatit. Kemiska analyser visar på en för flotation godtagbar sammansättning med upp till 8,9 % K_2O och 2,5–5,0 % Na_2O (SGAB, 1991). En stor del av fyndigheten är förklarad som fornminne och såvitt känt har fyndigheten ej undersökts vidare.

9.2 Malmförekomster

Definitionsmissigt är malm ett ekonomiskt begrepp och avser en fyndighet som kan exploateras med vinst. Bergbundna naturresurser som idag är oekonomiska kan därför bli ekonomiska, d v s malm, i framtiden. Detta avgörs av faktorer såsom metallpriser samt brytnings-, anriknings- och miljövårdskostnader. I dagligt tal avses dock med malm, t ex järnmalm eller kopparmalm, en större koncentration av en eller flera metaller, oavsett fyndighetens ekonomiska värde. I den följande beskrivningen används begreppet på detta sätt.

Geologiska förutsättningar

De flesta malmerna i Bergslagens malmprovins uppträder i bergarter av vulkaniskt ursprung (Antal m fl, 1998) och innehåller huvudsakligen malmer med metallerna järn, koppar, bly, zink, silver och guld. Ytberggrunden och malmerna har efter bildandet för ca 1 900 miljoner år sedan genomgått flera geologiska processer, främst bergskedje-

veckning och metamorf omvandling, och i ett långt senare skede en kraftig nederodering. Det vi ser idag är "rötterna" av denna bergskedjebildning och malmerna har oftast formen av långsmala, brantstående horisonter eller linsformiga kroppar.

I Uppland har gruvbrytning och järnhantering en lång historia bakom sig och har varit en viktig faktor i regionens industriella utveckling. Den största fyndigheten, järnmalmen i Dannemora, bröts i det närmaste kontinuerligt i 500 år fram till nedläggningen 1992. Delar av Älvkarleby kommun täcks av ytbergarter i vilka man kan förvänta sig förekomster av dels järnmalmer, dels sulfidmalmer innehållande koppar, zink, bly silver och guld. Några malmförekomster av ekonomiskt värde är dock inte kända i nuläget.

Kända fyndigheter

En relativt liten skarnjärnmalm bröts under 1800-talet vid Storön (nr 19 i Figur 9-1). Den är såvitt känt den enda malm som någonsin brutits inom Älvkarleby kommun. Malmen kan beskrivas som en skarnbandad magnetitmalm med måttligt järninnehåll. Den omgivande berggrunden utgörs av en sur metavulkanisk bergart (Sandegren och Lundegårdh, 1949).

Strax utanför kommunen förekommer en annan liten järnmalm (nr 18 i Figur 9-1) och därtill en guldförande sulfidmineralisering (nr 17 i Figur 9-1), bägge inom Tierps kommun. Även dessa förekomster är obetydliga och utan ekonomiskt värde i dagsläget.

Malmblock med kopparkis har hittats vid Västanå (nr 15 i Figur 9-1) och en mera komplex mineralisering med koppar, zink och bly förekommer vid Lummerbäcken i en skarnig kalksten (nr 16). Ett malmblock med hela 10 % zink (Zn) hittades 1994 vid Hagadal (nr 10) i samband med Mineraljakten. Emellertid är uppgifterna knapphändiga om vad som skett efter "upptäckterna". Några fynd har inmutats av privatpersoner men prospekteringsinsatserna har sannolikt varit begränsade och inmutningarna har släppts efter en tid. I dagsläget täcks en stor del av "området med nyfynden" i kommunens nordvästra del av två större undersökningstillstånd ("inmutningar") som beviljats Boliden Mineral AB. Man kan förmoda att Bolidens intresse är basmetaller samt guld och silver. Silverhaltig blymalm är känd i bl a Östhammars kommun i Dannemorafältet (Lindroos, 1996) och den välkända silver-blygruvan i Sala i Västmanland var en gång Europas största. Det finns därför en potential för bly och silver i Uppland främst i anslutning till kalkstenar.

Tillsammans med skarnbergarter och järnmalmer förekommer ibland koppar- och/eller zinkmineraliseringar som i några fall lett till gruvbrytning inom länet. Man kan därför inte utesluta att de koppar- och zinkblock som hittats i kommunens nordvästra del skulle kunna indikera exploaterbara fyndigheter.

Malmpotentiella områden inom Älvkarleby kommun

Med malmpotentiellt område menas ett område i berggrunden som har de geologiska förutsättningarna för att olika typer av malm kan förekomma. Inom sådana områden kan exploatering av kända malmer och prospektering (malmetning) för att hitta nya fyndigheter förväntas i framtiden.

Två områden, tillsammans knappt 20 % av kommunens yta, bedöms ha en malmpotential (Figur 9-1). Det är främst i det större området väster om Älvkarleby som framtida prospekteringsintressen kan förutses. Här finns sannolikt en potential vad gäller koppar,

zink och bly samt möjligen silver och guld. Däremot är potentialen för volfram sannolikt relativt begränsad och det finns idag inget prospekteringsintresse för denna metall i Sverige. Av industrimineralen kan wollastonit och mycket ren kalksten tänkas förekomma i denna del av kommunen även om fynden hittills inte lett till exploatering. Fältspaten i kända pegmatiter är däremot kvalitetsmässigt ojämn men fyndigheterna kan bli intressanta om tekniska eller ekonomiska faktorer blir mera gynnsamma i framtiden. Övriga delar av kommunen täcks i stort av graniter utan någon malmpotential.

De geologiska förhållandena i kustbandet och ute tills havs är mindre väl undersökta. Det bedöms dock som osannolikt att kommunens kust- och havsområden skulle bli föremål för prospekteringsinsatser i framtiden. Mot detta talar exempelvis miljöaspekter och det faktum att huvudparten av dessa områden är skyddade i lag.

10 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar

Målet med föreliggande utredning har varit att bedöma de geologiska förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle till Älvkarleby kommun. I det följande diskuteras först vilka faktorer som är betydelsefulla för denna bedömning. Därefter beskrivs de generella geologiska förutsättningarna i kommunen och redovisas de områden som bedöms vara av intresse för fortsatta studier. Slutligen görs en jämförelse med resultaten från en mer översiktlig studie av Uppsala län och med motsvarande förstudier av Tierps och Östhammars kommuner.

10.1 Viktiga faktorer

De lokaliseringsfaktorer som studerats är främst berggrundens sammansättning och homogenitet, regionala deformationszoner, berggrundens malmpotential, samt jordlagrens mäktighet och sammansättning. Även faktorer som radiumhalten i berggrunden och förekomst av jordskalv har berörts. Andra viktiga geologiska faktorer som tas upp i en särskild utredning är grundvattenkemi och grundvattnets rörelser.

Det är en fördel om berggrunden är homogen eftersom detta underlättar tolkningen av undersökningsresultat både från ytundersökningar och borrhål. En stor andel inhomogeniteter i form av t ex gångar eller inneslutningar kan även leda till en ökad vattenföring och ogynnsamma bergtekniska förhållanden. Stora gynnsamma områden är att föredra eftersom det ger ökad flexibilitet i den fortsatta lokaliseringsprocessen. Radiumhalten i berggrunden är viktig eftersom den kommer att avgöra radonavgången i en underjordsanläggning och påverka behovet av ventilation både under byggnation och drift. Den långsiktiga säkerheten i ett djupförvar påverkas dock inte.

Deformationszoner förekommer i olika skalor och med varierande egenskaper. I ett djupförvar bör breda, uthålliga och starkt deformerade zoner undvikas. Mellan olika förvarsdelar kan mindre zoner accepteras men kommer då att påverka utformning och utrymmesbehov. Däremot påverkar det inte den långsiktiga säkerheten om tunneln från ovanjordsanläggningen ned till djupförvaret går igenom en kraftig deformationszon.

Ett djupförvar bör inte lokaliseras till ett område med malmpotentiell berggrund eftersom nyttjandet av denna naturresurs då blockeras. I ett långsiktigt perspektiv föreligger dessutom risk för oavsiktligt intrång eller annan påverkan.

Jordlagrens mäktighet och sammansättning är av mindre betydelse för den långsiktiga säkerheten, men påverkar förutsättningarna för att genomföra nödvändiga undersökningar inför anläggningen av djupförvaret. Hög blottningsgrad underlättar sådana undersökningar medan mäktiga och komplexa jordlager är en försvårande omständighet. Havstäckta områden är därför, i detta avseende, svårare att undersöka än områden på fastlandet.

10.2 Allmänna geologiska förutsättningar

Jordarter

Den dominerande jordarten inom Älvkarleby kommun, sandig morän, förväntas i sig inte medföra några särskilda problem vid undersöknings- och anläggningsarbeten. Jorddjupen är i allmänhet måttliga, ungefär 10 m, men variationerna är betydande. I anslutning till Uppsalaåsen har i många fall rapporterats djup över 20 m.

Blottningsgraden (andelen kalt berg) är, med undantag av framför allt kuststräckan öster om Långsand, mycket låg. Detta är en försvårande faktor om vidare geologiska undersökningar skulle bli aktuella. Dessutom medför den låga blottningsgraden att den information som kan erhållas från mer översiktliga studier är mindre tillförlitlig.

I de fall jordarterna är eller kan förväntas bli föremål för exploatering (t ex grus- eller vattentäkt i rullstensåsarna) bedöms inte ett djupförvar påverka eller påverkas av sådana aktiviteter. Anläggningarna ovan jord bör dock lokaliseras på sådant sätt att nyttjandet av naturresurserna inte blockeras.

Bergarter inklusive exploateringsintressen

Berggrunden domineras av omvandlade metagranitoider, och yngre, mer välbevarade graniter. Längs hela kusten finns ett betydande inslag av migmatit och ådergnejs. Därutöver förekommer, framför allt i kommunens västra del, olika ytbergarter och basiska djupbergarter. De i kommunen dominerande djupbergarterna, metagranitoid och granit, är generellt sett gynnsamma ur förvarssynpunkt. Förekommande migmatit och ådergnejs är i detta fall inhomogena bergarter och därmed ogynnsamma. I väster är berggrunden också inhomogen med snabba växlingar mellan olika bergarter. Slutligen kan framtida prospekteringsintressen bli aktuella i området väster om Älvkarleby. Här finns sannolikt en potential vad gäller koppar, zink och bly samt möjligen silver och guld.

Information från flygmätningarna visar markant förhöjda radiumhalter i ett område öster om Långsand. Därutöver finns spridda områden, främst i kommunens norra del, med måttligt förhöjda halter. I övrigt är halterna normala eller endast svagt förhöjda. Betydande delar av kommunen täcks dock av andra jordarter än morän och i dessa områden kan inte berggrundens radiumhalt beräknas utifrån flygmätningar.

Deformationszoner (plastiska skjuvzoner, sprickzoner och förkastningar)

Av de dominerande bergarterna är metagranitoiderna de som är mest påverkade av plastisk deformation, den äldsta deformationsfasen i området. Betydligt mindre eller inte alls påverkade är de yngre graniterna, däribland Hedesundagraniten.

Den västliga fortsättningen av ett av de mest betydande systemen av plastiska deformationszoner i Sverige, Singö-skjuvzonen, sträcker sig i VNV- till O-V-lig riktning genom den södra delen av kommunen. Längs kusten sträcker sig dessutom en västlig fortsättning av den så kallade Örskärzonen. Skjuvzonerna avgränsar tektoniska linser som är betydligt mindre påverkade av plastisk deformation. En stor del av Älvkarleby kommun, från området Älvkarleby-Skutskär-Långsand och mot OSO till kommungränsen, ligger i den nordvästra delen av en sådan tektonisk lins. Linsen sträcker sig sedan ytterligare ca 30 km mot OSO.

Yngre förkastningar och sprickzoner följer ibland äldre plastiska zoner (s k reaktivering) men uppträder också i helt andra riktningar jämfört med de äldre. Spröda regionala

deformationszoner förekommer i normal omfattning och avgränsar berggrundsblock som till ytan ofta är flera tiotals kvadratkilometer stora. Det finns därmed goda möjligheter att förlägga ett djupförvar till en bergvolym mellan de uthålliga sprickzonerna. Inom dessa bergvolymerna förekommer mindre sprickzoner. Detaljerade undersökningar krävs för att utreda karaktären på dessa zoner liksom hur tätt de förekommer. Sådana undersökningar ligger dock utanför förstudiens ram.

Sen- eller postglaciala förkastningar och seismicitet

Några säkra tecken på sen- eller postglaciala förkastningar har inte rapporterats från kommunen. Blockansamlingar vid Marma och Älvkarleö har dock av vissa forskare tolkats som en möjlig effekt av sen- eller postglaciala rörelser i berggrunden.

Om fortsatta undersökningar skulle bli aktuella i Älvkarleby kommun, bör alla tecken på unga rörelser i berggrunden noga beaktas. Kommunen ligger dock i ett seismiskt stabilt område.

Berggrundens långsiktiga stabilitet

Den fennoskandiska skölden är mycket stabil och de rörelser som gett upphov till de regionala deformationszoner som beskrivs i föreliggande rapport är mycket gamla, minst flera hundra miljoner år. Det finns ingen anledning att anta att några framtida rörelser av denna dignitet skall ske under den tid, ca 100 000 år, som behöver beaktas för ett djupförvar.

De först förväntade rörelserna i berggrunden är i stället de som kan komma att utlösas i samband med avsmältningen av en framtida inlandsis, om tidigast flera tiotusentals år. Rörelserna antas då företrädesvis ske utefter äldre deformationszoner. Sådana zoner bedöms dock kunna undvikas vid lokaliseringen av djupförvaret.

10.3 Områden av intresse för fortsatta studier

Med ett område av intresse för fortsatta studier avses ett område där det, utifrån de geologiska faktorer som studerats, bedöms möjligt att identifiera en bergvolym med de egenskaper och den storlek som behövs för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle.

Sådana områden har i denna utredning definierats utifrån ett översiktligt och delvis ofullständigt underlag. Det krävs därför stegvis mer detaljerade undersökningar för att med säkerhet avgöra om ett område är geologiskt lämpligt för ett djupförvar. Mer detaljerade undersökningar kan i vissa fall komma att påvisa ogynnsamma förhållanden i områden som här bedömts vara av intresse för fortsatta studier. Omvänt skulle detaljerade undersökningar kunna identifiera gynnsamma förhållanden i delar av kommunen som inte bedömts vara primärt intressanta.

Resultatet av den utförda undersökningen visar var det i första hand bedöms meningsfullt att bedriva mer detaljerade undersökningar. Det är endast när sådana mera detaljerade undersökningar genomförts som det går att slutgiltigt bedöma om det finns lämplig berggrund för ett djupförvar.

Betydande delar av Älvkarleby kommun bedöms vara mindre intressanta för fortsatta undersökningar eftersom de omfattar:

- Inhomogen berggrund (jfr Figur 6-1).
- Regionala plastiska skjuvzoner (jfr Figur 8-4).
- Malmpotentiell berggrund (jfr Figur 9-1).
- Mäktiga jordlager.

Med inhomogen berggrund avses inte bara bergarter med en stor andel inhomogeniteter i form av gångar eller inneslutningar utan också områden där många olika bergarter uppträder inom en begränsad volym. Kommunens västra del är ett bra exempel på denna typ av inhomogenitet. Till kategorin inhomogena bergarter hör också området längs kusten med migmatit och ådergnejs. Dessa bergarter kan vara lämpliga förvarsbergarter om variationerna i mineralinnehåll är begränsad till meterskala eller mindre. Så är dock inte fallet i Älvkarleby kommun.

Plastiska skjuvzoner finns framför allt i området mellan Älvkarleby och Marma samt längs kusten i området Skutskär-Långsand och österut.

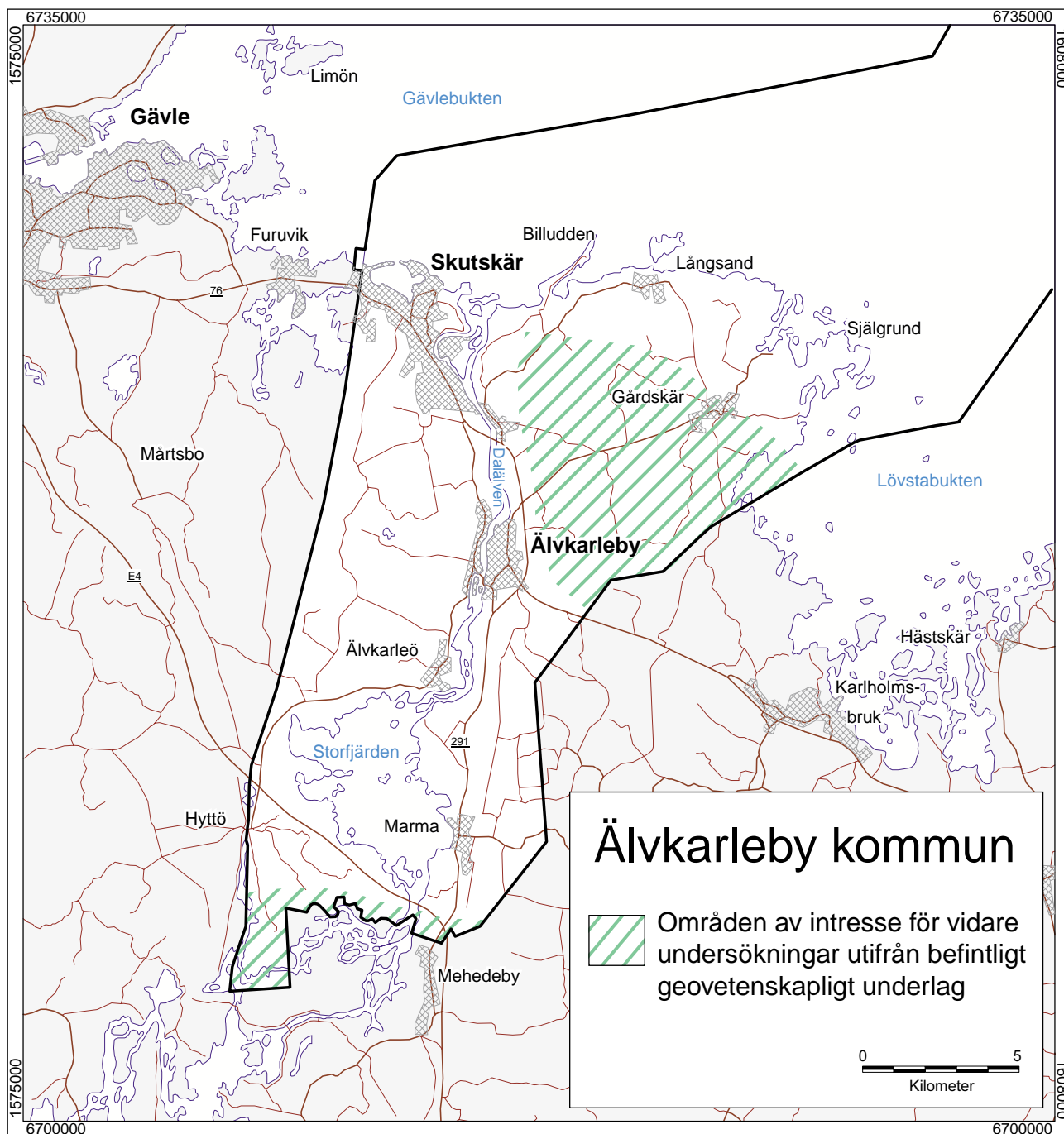
Malmpotentiell berggrund återfinns i första hand i kommunens västra del, från Älvkarleby till kommungränsen. Därutöver finns ett mindre område finns strax öster om Marma.

Mäktiga jordlager förekommer i anslutning till Uppsalaåsen och är en försvårande omständighet när det gäller att genomföra geovetenskapliga undersökningar. Åsen är vidare en av de mäktigaste rullstensåsarna i Sverige och en viktig resurs för vattenförsörjningen. Även om ett djupförvar inte skulle påverka åsen är den samlade bedömningen att området bör undantas vid eventuell lokalisering av ett djupförvar till kommunen.

Efter att hänsyn tagits till ovanstående faktorer kvarstår i första hand ett ca 50 km² stort område nordost om Älvkarleby samt ett betydligt mindre område längst i söder, se Figur 10-1. Berggrunden inom det större området består av metagranitoid och yngre granit medan det södra området helt domineras av yngre granit (Hedesundagranit). De tolkade regionala sprickzonerna avgränsar i bägge fallen berggrundsblock av sådan storlek att ett djupförvar kan lokaliseras inom ett och samma block. Jordlagrens mäktighet är måttlig och något framtida prospekteringsintresse kan inte förväntas.

Det måste emellertid noga understrykas att den befintliga informationen är bristfällig och omodern och andelen berg i dagen mycket låg, vilket gör bedömningen osäker. Samtidigt bör påpekas att en detaljerad kartläggning förmodligen endast marginellt kommer att förbättra det underlag som finns i dag. I områden med mycket låg blottningsgrad kommer det därför alltid att finnas ett större mått av osäkerhet än i områden där berggrundsytan är mera blottad och därmed tillgänglig för direkta observationer. Vidare bör påpekas att det större området ligger inom en tektonisk lins mellan regionala plastiska deformationszoner (Singö-skjuvzonen och Örskärzonen). Om vidare undersökningar blir aktuella bör för- och nackdelar med en sådan geologisk miljö beaktas.

I föreliggande rapport görs ingen bedömning om intressanta områden i kommunens havstäckta område. Anledningen är att data för en sådan bedömning i stort sett saknas.



Figur 10-1. Områden inom Älvkarleby kommun av intresse för vidare undersökningar. Bedömningen är baserad på befintligt geovetenskapligt underlag.

10.4 Jämförelser med andra lokaliseringsstudier

Det underlag som kan användas för att bedöma de geologiska förutsättningarna för ett djupförvar i Älvkarleby kommun finns tillgängligt i olika skalor. I riks- och regionskala finns översikter publicerade. Den sistnämnda i form av en översiktsstudie av Uppsala län. I en mer lokal skala finns data från SKBs förstudier av Tierps och Östhammars kommuner. Det undersökningsområde som var aktuellt i förstudien av Tierps kommun omfattade även hela Älvkarleby kommun. Nedan görs en jämförelse med resultaten från länsstudien och med resultaten från förstudien av Tierps och Östhammars kommuner.

Översiktsstudien av Uppsala län

Översiktsstudien av Uppsala län (Antal m fl, 1998) visar två områden i Älvkarleby kommun som bedömts som sannolikt lämpliga för vidare undersökningar. Beteckningen sannolikt lämpligt (eller olämpligt) område användes när underlaget ansågs bristfälligt i något avseende. De två områdena är desamma som de som framkommit i föreliggande studie.

Den mest framträdande skillnaden mellan resultaten från länsstudien och den nu gjorda undersökningen är att det norra området nu är mer begränsat mot norr. Detta beror på att berggrundskartan i detta område har modifierats eftersom utbredningen av en inhomogen berggrund, dominerad av migmatit och ådergnejs, bättre kunnat definieras. I övrigt beror de skillnader som finns främst på att studierna gjorts i olika skalor.

Förstudierna av Tierps och Östhammars kommuner

Inom stora delar av Östhammars kommun och vissa delar av Tierps kommun finns tillgång till modern berggrundsgeologisk information, inklusive uppgifter om berggrundens homogenitet. Inom sådana områden finns därmed underlag till att göra en mer detaljerad bedömning än vad som kan göras inom Älvkarleby kommun.

De områden i Östhammars kommun som bedömdes vara av intresse för vidare undersökningar är därför generellt sett mindre och mer väldefinierade än motsvarande områden i Älvkarleby och huvuddelen av Tierps kommuner. Samtidigt är det tveksamt om en modern kartläggning i Älvkarleby kommun väsentligt skulle öka möjligheten till en mer detaljerad bedömning. Detta beror på den låga tillgången på berg i dagen. För att väsentligt öka detaljkunskapen krävs därför förmodligen ett omfattande borrhprogram i kombination med geofysiska mätningar.

11 Referenser

- Ahlberg P, 1986:** Den svenska kontinentalsockelns berggrund. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden 47.
- Almén K-E, Stanfors R och Svemar C, 1996:** Nomenklatur och klassificering av geologiska strukturer vid platsundersökningar för SKBs djupförvar. SKB Projekt Rapport PR D-96-029.
- Andersson U B, 1997:** The sub-Jotnian Strömsbro granite complex at Gävle, Sweden. GFF 119, 159-167.
- Antal I, Bergman S, Gierup J, Persson C, Thunholm B, Stephens M, Johansson R, 1998:** Översiktsstudie av Uppsala län. Geologiska förutsättningar. SKB R-98-32, 1-49.
- Arvidsson R, 1996:** Fennoscandian earthquakes: whole crustal rupturing related to postglacial rebound. Science 274, 744-746.
- Asklund B, 1921:** Några urbergstektoniska problem från Östergötland. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 43, 596-611.
- Axelsson C-L, Follin S, Årebäck M, Stigsson M, Isgren F och Jacks G, 2000:** Förstudie Älvkarleby. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB R-00-03.
- Bergman S och Sjöström T, 1994:** The Storsjön-Edsbyn deformation zone, central Sweden. Opublicerad forskningsrapport (SGU) 1-46.
- Bergman S, Isaksson H, Johansson R, Lindén A, Persson C och Stephens M, 1996:** Förstudie Östhammar. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB PR D-96-016, 1-81.
- Bergman S, Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Stephens M, 1998:** Förstudie Östhammar. Jordarter, bergarter och deformationszoner. Kompletterande arbeten 1998. SKB R-98-57, 1-37.
- Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Lindén A H, Lindroos H, Rudmark L. och Stephens M, 1999:** Förstudie Tierp. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB R-99-53, 1-119.
- Bergström J, Holland B, Larsson K, Norling E och Sivhed U, 1992:** Guide to excursions in Scania. Sveriges geologiska undersökning Ca 54, 1-95.
- Beunk F F, Page L M, Wijbrans J R och Barling J, 1996:** Deformational, metamorphic and geochronological constraints from the Loftahammar-Linköping Deformational Zone (LLDZ) in SE Sweden: implications for the development of the Svecofennian Orogen. GFF 118, Jubilee Issue, A9.
- Björklund G, 1977:** Ambricka – Geomorfologisk undersökning av ett strandvallsområde i Älvkarleby kommun. Länsstyrelsen i Uppsala län. Meddelandeserie 1977:5

- Boulton G S, 1985:** Glacial geology and glaciology of the last mid-latitude ice sheets. *Journal of the Geological Society* 142, 447-474.
- Boulton G S, 1991:** Proposed approach to time-dependent or "event-scenario" modelling of future glaciation in Sweden. SKB Arbetsrapport 9-27.
- Boulton G S och Payne A, 1992:** Simulation of the European ice sheet through the last glacial cycle and prediction of future glaciation. SKB Technical Report 93-14.
- Bäckblom G och Stanfors R, 1989:** Interdisciplinary study of post-glacial faulting in the Lansjärv area, northern Sweden 1986-1988. SKB Technical Report 89-31.
- Carlsson A och Christiansson R, 1987:** Geology and tectonics at Forsmark, Sweden. SKB SFR 87-04, 91 s.
- Erlström M, 1987:** Complex fracture-filling material from the Singö fault zone at Forsmark, central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 109, 55-57.
- Gillberg G, 1967a:** Further discussion of the lithological homogeneity of till. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 89, 29-49.
- Gillberg G, 1967b:** Distribution of different limestone material in till. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 89, 401-409.
- Gorbatshev R, 1967:** Petrology of the Jotnian rocks in the Gävle area, east central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C* 621, 1-50.
- Henkel H och Pesonen L J, 1992:** Impact craters and craterform structures in Fennoscandia. *Tectonophysics* 216, 31-40.
- Holmlund P, 1993:** Den senaste istiden i Skandinavien. En modellering av Weichselisen. SKI Teknisk Rapport 93:44.
- Hoppe G, 1961:** The continuation of the Uppsala esker in the Bothnian sea and ice recession in the Gävle area. *Geografiska annaler* 1961, 329-335.
- Ingmar T och Moreborg K, 1976:** The leaching and original content of calcium carbonate in till in northern Uppland, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 98, 120-132.
- Ivarsson C och Johansson Å, 1995:** U-Pb zircon dating of Stockholm granite at Frescati. *GFF* 117, 67-68.
- Jonasson C, 1996:** Landet. I: S Helmfrid (red), *Sveriges Geografi – Sveriges Nationalatlas*, 16-41.
- Lager I, 1986:** The Dannemora iron ore deposit. I Papunen H och Lindström I (red), *Mineral deposits of southwestern Finland and the Bergslagen province, Sweden*. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 61, 26-30.
- Lagerbäck R, 1979:** Neotectonic structures in northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 263-269.
- Lagerbäck R, 1990:** Late Quaternary faulting and paleoseismicity in northern Fennoscandia, with particular reference to the Lansjärv area, northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 112, 333-354.

- Lidmar-Bergström K, 1993:** Denudation surfaces and tectonics in the southernmost part of the Baltic Shield. *Precambrian Research* 64, 337-345.
- Lidmar-Bergström K, 1994:** Berggrundens ytformer. *I C Fredén (red), Berg och Jord.* Sveriges Nationalatlas, Bra Böcker, Höganäs, 44-54.
- Lidmar-Bergström K, 1996:** Long term morphotectonic evolution in Sweden. *Geomorphology* 16, 33-59.
- Lindén A H och Mellander H, 1986:** Utvinning av geotermisk energi ur svaghetszoner i berg, Etapp 2. *Energiforskningsnämnden* 4113 132.
- Lindroos H, 1996:** Malmer och mineral inom Östhammars kommun. Förstudie Östhammar. SKB PR-D-96-012, 37 s.
- Lindström M, Lundqvist J och Lundqvist T, 1991:** Sveriges geologi från urtid till nutid. Studentlitteratur, Lund, 398 s.
- Lundegårdh P H, 1966:** Berggrunden i Gävleborgs län. Sveriges geologiska undersökning Ba 22, 1-303.
- Lundqvist G, 1963:** Beskrivning till jordartskarta över Gävleborgs län. Sveriges geologiska undersökning, Ca 42, 1-181.
- Lundqvist J, 1994:** Inlandsisens avsmältning. *I C Fredén (red), Berg och Jord.* Sveriges Nationalatlas, Bra Böcker, Höganäs, 124-142.
- Länsstyrelsen i Uppsala län 1978:** Grusutredning Älvkarleby kommun. *Meddelandeserie* 1978:18, 1-28.
- Länsstyrelsen i Uppsala län, 1997:** Inventering av krossberg i Uppsala län. *Meddelandeserie* 1997:19.
- Länsstyrelsen i Uppsala län, 1999:** Täktuppgifter ur Länsstyrelsens register. Maj 1999.
- Muir Wood R, 1993:** A review of the seismotectonics of Sweden. SKB Technical Report 93-13, 1-225.
- Mörner N-A, 1972:** When Will the Present Interglacial End? *Quaternary Research* 2, 341-349.
- Mörner N-A, 1979a:** Earth movements in Sweden, 20 000 BP to 20 000 AP. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 279-286.
- Mörner N-A, 1979b:** The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence. *GeoJournal* 3, 287-318.
- Mörner N-A, 1989:** Postglacial faults and fractures on Äspö. SKB Progress Report 25-89-24.
- Mörner N-A, Somi E och Zuchiewicz W, 1989:** Neotectonics and paleoseismicity within the Stockholm intracratonal region in Sweden. *Tectonophysics*, 163, 289-303.
- Olkiewicz A, 1981:** Lineament, sprickzoner och sprickor inom norra Uppland med speciell betoning på undersökningsområdet Finnsjön. SKBF/KBS Arbetsrapport 81-34, 32 s.

Park R G, Åhäll K-I och Boland M P, 1991: The Sveconorwegian shear-zone network of SW Sweden in relation to Mid-Proterozoic plate movements. *Precambrian Research* 49, 245-260.

Persson C, 1982: Beskrivning till jordartskartan Östhammar SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 53, 1-59.

Persson C, 1984: Beskrivning till jordartskartan Östhammar NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 61, 1-63.

Persson C, 1985: Beskrivning till jordartskartan Östhammar NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 73, 1-65.

Persson C, 1986: Beskrivning till jordartskartorna Österlövsta SO/Grundkallen SV och Österlövsta SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 76-77, 1-72.

Persson C, 1992: The latest ice recession and till deposits in northern Uppland, eastern central Sweden. Sveriges geologiska undersökning, Ca 81, 217-224.

Persson L och Persson P-O, 1997: U-Pb datings of the Hedesunda and Åkersberga granites of south-central Sweden. *GFF* 119, 91-95.

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

Petit J R, Jouzel J, Raynaud D, Barkov N I, Barnola J-M, Basile I, Bender M, Chappelaz J, Davis M, Delaygue G, Delmotte M, Kotlyakov V M, Legrand M, Lipenkov V Y, Lorius C, Pepin L, Ritz C, Saltzman E, Stievenard M, 1999: Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429-436.

Ripa M. och Persson P-O, 1997: The U-Pb zircon age of the Sala-Vänge granite at Sala, south central Sweden. *I: T. Lundqvist (red), Radiometric dating results 3.* – Sveriges geologiska undersökning C 830, 57-62.

Robertsson A-M och Persson P, 1989: Biostratigraphical studies of three mires in northern Uppland, Sweden. Sveriges geologiska undersökning C 821, 1-19.

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

Sandegren R, Asklund B och Westergård A H, 1939: Beskrivning till kartbladet Gävle. Sveriges geologiska undersökning Aa 178, 1-143.

SGAB (Sveriges Geologiska AB), 1990: Vita kalciumkarbonat-fyllnadsmedel. Prospekteringsrapport PRAP 90519.

SGAB (Sveriges Geologiska AB), 1999: Prospekteringsrapport PRAP 91534.

SGU, 1979: Metodik och jordartsindelning tillämpad vid geologisk kartläggning i serie Ae, skala 1:50 000. Reviderade upplagor 1983 och 1994.

SGU, 1989: Kalksten och dolomit i Sverige, del 2. Mellersta Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden nr 55.

- SGU, 1998:** Grus, sand och industrimineral. Produktion och tillgångar 1997. PM 1998:2.
- SGU, 1999:** Uppgifter om undersökningstillstånd inom Älvkarleby kommun. Sveriges geologiska undersökning, Bergsstaten. Maj 1999.
- SIND, 1980:** Berg och malm i Gävleborgs län. Sammanställning av Statens Industriverk. SIND PM 1980:19.
- SKB, 1990:** Granskning av Nils-Axel Mörnerns arbete avseende postglaciala strukturer på Äspö. SKB Arbetsrapport 90-18.
- Skjerna L, 1992:** Microstructures in the Nyatorp Shear Zone, southeastern Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 114, 195-208.
- Sjöberg R, 1994:** Bedrock caves and fractured rock surfaces in Sweden. Occurrence and origin. Stockholm University, 110 s.
- Stanfors R och Ericsson L O, 1993:** Post-glacial faulting in the Lansjärv area, northern Sweden. Comments from the expert group on a field visit at the Molberget post-glacial fault area, 1991. SKB Technical Report 93-11.
- Stephansson O och Carlson H, 1976:** Seismotektonisk analys av Fennoskandias berggrund. Luleå Tekniska Högskola, Teknisk rapport 1976:20 T, 88 s.
- Stephens M B och Wahlgren C-H, 1993:** Oblique-slip, right-lateral ductile deformation zones in the Svecokarelian orogen, south-central Sweden. In M B Stephens och C-H Wahlgren (eds), *Ductile shear zones in the Swedish segment of the Baltic Shield. Abstracts and excursion guide*. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden 76, 18-19.
- Stephens M B, Wahlgren C-H och Weihed P, 1994:** Karta över Sveriges berggrund. Sveriges geologiska undersökning Ba 51.
- Stephens M B, Wahlgren C-H, Weijermars R och Cruden A R, 1996:** Left-lateral transpressive deformation and its tectonic implications, Sveconorwegian orogen, Baltic Shield, southwestern Sweden. *Precambrian Research* 79, 261-279.
- Strömberg B, 1989:** Late Weichselian deglaciation and clay varve chronology in east-central Sweden. Sveriges geologiska undersökning, Ca 73.
- Stålhös G, 1962:** Nya synpunkter på Sörmlandsgnejsernas geologi med särskild hänsyn till Stockholmstrakten. Sveriges geologiska undersökning, C 587, 137 s.
- Stålhös G, 1981:** A tectonic model for the Svecokarelian folding in east central Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 103, 33-46.
- Stålhös G, 1991:** Beskrivning till berggrundskartorna Östhammar NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning Af 161/166/169/172, 1-249.
- Sukotjo S, 1995a:** Berggrundskartorna 14H Söderhamn NV/NO och SV/SO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning Ai 27-28.
- Sukotjo S, 1995b:** Berggrundskartorna 15H Hudiksvall NV, NO och SV/SO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning Ai 64-66.

- Svantesson S-I, 1991:** Beskrivning till jordartskartan Enköping NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 110, 1-85.
- Svedmark E, 1887:** Orografiska studier inom Roslagen. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 9, 188-210.
- Svenonius F, 1887:** Beskrifning till kartbladen Forsmark och Björn. Sveriges geologiska undersökning Aa 98/99, 1-42.
- Söderholm H, Müllern C-F, Engqvist P, 1983:** Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Uppsala län, Sveriges geologiska undersökning Ah 5, 1-84.
- Talbot C J och Sokoutis D, 1988:** The Singö shear zone near Östhammar eastern Sweden. Thesis, Uppsala University. UUDMP research report 55, 55 s.
- Talbot C J och Sokoutis D, 1995:** Strain ellipsoids from incompetent dykes: application to volume loss during mylonitization in the Singö gneiss zone, central Sweden. *Journal of Structural Geology* 17, 921-948.
- Wahlgren C-H, Cruden A R och Stephens M B, 1994:** Kinematics of a major fan-like structure in the eastern part of the Sveconorwegian orogen, Baltic Shield, south-central Sweden. *Precambrian Research* 70, 67-91.
- Wahlqvist A H, 1868a:** Några ord till upplysning om bladet "Eggegrund". Sveriges geologiska undersökning Aa 30, 1-18.
- Wahlqvist, A.H, 1868b:** Några ord till upplysning om bladet "Leufsta". Sveriges geologiska undersökning Aa 29, 1-54.
- Welin E, 1964:** Uranium disseminations and vein fillings in iron ores of northern Uppland, Central Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 86, 51-82.
- Welin E, 1987:** The depositional evolution of the Svecofennian supracrustal sequence in Finland and Sweden. *Precambrian Research* 35, 95-113.
- Wickman F E, 1988:** Possible impact structures in Sweden. I A Bodén och K-E Eriksson (red), *Deep Drilling in Crystalline Bedrock. Volume 1: The Deep Gas Drilling in the Siljan Impact Structure, Sweden and Astroblemes*. Springer-Verlag, Berlin, 298-327.
- Wickman F E, Åberg G och Levi B, 1983:** Rb-Sr dating of alteration events in granitoids. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 83, 358-362.
- Wikström A, 1994:** Jordklotets uppbyggnad. I C Fredén (red), *Berg och Jord*. Sveriges Nationalatlas, Bra Böcker, Höganäs, 44-54.
- Åberg C, 1984:** Landformer i Gävleområdet, genomgång av litteratur i ett omdiskuterat ämne. Högskolan i Gävle-Sandviken, FoU-rapport 19.
- Åkerblom G och Lindén A, 1994:** Förstudie Storuman. Radon i djupförvar. SKB PR 44-94-039.
- Åkerblom G, Pettersson B och Rosén B, 1988.** Radon i bostäder. Markradon. Bygghälsningsrådet Rapport R85:1988.

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 avvikelser.

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 Östersjöområdet 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 SiO₂.

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.

Charnokit. 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 Weichselistiden.

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_2 .

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 isälvsediment.

Isälvsediment. 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.

Kalifältspat. En kaliumrik fältspat.

Kalksten. Bergart bestående av i huvudsak kalcit.

Kame. Kulle med markanta sidor eller oregelbunden rygg, huvudsakligen uppbyggd av isälvsediment 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 borrkärna erhålles (jfr diamantborrning). Det finkorniga material som bildas vid borrningen kallas borrkax. 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 (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 fältspat.

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.

Lervarvmätningar. 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 form-linjer.

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. Vandrings. 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 alkalin 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 berggrundsyta 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 betar sig som en trögflytande massa. Vid denna deformation bildas t ex plastiska skjuvzoner med kraftig förskiffring och linjärstruktur.

Plastisk skjuvzon. Se plastisk deformation.

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

Porfyr. Bergart som karakteriseras 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 hundradel"

Postglacial. Efter istiden (post=efter)

Prehnit. Silikatmineral.

Prekambrium. Geologisk tidsålder, äldre än 545 miljoner år.

Primorogen. Se tidigorogen.

Protoginzonen. En ungefär nord-sydlig zon från Skåne till norra Värmland. Den östra begränsningen av den svekonorvegiska orogenen.

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. Spontant 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. Lättvittrad 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 sk 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 förskiffning, sprickzon, bergartskontakt).

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

Stänglighet. Linjär, ”kägliknande” struktur i en bergart, beroende på att långsträckta mineralkorn 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 uppträdande mot omgivande bergarter.

Sur bergart. Bergart med > 65 viktprocent SiO_2 .

Svallning. Vågornas eroderande verkan på en strand.

Svallsediment. Genom svallning frigjort material som sedan avsatts.

Syenit. Intermediär djupbergart som domineras av kalifältpat 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. Mineralkornens orientering (”mönster”) i en bergart.

Tidigorogen. 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 sydvästranden 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)

Ultrabasisisk bergart. Djupbergart med extremt låg (< 45 viktprocent) SiO_2 .

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 tidigoro-gena sura djupbergarter.

Veckaxelplan. Det plan som sammanbin-der 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 elek-trisk 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.