

R-98-32

Översiktsstudie av Uppsala län

Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Stefan Bergman, Jonas Gierup,
Christer Persson, Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser

Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Augusti 1998

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



Översiktsstudie av Uppsala län

Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Stefan Bergman, Jonas Gierup,
Christer Persson, Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Augusti 1998

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

i

| | | |
|-----------|--|----|
| 1 | Inledning | 1 |
| 2 | Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar | 1 |
| 3 | Uppsala län i ett regionalt geologiskt perspektiv | 5 |
| | Berggrundsgeologi | 5 |
| | Jordartsgeologi och jordskalv | 5 |
| | Hydrogeologi | 5 |
| 4 | Bergarter och berggrundens homogenitet | 11 |
| | Ytbergarter | 11 |
| | Djupbergarter | 13 |
| | Gångbergarter | 15 |
| | Berggrundens homogenitet | 15 |
| 5 | Mineral- och bergartsresurser | 16 |
| | Översikt över mineral- och bergartsresurser | 16 |
| | Metalliska mineralresurser | 16 |
| | Nyttosten | 18 |
| | Pågående prospektering | 18 |
| | Potentiellt prospekteringsintressanta områden | 18 |
| 6 | Deformationszoner | 19 |
| | Definitioner och metodik | 19 |
| | Plastiska skjuvzoner | 22 |
| | Sprickzoner och förkastningar | 22 |
| | Deformationszoner i tid och rum | 24 |
| 7 | Jordarter, jorddjup samt sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan | 24 |
| | Isavsmältning och postglacial utveckling | 24 |
| | Jordarter och jorddjup | 25 |
| | Sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv | 30 |
| 8 | Hydrogeologi | 30 |
| | Grundvattnets bildning och strömning | 30 |
| | Grundvattentillgångar | 35 |
| | Berggrundens genomsläpplighet | 35 |
| | Grundvattens kemi | 37 |
| 9 | Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar | 39 |
| | Sammanfattande slutsatser | 39 |
| | Områden lämpliga för vidare undersökning | 40 |
| | Förstudie Östhammar - en kommentar | 44 |
| 10 | Referenser | 45 |

BILAGA

| | | |
|----------|---------------------------|--|
| A | Geologisk ordlista | |
|----------|---------------------------|--|

1 Inledning

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU) har på uppdrag av Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) gjort en översiktlig studie av de geologiska förutsättningarna för att lokalisera ett djupförvar till Uppsala län, se Figur 1.

Länsöversikten baseras på befintlig, ibland ofullständig information i form av analoga eller digitala berggrundsgeologiska kartor, jordartskartor och tematiska kartor av olika slag samt beskrivningar till dessa kartor, se Figur 2. Digitala höjddata och flyggeofysisk information har använts framför allt för studier av deformationszoner, medan data från bland annat SGUs brunnarsarkiv nyttjats för studier av jordmättighet, hydrogeologi och vattenkemi. I de följande kapitlen redovisas i detalj vilka data som använts för respektive delstudie. Omfattningen av länsöversikten har inte tillåtit att ta hänsyn till detaljstudier i enskilda områden, t.ex. SKBs undersökningar av typområdet Finnsjön beläget i Tierps kommun /1/ samt av området omkring Forsmarks kärnkraftverk i Östhammars kommun /2/.

För att uppfylla kravet på vetenskaplig relevans kombinerad med rimlig förståelse för läsare utan geovetenskaplig bakgrund har förklaringar till facktermer inkluderats. Dels ges förklaringar till termerna i texten första gången de förekommer, dels har en geologisk ordlista bifogats, se Bilaga A. I flera fall finns förklaringarna enbart i ordlistan.

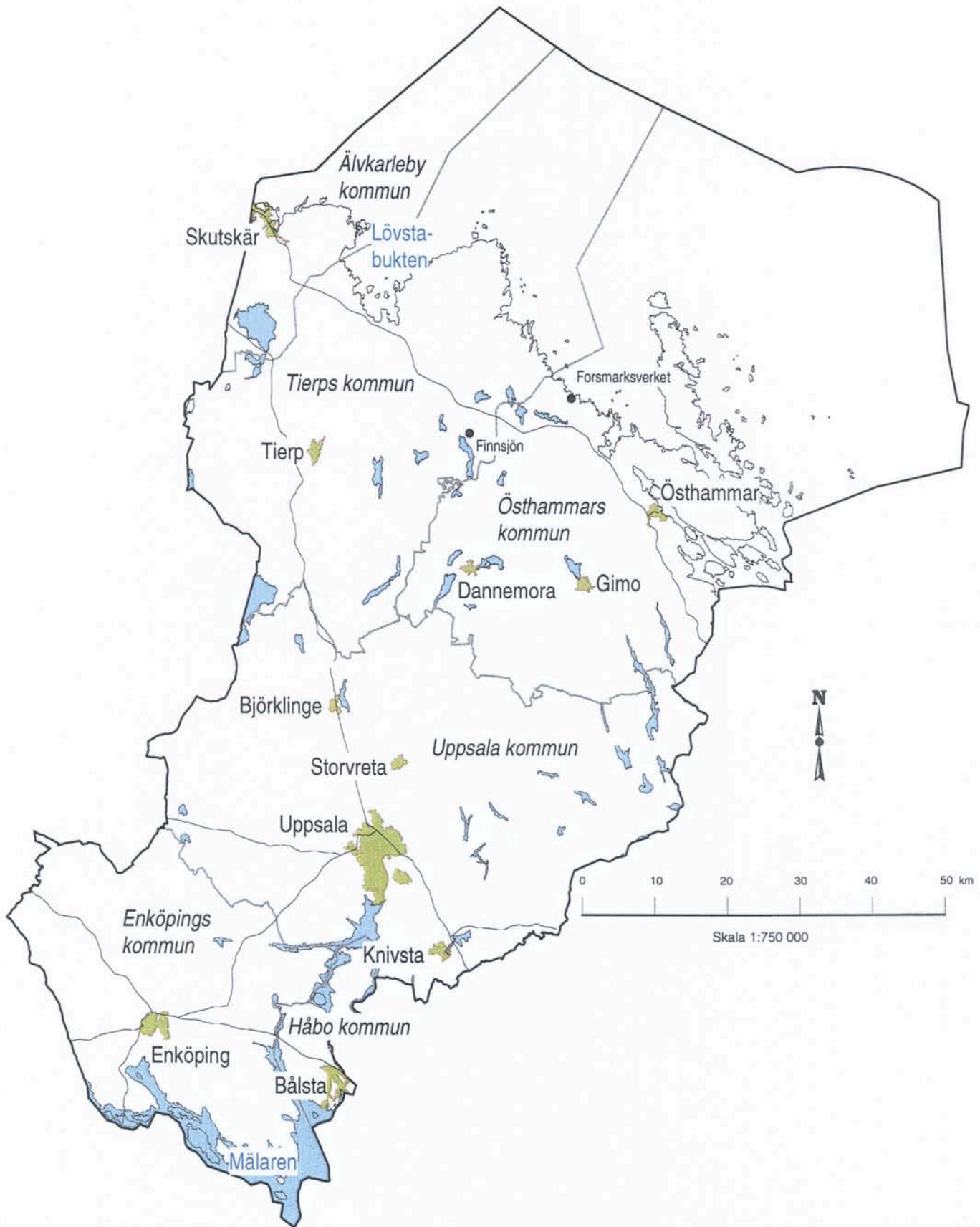
2 Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar

De geologiska lokaliseringsfaktorer som studerats är berggrundens sammansättning och homogenitet, förekomst av mineral och bergartsresurser, regionala deformationszoner, jordlagrens sammansättning och mäktighet, sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan, landhöjning samt hydrogeologiska förhållanden. Även uppgifter om jordskalv lämnas i rapporten. Dessa faktorer är viktiga vid den samlade bedömningen av förutsättningarna för ett djupförvar, dels med avseende på den långsiktiga säkerheten, dels med avseende på undersöknings- och anläggningstekniska förhållanden.

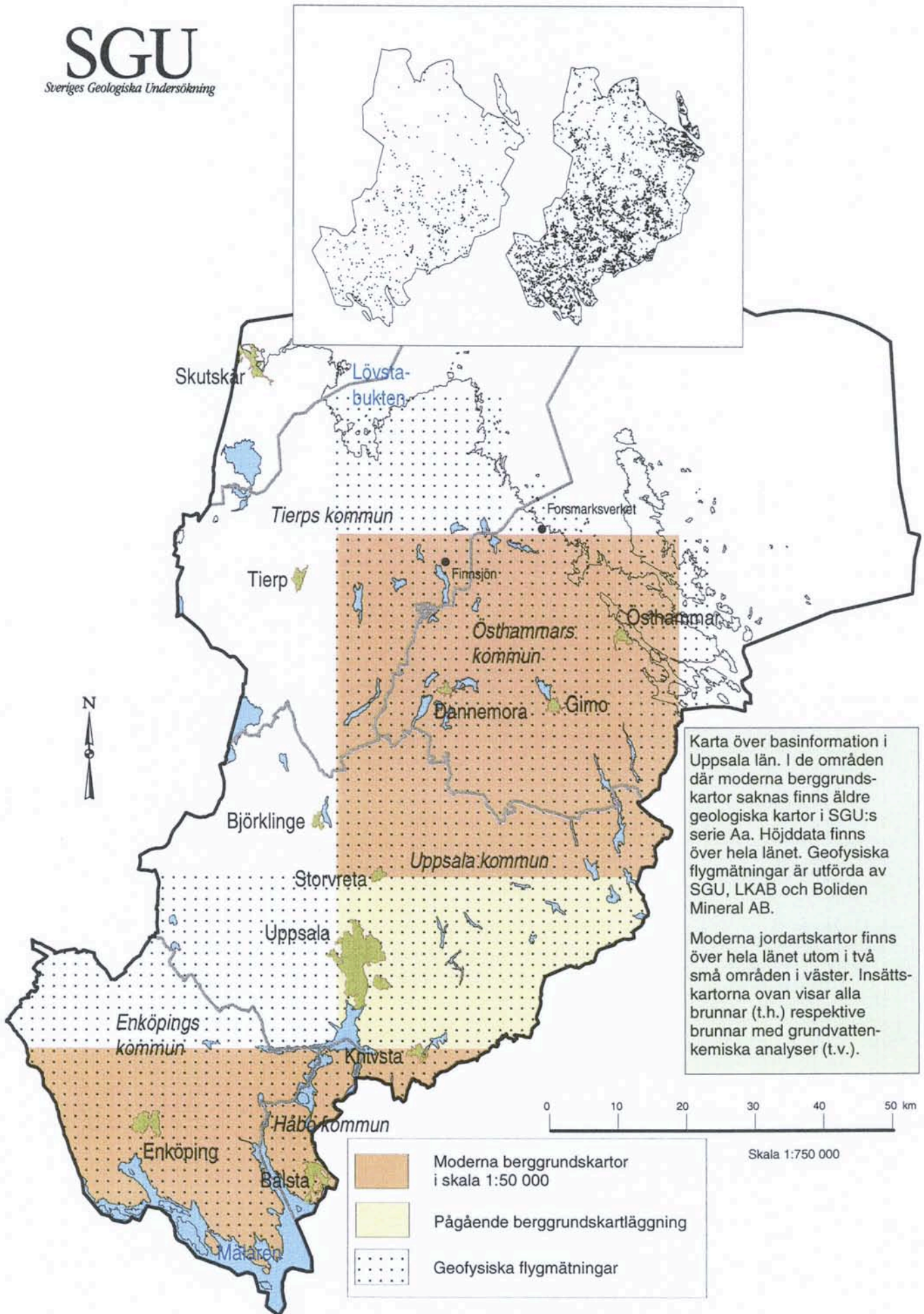
Berggrunden bör utgöras av en vanligt förekommande bergart med goda bergtekniska egenskaper. Inhomogen berggrund bör undvikas eftersom den oftast är svårförutsägbar och gör anläggningsarbetet mer komplicerat. Vidare bör bergarten inte vara eller förväntas bli aktuell som mineral- eller bergartsresurs så att brytning kan medföra att den långsiktiga säkerheten försämras i ett djupförvar.

Uthålliga deformationszoner, som innefattar plastiska skjuvzoner samt spröda sprickzoner och förkastningar utefter vilka berggrunden rört sig, bör undvikas. Längs många zoner har de senaste rörelserna visserligen skett för många tiotals, ibland hundratals miljoner år sedan men det finns en tendens att yngre rörelser följer äldre zoner, s.k. reaktivering. Eventuella framtida rörelser i berggrunden kan därför antas i stor utsträckning komma att ske längs tidigare utbildade deformationszoner. I deformationszoner har berggrunden i många fall en inhomogen uppbyggnad och bör på grund av detta behandlas med försiktighet. Dessutom kan vissa mineraliseringar förekomma längs deformationszoner som då kan betraktas som potentiellt malmintressanta. Zonerna kan också medföra bergtekniska komplikationer.

Jordlagrens sammansättning och mäktighet saknar direkt betydelse för den långsiktiga säkerheten. Däremot påverkas förutsättningarna för att göra nödvändiga undersökningar av



Figur 1. Uppsala län med kommuner, tätorter och övriga geografiska namn som används i texten



Figur 2. Basgeologisk och geofysisk information i Uppsala län (sammanställning mars 1997)

berggrunden inför lokaliseringen av ett djupförvar. Mäktiga och komplexa jordlager försvårar även själva anläggningsarbetet. Isälvsavlagringar bör behandlas med försiktighet på grund av deras stora betydelse för grundvattenförsörjningen.

Med sen- eller postglaciala rörelser menas rörelser som har skett i samband med, eller efter, den senaste inlandsisens avsmältning. Vanligtvis menas företeelser som har skett momentant, d.v.s. plötsliga rörelser längs förkastningar, men det är även möjligt att två berggrundsblock under lång tid gradvis rör sig i förhållande till varandra utefter en förkastning. Ett djupförvar bör inte placeras i närheten av en sådan zon eftersom man inte kan utesluta att nya rörelser kan utlösas efter nästa istid.

Jordskalv visar på förekomsten av momentana berg rörelser djupare ner i jordskorpan. De flesta skalv i Sverige förekommer på 5-20 km djup. Den databas från Uppsala universitet som används i denna rapport beskriver skalv så långt tillbaka som till medeltiden. Kunskapen om äldre skalv är dock ofullständig. Tillförlitliga data om större skalv finns från slutet av 1800-talet. Tillförlitliga data beträffande mindre skalv finns från de senaste ca 30 åren.

SGU saknar kompetens för att värdera påverkan av jordskalv på ett djupförvar. Emellertid finns en nyligen publicerad rapport som behandlar denna fråga /3/. Enligt rapporten har ett skalv med en magnitud lägre än 6,5 ingen direkt påverkan på ett förslutet djupförvar, förutsatt att avståndet mellan förvaret och den sprickzon (förkastning) där skalven sker är minst 100 m. Studier i andra länder visar att skalv med magnitud 6 eller större sker i kilometerlånga sprickzoner. Zoner med sådan uthållighet bör kunna identifieras vid platsundersökningar och därmed undvikas i ett djupförvars närområde.

Den databas som SGU har använt innehåller inga uppgifter om skalv med en magnitud större än ca 5. Om framtida skalv inte blir större än de skalv som inträffat i Sverige under historisk tid bör därför jordskalv inte ha någon avgörande betydelse för ett djupförvar. Samtidigt kan man inte bortse från möjligheten att en förhöjd frekvens av jordskalv även kan vara en indikation på förhöjd frekvens av betydligt större skalv än vad som inträffat under historisk tid. Dessa större skalv kan ha skett med intervaller av många tusen år och därmed missats i statistiken. En viss försiktighet bör därför iaktas vid en lokalisering av ett djupförvar till ett seismiskt mer aktivt område. Om en sådan lokalisering blir aktuell bör kompletterande studier genomföras.

Till skillnad från jordskalv är landhöjning en kontinuerligt pågående rörelse. Landhöjningen påverkar de hydrogeologiska förhållandena genom att grundvattnets strömningsmönster ändras.

De hydrogeologiska förhållandena är avgörande för vad som sker om radioaktiva ämnen från ett djupförvar kommer ut i grundvattnet. Vattnets strömning i berggrunden avgör hur fort dessa ämnen kan komma att spridas eftersom spridningen antas ske via grundvattnet. Den optimala lokaliseringen av ett djupförvar med hänsyn till grundvattenförhållandena är ett område med så liten grundvattengenomsättning som möjligt och där tiden för grundvattnets strömning från förvar till recipient skall vara lång och recipienten stor, helst ett hav.

3 Uppsala län i ett regionalt geologiskt perspektiv

Berggrundsgeologi

Berggrunden i centrala Sverige bildades och omvandlades för ca 1900-1500 miljoner år sedan under och efter den s.k. svekokarelska orogenesen (bergskedjebildningen), se Figur 3 /4/. Under denna period bildades magmatiska yt- och djupbergarter samt sedimentära bergarter. De bergarter som idag återfinns vid ytan är vanligen mer eller mindre deformerade och omvandlade. Omvandling och deformation har skett när bergarterna låg på 10-15 km djup i jordskorpan och vid en temperatur i intervallet 400-800°C.

Berggrunden i Uppsala län är välblottad i kustområdet och inom vissa begränsade områden i inlandet. Länet ligger helt inom den svekokarelska orogenen och berggrunden utgörs huvudsakligen av granitoider vilka är vanliga i Sverige. I länets sydligaste delar finns större områden med metasedimentära bergarter. Metavulkaniska bergarter förekommer främst i och i närheten av Östhammars kommun. Prefixet "meta" betecknar att en bergart genomgått omvandling (metamorfo).

De metavulkaniska bergarterna är i många fall malmförande och tillhör den nordostligaste delen av Mellansveriges malmprovins. Främst förekommer järnfyndigheter men även sulfidmineraliseringar finns, varav vissa är föremål för prospekteringsinsatser.

En bred, plastisk skjuvzon följer kusten i länets norra del och utgör en del av ett regionalt nätverk av skjuvzoner i östra Sverige. Viktiga yngre, spröda deformationszoner (sprickzoner och förkastningar) följer i många fall de äldre plastiska zonerna, s.k. reaktivering, men bildar också egna system.

Jordartsgeologi och jordskalv

Uppsala län tillhör nordöstra Götalands och östra Svealands berg- morän- och lerområde, se Figur 4 /5/. Morän har stor utbredning, främst i den nordöstra delen, medan finkorniga sediment, framför allt lera, dominerar i sydväst och i slättområdena kring Uppsala. Hela länet ligger öster om det bälte där jordskalv förekommer mer frekvent, se Figur 5.

Hydrogeologi

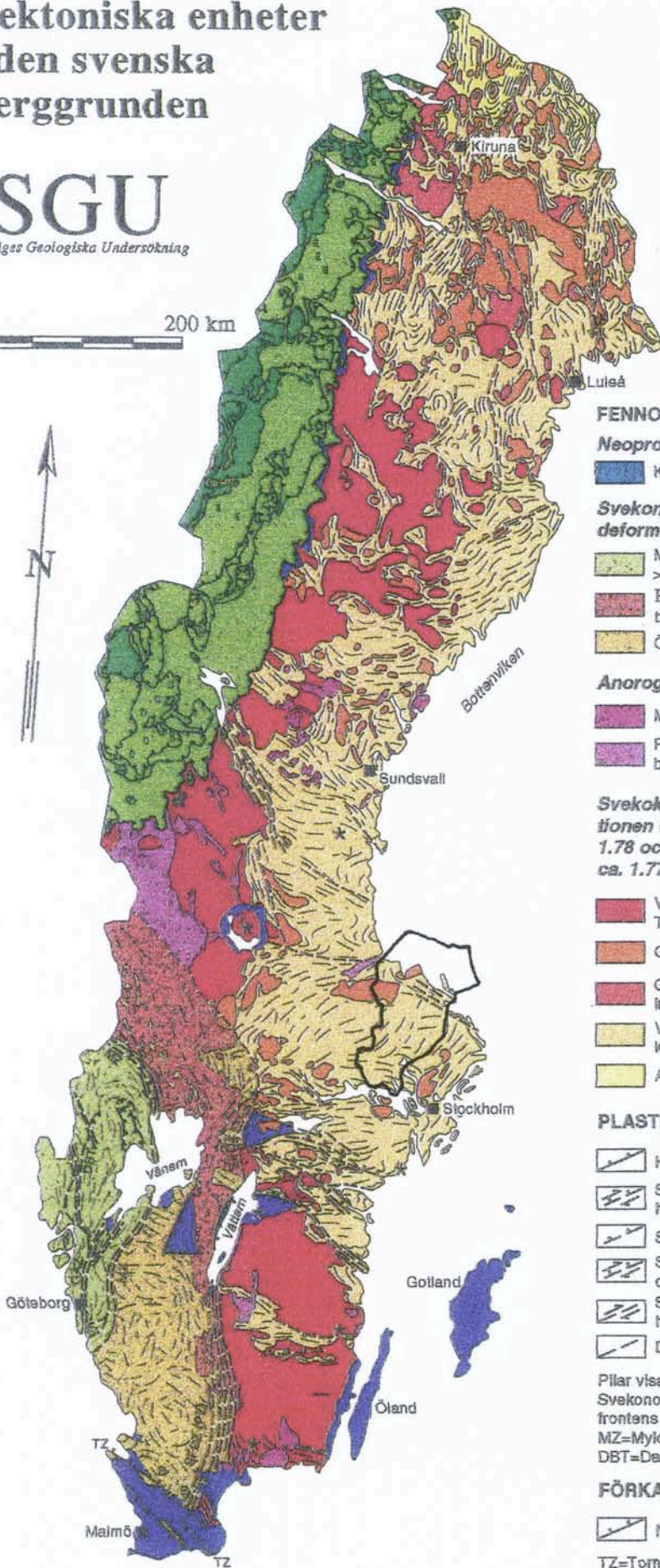
Landets grundvattentillgångar i jord och berg framgår av Figur 6 /6/ och kloridhalten i berggrundsvatten för hela Sverige redovisas i Figur 7 /7/. Grundvattenförhållandena i både jord och berg styrs av de hydrologiska, topografiska och geologiska förhållandena. Uppsala län kännetecknas av en utslätad topografi med små höjdskillnader. De södra och centrala delarna av länet utgörs av vidsträckt slättområden med mäktiga leror, medan den östra och nordöstra delen utmärks av en flack berggrundsytta med tunt jordtäckte. Grundvattentillgångar av betydelse för allmän vattenförsörjning återfinns i de stora sand- och grusavlagringarna. Dessutom utgör berggrundsvattnet en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

Tektoniska enheter i den svenska berggrunden

SGU

Sveriges Geologiska Undersökning

0 200 km



SVENSKA KALÉDONIDERNA (senaste plastiska deformationen ca. 510–400 Ma)

- Främmande terränger
- Tektoniskt ihoptryckt randzon till kontinenten Baltica. E=Ektogit, D=Diabas

FANEROZOISKA SEDIMENTÄRA OCH MAGMATISKA BERGARTER SAMT IMPAKTSTRUKTURER

- Fanerozoiska sedimentära bergarter och diabas
- B Jurassiska och kretaciska basaltkupper
- A Underkambriert alkaliskt magmatiskt komplex (Alnöen)
- * Impaktstruktur

FENNOSKANDISKA SKÖLDEN

Neoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter

- Klastiska sedimentära bergarter

Svekonorvegiska orogenen (senaste plastiska deformationen ca. 1.10–0.90 Ga)

- Mellersta och västra segmentet (inkluderande >ca. 1.56 Ga främmande terräng(er)?)
- Paleoproterozoiska vulkaniska och intrusiva bergarter tillhörande TMB* i östra segmentet
- Östra segmentet exklusive TMB*

Anorogena intrusioner och suprakrustala bergarter

- Mesoproterozoiska intrusiva bergarter
- Paleo- till Mesoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter och basalt

Svekokarelska orogenen (senaste plastiska deformationen efter ca. 1.80 Ga i norra Sverige, mellan ca. 1.78 och 1.56 Ga i centrala södra Sverige, och mellan ca. 1.77 och 1.40 Ga i sydöstligaste Sverige)

- Vulkaniska och intrusiva bergarter tillhörande TMB* och Revsund-Sorssele-sviten (ca. 1.85–1.85 Ga)
- Granit och pegmatit (ca. 1.85–1.75 Ga)
- Granit, monzonit och underordnade mafiska intrusioner (ca. 1.88–1.86 Ga)
- Vulkaniska och sedimentära bergarter samt kalkalkalina intrusioner (c. 2.7–1.85 Ga)
- Arkeiska bergarter

PLASTISKA STRUKTURER

- Kaledonisk överskjutning
- Svekonorvegisk deformationszon, horisontell och revers rörelse
- Svekonorvegisk överskjutning
- Svekokarelsk deformationszon, horisontell och "norra-sidan-ner" rörelse
- Svekokarelsk deformationszon med horisontell rörelse
- Deformationszon, rörelse okänd

Pilar visar den horisontella rörelsekomponenten. Svekonorvegiska orogenen, SFDZ (PZ)=Svekonorvegiska frontens deformationszon, delvis samma som Protoginizonen, MZ=Mylonitizonen, GÄZ=Göta Älvzonen och DBT=Dalslandszonen

FÖRKASTNINGAR

- Normalförkastning

TZ=Tornquistzonen

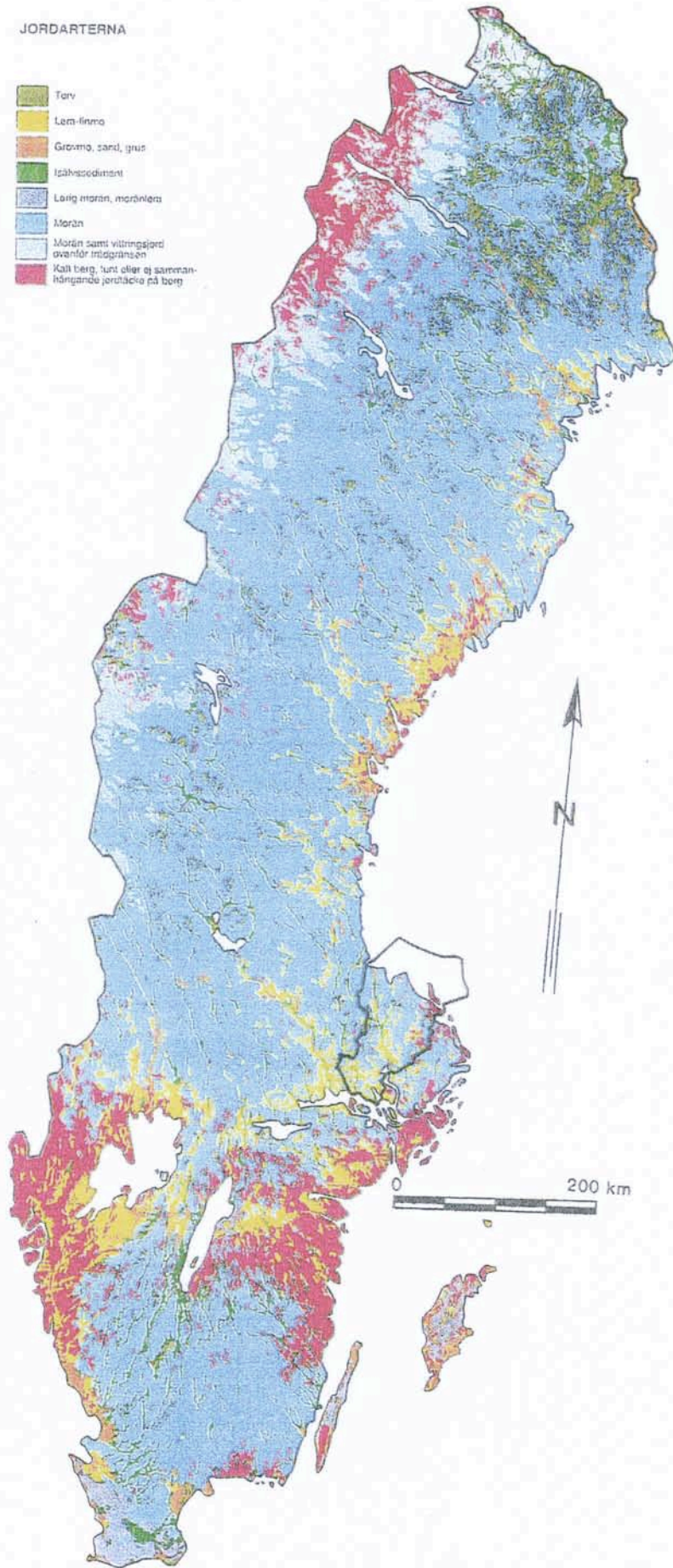
TMB*=Transskandinaviska magmatiska bältet
1 Ma=1 miljon år, 1 Ga=1000 miljoner år

Sammanställt av Michael B. Stephens, Carl-Henric Wahlgren och Pär Weihed, 1994

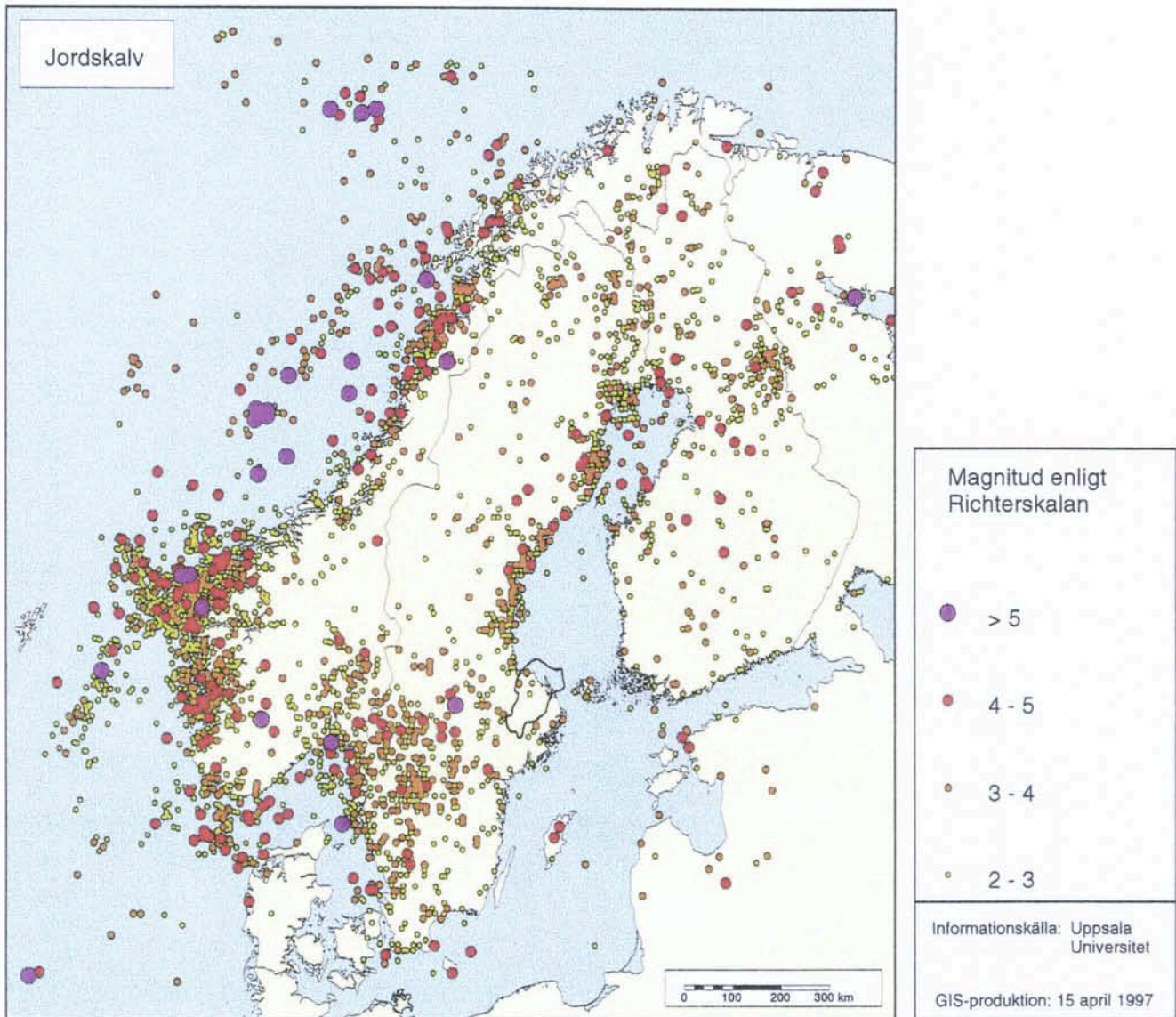
Figur 3. Huvudgeologiska enheter i den svenska berggrunden. Uppsala län är markerat med en svart linje.

JORDARTERNA

- Torv
- Lera-lera
- Grömo, sand, grus
- Isåsediment
- Lätt morän, moränlera
- Morän
- Morän samt vittringsjord
ovanför integrationsen
- Kall berg, tunt eller ej samman-
hängande jordtäcke på berg

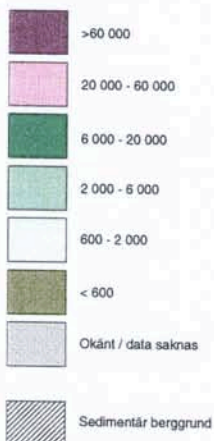


Figur 4. Jordartskarta över Sverige. Uppsala län är markerat med en svart linje.

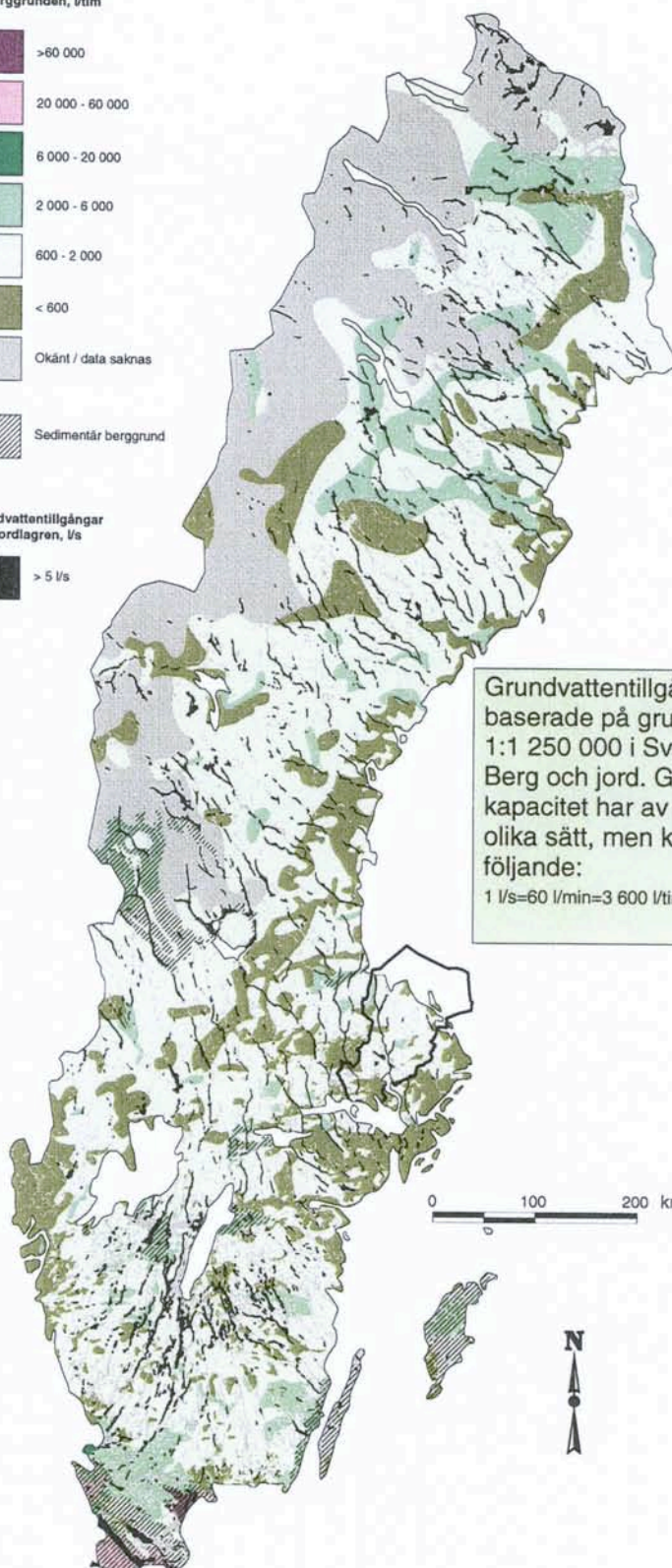


Figur 5. Registrerade jordskalv i Nordeuropa fram till 1993. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet. Uppsala län är markerat med en svart linje

Grundvattentillgångar
i berggrunden, l/tim



Grundvattentillgångar
i jordlagren, l/s

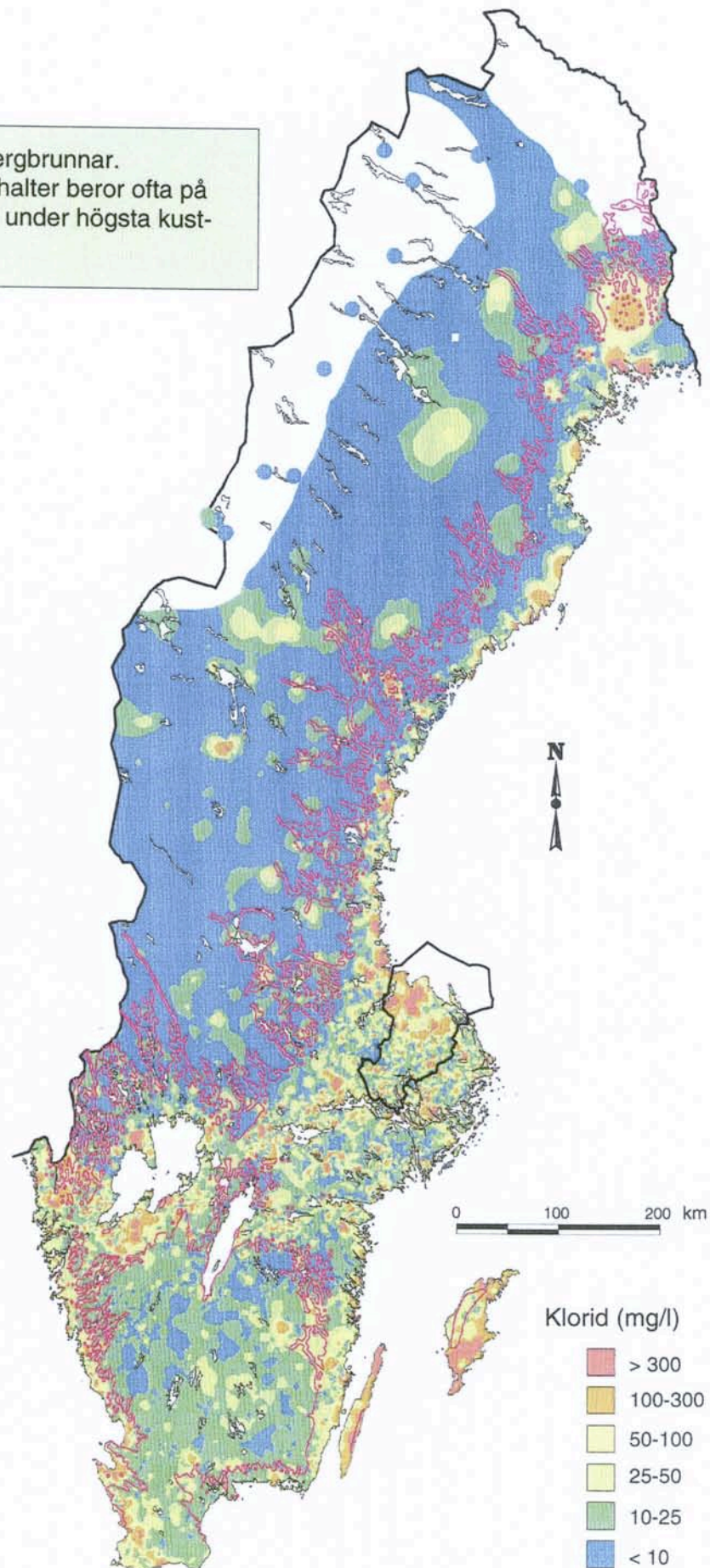


Grundvattentillgångar i jord och berg, baserade på grundvattenkartan i skala 1:1 250 000 i Sveriges Nationalatlas, Berg och jord. Grundvattentillgång och kapacitet har av tradition angivits på olika sätt, men kan lätt omräknas enligt följande:

1 l/s=60 l/min=3 600 l/tim=86,4 kbm/dygn

Figur 6. Grundvattentillgångar i jord och berg i Sverige. Uppsala län är markerat med en svart linje.

Kloridhalter i bergbrunnar.
Förhöjda kloridhalter beror ofta på
relikt saltvatten under högsta kust-
linjen.



Figur 7. Kloridhalter i bergbrunnar i Sverige. Uppsala län är markerat med en svart linje och högsta kustlinjen med en röd linje

4 Bergarter och berggrundens homogenitet

Berggrunden i Uppsala län redovisas översiktligt på kartan i Figur 8, hämtad från Söderholm m.fl. /8/. En modernare sammanställning och beskrivning som dock inte täcker den västligaste delen av länet finns i Persson & Stålhös /9/. Dessa kartor baseras på mer detaljerade kartor och beskrivningar publicerade av SGU under tiden 1863-1991 /10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36/. Berggrunden i Östhammars kommun finns beskriven i Bergman m.fl. /37/. Fotografier på några av länets vanligaste bergarter visas i Figur 9.

Ytbergarter

Ytbergarterna utgörs av sura till basiska metavulkaniska och metasedimentära bergarter. De bildades för ca 1900-1870 miljoner år sedan.

Metavulkaniska bergarter

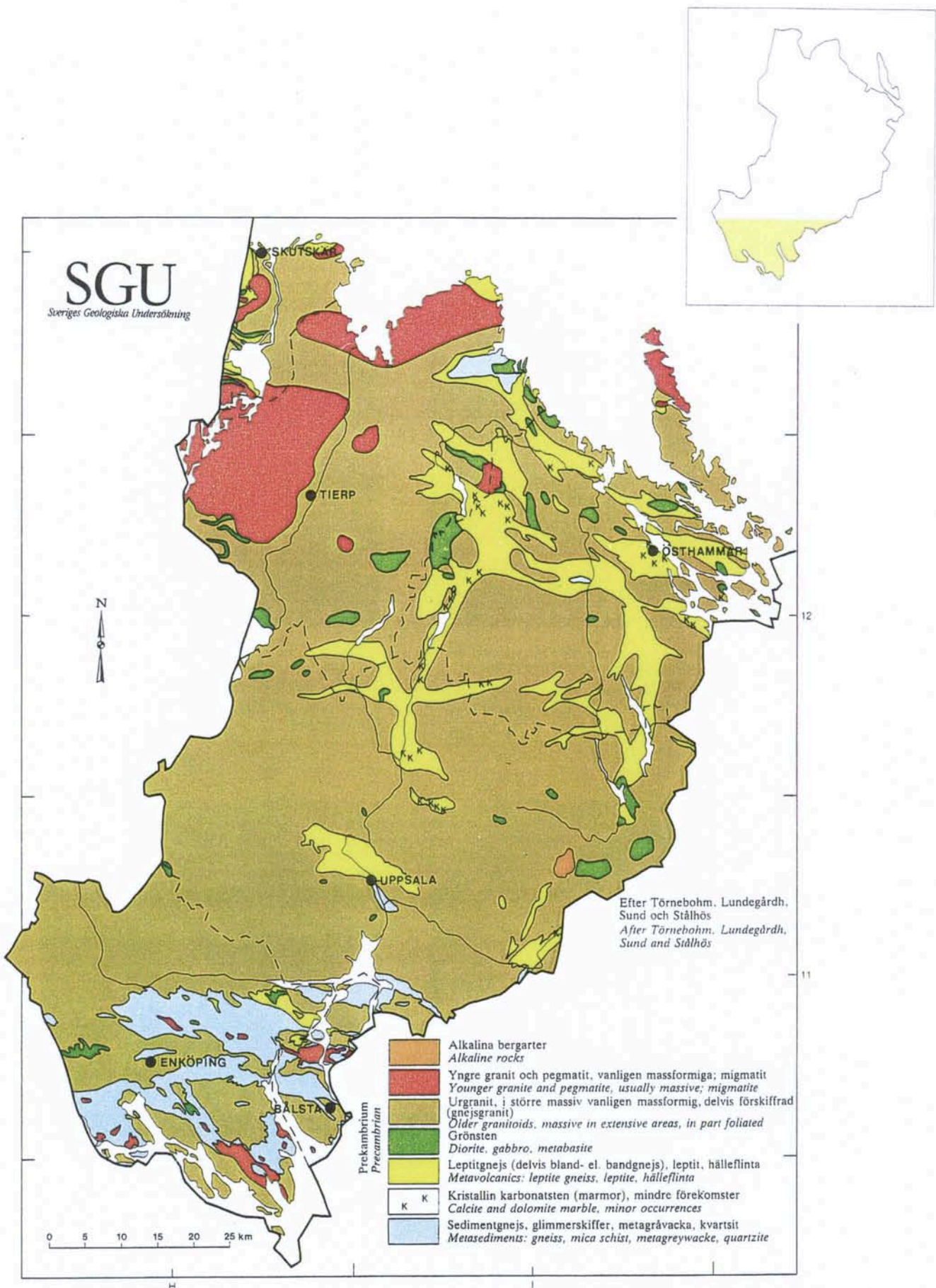
De metavulkaniska bergarterna (leptitgnejs o.s.v., gult i Figur 8) har stor utbredning i främst Östhammars kommun. De varierar i sammansättning från ryolit till basalt och är mestadels finkorniga. De flesta typerna tolkas som omvandlade vulkaniska askor, mer eller mindre om-lagrade i marin miljö. De sura metavulkaniterna är röda till grå, har vanligen ryolitisk sammansättning och består i huvudsak av lika delar kvarts, plagioklas och kalifältspat. Förutom skiktade typer, se Figur 9a, finns porfyriska varianter med strökorn av kvarts och i vissa fall fältspat.

Det finns en stark koppling mellan sura metavulkaniter, malmer och kristallina karbonatstenar (marmor, K i Figur 8) i regionen. De kristallina karbonatstenarna är antingen kalcit- eller dolomitdominerade och är vanligen associerade med skarnmineral. Lagren har i de flesta fall liten mäktighet men kan lokalt vara flera hundra meter mäktiga, som t.ex. i Dannemora. Där finns även stromatoliter som är rester av algkolonier. Förutom detta organiska bildningssätt kan karbonatstenarna ha bildats genom kemiska utfällningar i havsvatten.

Metavulkaniterna som är litet fattigare på kiseldioxid (SiO_2), s.k. metadaciter, är grå och antingen skiktade, porfyriska eller jämnkorniga och strukturlösa. Dessutom förekommer fragmentförande typer med cm- till dm-stora fragment av sura metavulkaniter. Plagioklasporfyriska metadaciter uppträder på vissa ställen som ytnära intrusioner. Metadaciter har stor utbredning i det N-S-liga stråket söder om Östhammar. I detta stråk ingår även ursprungligen basaltiska lavar, lokalt med hålrum fyllda med sekundära mineral (mandelstenar) eller med kuddlavestruktur. De metavulkaniska bergarterna norr om Bålsta är plagioklasporfyriska metaandesiter till metabasalter.

Metasedimentära bergarter

Metasedimentära bergarter (blått i Figur 8) har stor utbredning i länets sydliga delar. Grå fältspatskvartsiter dominerar och växellagrar med glimmerskiffrar med skikt alltifrån cm- upp till halvmeterbredda bankar, se Figur 9b. Lokalt förekommer primära sedimentära strukturer som graderad skiktning och strömskiktning. Genom omvandlingar har de metasedimentära bergarterna blivit kvarts- eller kvarts-fältspatådrade, detta gäller särskilt glimmerskiffrarna. Den starkaste omvandlingen är knuten till pegmatitrika områden.



Figur 8. Förenklad berggrundskarta över Uppsala län. Termerna i teckenförklaringen avviker något från de som används i texten. Med gul och ljusblå färg avses metavulkaniska respektive metasedimentära bergarter. Med brun och grön färg markeras äldre granitoider respektive de basiska och ultrabasiska djupbergarterna diorit, gabbro och ultrabasit. Med röd och orange färg avses yngre graniter och pegmatiter respektive alkalina bergarter. Kartan baseras på modern berggrundskartering i den södra delen av länet, se insättkarta, samt äldre berggrundskartering i den övriga delen av länet

Metasedimentära bergarter med kvarts-fältspatådror finns även i nordöstra delen av Tierps kommun och i nordvästra delen av Östhammars kommun. I dessa områden finns ett betydande inslag av metavulkaniska bergarter.

Djupbergarter

Djupbergarter utgörs av äldre (ca 1900-1850 miljoner år) och yngre (ca 1850-1750 miljoner år) huvudsakligen sura bergarter som bildades under olika stadier av den svekokarelska orogensen samt alkalina bergarter av något osäker ålder.

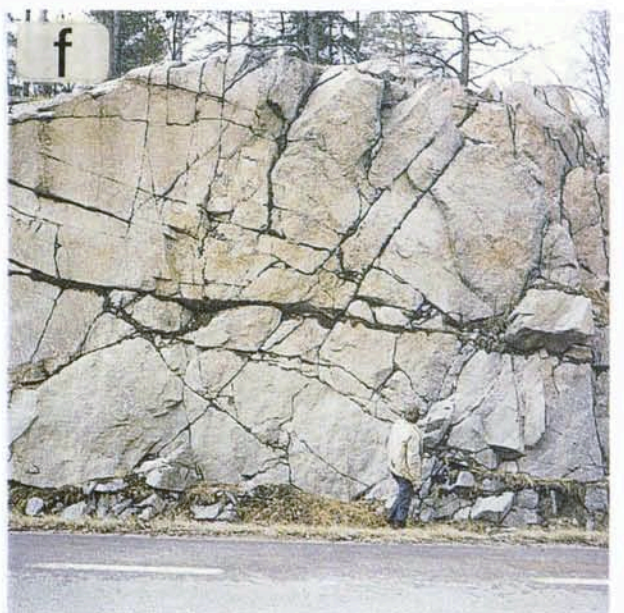
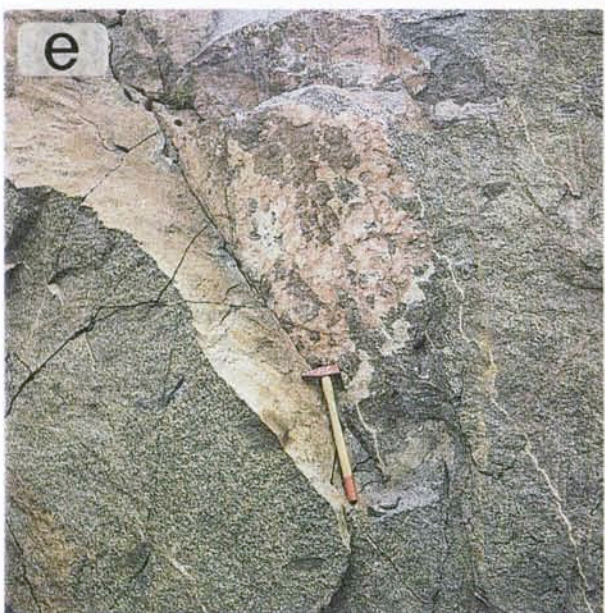
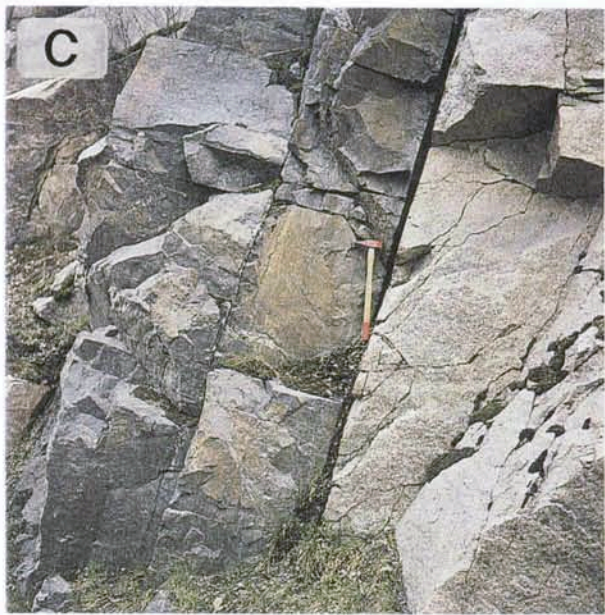
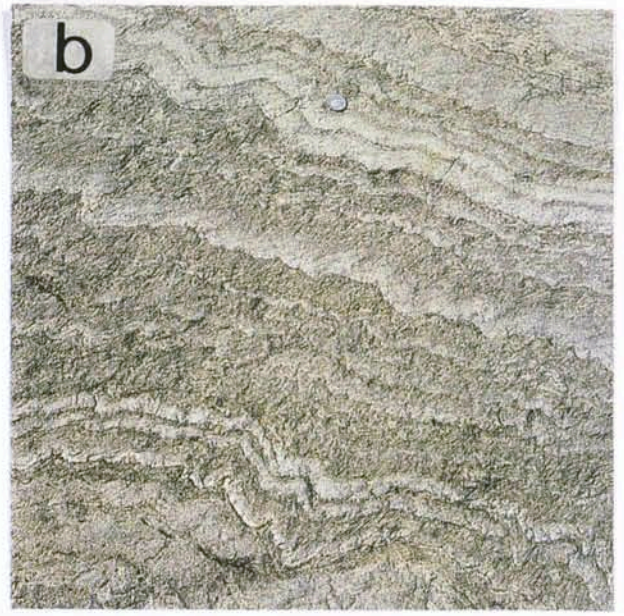
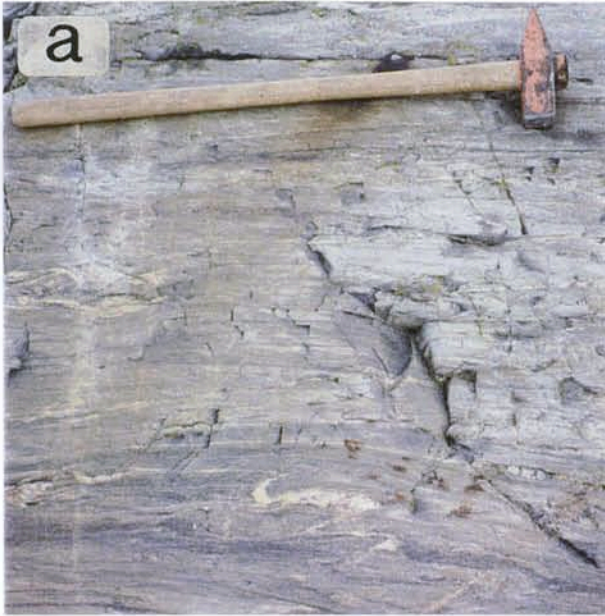
Äldre djupbergarter

De äldre djupbergarterna (ca 1900-1850 miljoner år) är de vanligaste bergarterna i länet och skiljer sig från de yngre djupbergarterna genom att de vanligen är mer deformerade (förskiffrade eller stängliga) och att de varierar starkt i sammansättning. Gruppen innefattar såväl granitoider (urgranit, brunt i Figur 8), som är ett samlingsnamn för granit, granodiorit och tonalit, som de mer basiska bergarterna diorit, gabbro och ultrabasit (grönt i Figur 8). Alla ingående bergarter är vanligen medelkorniga och jämnkorniga, utom vissa ögonförande varianter av granit och granodiorit, se Figur 9c-e. Granitoiderna skiljer sig ifrån varandra mineralogiskt genom varierande proportioner av mineralen plagioklas, kalifältspat, kvarts, biotit och hornblände. De basiska bergarterna uppbyggs väsentligen av plagioklas, hornblände och biotit; i de ultrabasiska bergarterna dessutom i många fall pyroxen och olivin. Ett karakteristiskt drag för tonaliterna är den på många ställen rikliga förekomsten av större eller mindre basiska inneslutningar, se Figur 9e.

Yngre djupbergarter

De yngre djupbergarterna (ca 1850-1750 miljoner år, rött i Figur 8) har nästan uteslutande granitisk sammansättning och förekommer antingen som granit, aplit eller pegmatit. Det största granitområdet (Hedesundagranit, se Figur 9f) ligger väster om Tierp. Graniten är gråröd till röd och porfyrisk med en delvis betydande hornbländehalt /38/. Granitberggrunden i kustområdena i länets nordligaste del är dåligt känd. Några större massiv av granit finns mellan Tierp och Forsmarksverket. Där är graniten finkornig till fint medelkornig och består av mineralen kvarts, kalifältspat, plagioklas och biotit. Inneslutningar av äldre bergarter förekommer rikligt. Granitområdena omger sig med pegmatitrika aureoler. Pegmatit dominerar bland de yngre djupbergarterna i Enköpings och Håbo kommuner.

Figur 9. Bergarter i Uppsala län. a) Starkt deformerad, bandad sur metavulkanisk bergart, norr om Forsmarksverket. b) Metagråvacka med växlande kvarts-fältspatrika och glimmerrika skikt, 5 km sydost om Enköping. c) Öppen kontakt mellan amfibolitgång och granit, sådana kontakter är ofta vattenförande, 8 km väster om Uppsala. d) Förskiffrad ögonförande granodiorit med några cm breda skjuvzoner, 14 km öster om Knivsta. e) Tonalit med små basiska inneslutningar och spricktytor klädda med laumontit, 9 km sydväst om Uppsala. f) Ögonförande yngre granit med väl utbildade sprickor, Söderfors. Fotografierna a och d är tagna av S. Bergman och b, c, e och f är tagna av P.H. Lundegårdh (publicerade i Söderholm m.fl. /8/).



Alkalina djupbergarter

Alkalina djupbergarter (orange i Figur 8) finns i ett 15 km² stort område (Almungemassivet) 25 km öster om Uppsala /39/. De vanligaste bergarterna är syenit, nefelinsyenit och nefelingabbro som innehåller mineral rika på natrium, kalium och järn. Åldersbestämningar har gett åldrar på 1700 och 1587 miljoner år.

Gångbergarter

Omvandlade basiska gångbergarter förekommer svärmvis i hela länet. De är finkorniga och består mest av mineralen hornblände, plagioklas, biotit-klorit, epidot och kvarts. Gångarna är vanligen någon eller några decimeter breda, se Figur 9c. De förekommer uteslutande i ytbergarterna och de äldre djupbergarterna och bildades ungefär samtidigt som dessa.

Diabasgångar som är yngre än områdets övriga bergarter och regionala omvandlingar finns främst i ett stråk nordväst om Bålsta. De flesta är mellan en och fem meter breda och har NV- eller O-V-liga riktningar. Pyroxen och plagioklas är de viktigaste mineralen i dessa finkorniga gråsvarta bergarter. Lokalt förekommer surare bergarter associerade med diabas. I denna del av Sverige är diabasgångarna ca 1550 och 900 miljoner år gamla.

Berggrundens homogenitet

Berggrunden är sällan helt homogen över större områden. Inhomogeniteter kan förekomma i form av t.ex. sprickor, gångar eller inneslutningar. I Östhammarsregionen har berggrundsområden klassificerats utifrån betydande inslag av följande inhomogeniteter /37/:

- 1) Granit, pegmatit eller aplit som gångar eller mindre massiv. Dessa finns rikligast i de norra och sydligaste delarna av Östhammars kommun.
- 2) Amfibolitgångar, som förekommer i stora svärmar i kommunens centrala del och i ett VNV-ligt ca 12 km brett bälte söder om Forsmarksverket.
- 3) Inneslutningar (från cm-stora till hundratals meter stora) av äldre berggrund i intrusiva bergarter. Större sådana områden finns i ett ca 15 km brett N-S-ligt bälte som genomkorsar kommunens centrala del.

En likvärdig bedömning i övriga delar av Uppsala län kan endast göras i det södra området där modern kartläggning föreligger. I de metasedimentära bergarterna är det generellt sett gott om granit, pegmatit eller aplit som gångar eller mindre massiv. Gångar av amfibolit eller diabas finns sydost om Enköping och i en zon nordväst om Bålsta. Inneslutningar förekommer som regel rikligt i de yngre djupbergarternas pegmatitområden. I de äldre djupbergarterna finns de endast lokalt.

5 Mineral- och bergartsresurser

Mineral- och bergartsresurser omfattar metalliska mineral (malmer), icke-metalliska mineral (industriella mineral) och nyttosten (bergarter för byggnads-, prydnads- och industriella ändamål och bergarter för ballastframställning, d.v.s. krossberg). Begreppet malm är enligt en allmänt spridd uppfattning en metallfyndighet i största allmänhet, och så används begreppet också i denna rapport. Definitionsmässigt är dock en malm egentligen en förekomst som kan brytas med ekonomisk vinning; annars är det en mineralisering.

Generellt sett kan en ekonomisk mineral- eller bergartsfyndighet förekomma i vilken bergart som helst. Malmer är vanligen knutna till vulkaniska bergarter, men vissa typer förekommer även i granitoider och sedimentära bergarter. Industriella mineral och nyttosten kan uppträda i alla berggrundsmiljöer. Krossberg av god kvalitet kan erhållas från såväl granitoider som vulkaniska och sedimentära bergarter.

Information om länets gruvor och bergtäkter har hämtats från kartor med beskrivningar publicerade av SGU under tiden 1863-1991 /10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36/, diverse publikationer /40, 41, 42, 43/, SGUs register över landets bergtäkter och uppgifter från länsstyrelsen. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästaren via SGUs Mineralkontor i Malå.

Översikt över mineral- och bergartsresurser

De flesta malmen i Mellansveriges malmprovins /44/ bildades i en aktiv vulkanisk miljö och återfinns i metavulkaniska bergarter. Inom Uppsala län är dessa bergarter främst koncentrerade till Östhammars kommun. Ett stort antal järnmalmförekomster finns där men även några sulfidmalmer.

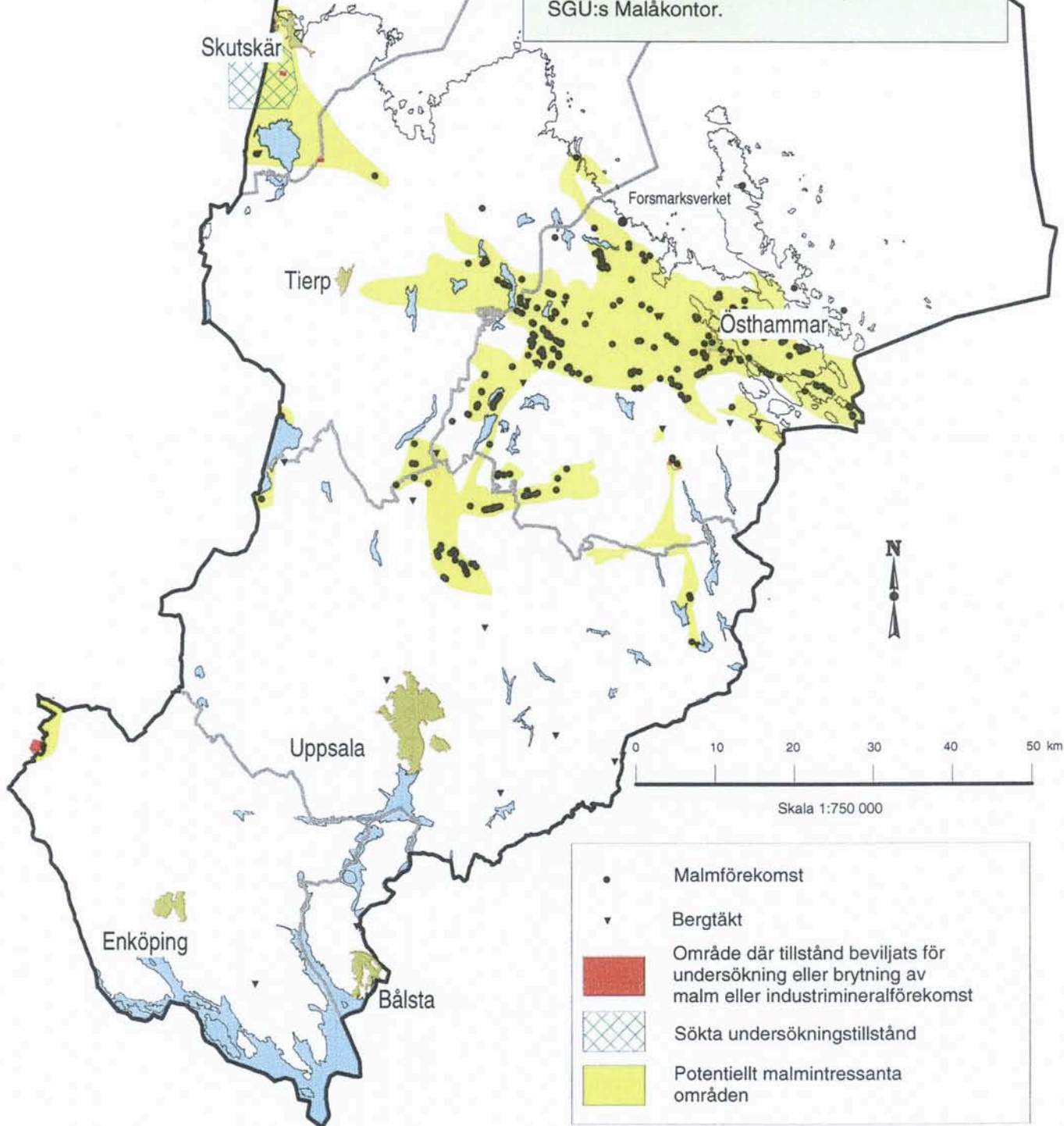
De metavulkaniska bergarterna är finkorniga och har i många fall goda krossbergsegenskaper. Kristallin karbonatsten (marmor) åtföljer de metavulkaniska bergarterna och stenbrott finns upptagna i många förekomster av denna bergart. Bergarten används för såväl industriella ändamål som för prydnadsstensändamål. Metasedimentära bergarter har såvitt känt inte utnyttjats som naturresurs. Alldeles utanför länet norr om Bålsta finns dock en täkt där man tidigare utvunnit grafit som anrikats i en pegmatitgång i fältspatkvartsit. Granitoiderna, som är de vanligaste bergarterna i länet, har sin största användning som krossberg. Tidigare har granitoiderna i stor omfattning utnyttjats som byggnadssten.

Metalliska mineralresurser

Järnmalmerna är huvudsakligen av skarnjärnmalmstyp, med malmmineralet magnetit associerat med t.ex. hornblände, pyroxen, epidot och granat. Dessutom finns kalkmalmer och kvartsrandiga blodstensmalmer. I området finns en lång gruvbrytningstradition, men efter nedläggningen av Dannemora gruva 1992, bedrivs för tillfället ingen gruvverksamhet. Sulfidmalmer med t.ex. koppar, bly och zink är underordnade men det finns dock flera objekt som är föremål för pågående prospektering (se nedan). I Figur 10 visas malmförekomster som prickar. I vissa områden där förekomsten av gruvor är särskilt riklig visas endast ett urval.

Mineral- och bergartsresurskarta över Uppsala län med malm- och nyttostensförekomster, undersökningstillstånd och potentiellt malmintressanta områden.

Informationen är hämtad från SGU:s kartor, beskrivningar och register över landets bergtäkter, uppgifter från länsstyrelsen och diverse publikationer. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästaren via SGU:s Malåkontor.



Figur 10. Mineral- och bergartsresurskarta över Uppsala län (sammanställning mars 1997)

Nyttosten

Kristallin kalksten (marmor) har för olika ändamål brutits på många ställen i länet, den mest betydelsefulla brytningen har skett vid Vattholma norr om Uppsala och i Braxenbol sydost om Östhammar. I ett stenbrott som för närvarande är i drift vid Gråmyren, i nordvästra hörnet av Uppsala kommun, bryts kristallin kalksten som prydnadssten för export till Finland. Täljsten har brutits i några mindre brott vid Löddby sydväst om Gimo. Bergarten har bl.a. utnyttjats som prydnadssten.

Vid Aspö norr om Gimo har man tills nyligen brutit metagabbro för mineralulltillverkning. Tidigare har brytning för samma ändamål skett på flera ställen sydost om Gimo.

Förekomster av krossberg är inte lika hårt knutna till en specifik bergart som malmerna i länet. Det ökande efterfrågan på krossberg gör att antalet bergtäkter sannolikt kommer att öka inom en snar framtid. En nyligen genomförd inventering av krossberg i länet har påvisat ett stort antal förekomster av berg med goda eller tämligen goda krossbergsegenskaper spridda över hela länet /42/. Dokumenterade förekomster med god kvalitet finns främst i länets nordvästra del, från Släsby söder om Dannemora till Skutskär. Bergtäkter för ballast är i dagsläget i produktion på tre ställen i länet: i Olunda sydost om Uppsala, vid Gränhammar väster om Uppsala och i Hargshamn sydost om Östhammar. Täkter i etableringsskede eller med beviljade tillstånd finns vid Strömsberg norr om Tierp, Månkarbo söder om Tierp, Skyttorp söder om Dannemora, Hovgården nordost om Uppsala och Sneby nordost om Enköping. I Figur 10 visas bergtäkter av alla slag som trianglar.

Pågående prospektering

Uppsala län tillhör inte de mest prospekteringsintressanta länen i landet. Beviljade undersökningstillstånd (alla till privatpersoner) finns på fem platser i länet och är markerade med röd färg i Figur 10. Områden där undersökningstillstånd söks är markerat med grön färg.

Söder om Skutskär och vid kommungränsen norr om Tierp finns undersökningstillstånd som gäller wolfram och industrimineralet wollastonit samt guld och koppar. Undersökningstillstånd är beviljat för kobolt i Norrby gruvfält, nordväst om Östhammar och för bly och zink vid Fridhem, sydost om Gimo. Vid länsgränsen nordväst om Enköping ligger Gaddebo nickelgruvor. Malmen utgörs av nickelhaltig magnetkis och kopparkis som körtlar och impregnationer i en gabbro /40/. Ett utmål (koppar och nickel) finns för Boliden Mineral AB och undersökningstillstånd för zink och nickel är beviljat i förekomstens omgivning.

Potentiellt prospekteringsintressanta områden

Framtida prospekteringsintressen kan förutses främst i områden med ytbergarter och där i närheten av redan kända förekomster. Sådana områden är markerade med gul färg i Figur 10. Förekomsterna är huvudsakligen kända som järnmalmer och som sådana är det osannolikt att de kommer att bli av ekonomiskt intresse inom den närmaste framtiden. Förekomsterna visar dock att malmbildande processer har varit aktiva i området, och därmed finns möjligheten att även andra mer intressanta metaller har anrikats i berggrunden. På senare tid har man funnit att vissa typer av malmer är knutna till deformationszoner. Man kan således även betrakta länets deformationszoner (se nedan) som potentiellt malmintressanta.

Strax väster om Uppsala län, i Banmossen nordost om Sala, finns en brytningkoncession för wollastonit. Som nämndes ovan har detta mineral även hittats söder om Skutskär. Wollastonit förekommer i karbonatstenar varför ytterligare fyndigheter inte kan uteslutas i anslutning till någon av länets karbonatstenar.

Metagabbro kan förmodas bli av intresse både som råvara till mineralull och för dess potentiella innehåll av krom, nickel och platinagruppens metaller. I de alkalina bergarterna i Almungemassivet ingår relativt stora inslag av kalium och natrium, som kan ge dem en framtida betydelse för keramisk industri och glasindustri.

6 Deformationszoner

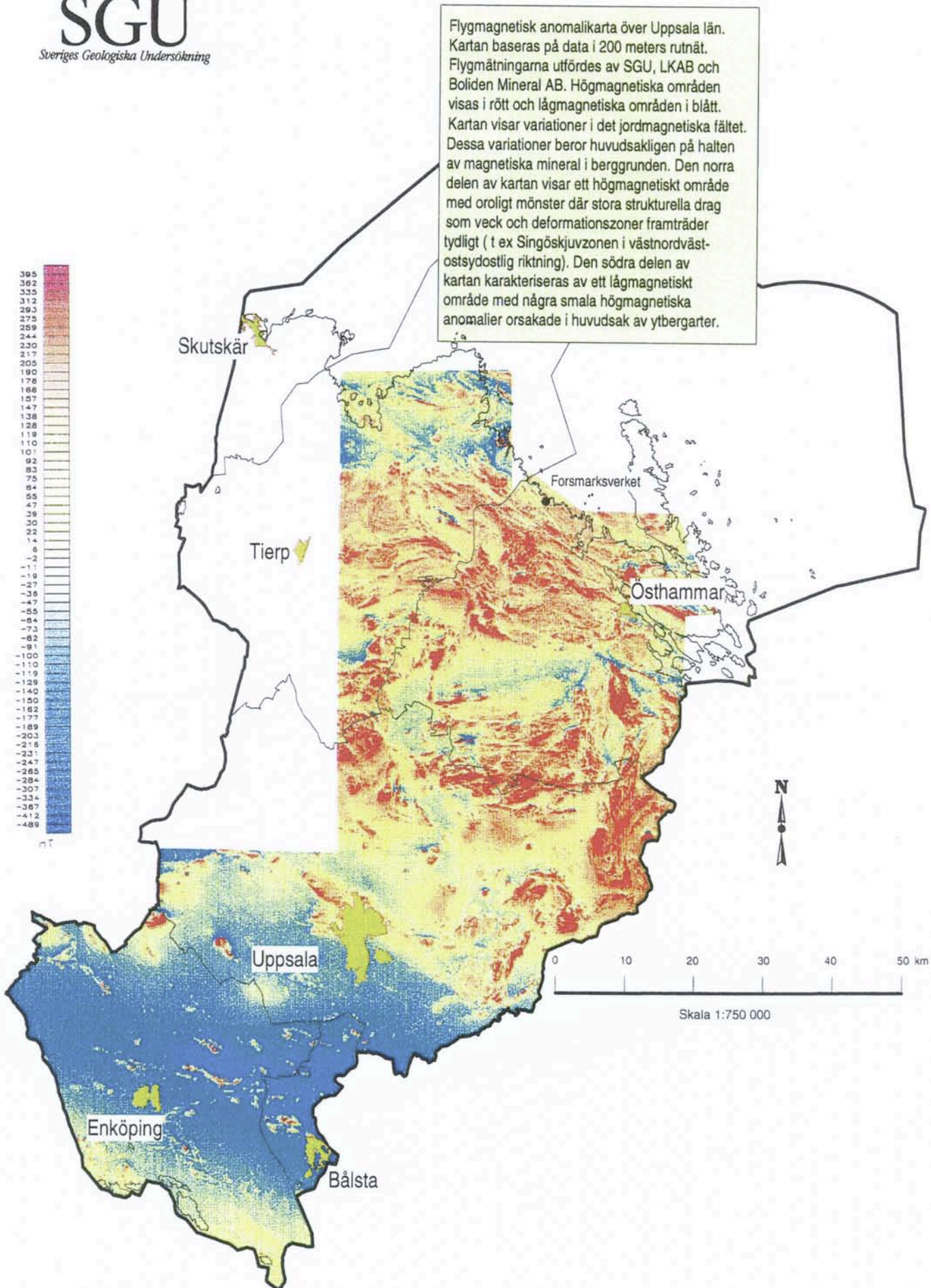
Definitioner och metodik

En *deformationszon* är en svaghetszon utefter vilken berggrunden på ömse sidor av zonen har rört sig i förhållande till varandra. Sker deformationen på stora djup under varma förhållanden deformeras bergarterna plastiskt, likt en trögflytande massa, och zonen benämns då allmänt plastisk deformationszon eller *plastisk skjuvzon*. Närmare jordytan, där temperaturen är lägre, är deformationen av spröd karaktär, d.v.s. det sker en mekanisk nedbrytning och uppsprickning av bergarterna. I detta fall kallas zonen spröd deformationszon eller *sprickzon*. Om rörelsen har skett parallellt med sprickzonen talar man om en *förkastning*.

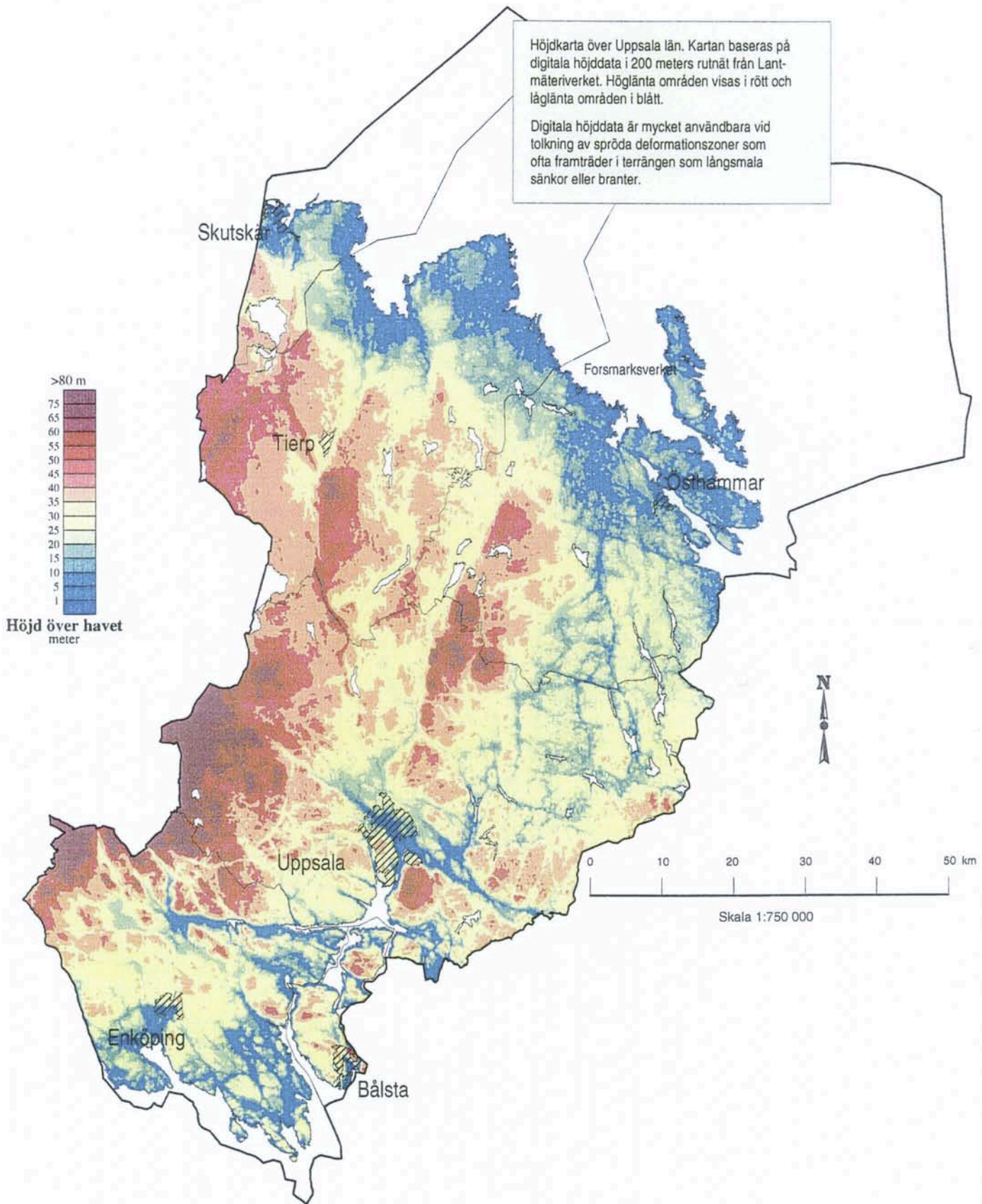
En *formlinje* markerar en strukturell trend i terrängen. Formlinjer för planstrukturer som bildades under varma, plastiska förhållanden, d.v.s. förskiffring och bandning, har sammanställts genom interpolation av fältmätningar av sådana strukturer. Dessa mätningar har hämtats dels från SGUs publicerade berggrundskartor /10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36/. Berggrunden i Östhammars kommun finns beskriven i Bergman m.fl. /37/, dels från pågående arbete (J.-O. Arnbom, S. Bergman). Befintliga formlinjer i digital form har utnyttjats /37/ samt pågående arbete av L. Persson/. I områden där befintlig fältinformation är sparsam har formlinjerna kompletterats med tolkning av bandade anomalimönster på den flygmagnetiska kartan, se Figur 11, s.k. *magnetiska konnektioner*. Befintliga sammanställningar av magnetiska konnektioner /37/ har utnyttjats. Flygmätningarna i länet har utförts av SGU, LKAB och Boliden Mineral AB.

Formlinjer och magnetiska konnektioner återspeglar berggrundens storskaliga strukturriktningar. Sammanställning av dessa linjer ger ofta en antydning om förekomsten av plastiska skjuvzoner och mellanliggande domäner. Domänerna mellan skjuvzonerna kan utgöras av områden med regionalt mer homogen deformation eller områden med odeformerade bergarter. Plastiska skjuvzoner har markerats där planstrukturerna i långsmala stråk avviker i riktning från omgivande områden. Dessa zoner utmärks också av att planstrukturerna i den omgivande berggrunden ofta är inböjda mot skjuvzonerna. Förekomsten av starkt förskiffrade bergarter och myloniter är karakteristiskt för plastiska skjuvzoner och sådana bergarter har dokumenterats i vissa av de zoner som markerats i länet. Vid identifiering och begränsning av plastiska skjuvzoner har också flygmagnetiska data, se Figur 11, använts.

Sprickzoner är sällan blottade utan vanligen täckta av glaciala-postglaciala avlagringar, moss- och myrmarker eller utgör vattendrag, varför direkta studier är begränsade. Sprickzoner har i första hand tolkats med hjälp av höjddata framtaget av Lantmäteriverket, se Figur 12,



Figur 11. Flygmagnetisk karta över Uppsala län



Figur 12. Höjdreliëfkarta över Uppsala län

och från flygmagnetiska data, se Figur 11. På flygmagnetiska kartor framträder spröda deformationszoner i regel som smala, lågmagnetiska stråk. Endast sprickzoner med en längd över ca 10 km har markerats.

På kartan i Figur 13 visas tolkade sprickzoner och plastiska skjuvzoner samt formlinjer och magnetiska konnektioner. Vidare visas djupbergarter yngre än ca 1850 miljoner år. Kartan över deformationszoner, se Figur 13, återspeglar zoner som är tolkade i Bergman m.fl. /37/ och i samband med denna studie. Ett fåtal av dessa zoner är belagda (se nedan) men de flesta zonerna behöver kontrolleras i fält innan deras existens och utbredning kan fastställas. Kartan bör därför tills vidare betraktas med försiktighet. Kartan återspeglar också bristen på information i de västliga delarna av länet.

Plastiska skjuvzoner

Plastiska skjuvzoner, som kan vara upp till flera kilometer breda, finns främst i länets norra del där Singö-skjuvzonen /37, 45/, ett brett NV- till VNV-ligt bälte med vindlande skjuvzoner, följer kustområdet, se Figur 13. Enstaka plastiska skjuvzoner med samma riktningar finns nära Uppsala och Enköping. Vid Tierp, Dannemora och öster om Knivsta finns plastiska skjuvzoner som tillhör en annan, möjligen äldre grupp med NO- till NNO-liga riktningar. En minst 30 km lång skjuvzon stryker i NNV-lig riktning öster om Gimo.

Utmärkande för Singö-skjuvzonen är förekomsten av tektoniska linser inom själva zonen med lägre deformationsgrad. En sådan lins finns sydost om Forsmarksverket. I många fall är yngre graniter lokaliserade till dessa linser, som t.ex. sydväst om Forsmarksverket.

Berggrundens strukturriktningar i de mellanliggande domänerna varierar starkt. I länets södra del dominerar O-V- till NV-liga riktningar. Norr om Uppsala är O-V- till ONO-liga riktningar vanligast, dock med stora lokala variationer. Stora veckstrukturer förekommer vid Mälaren i söder och i länets norra delar.

Sprickzoner och förkastningar

Spröda deformationszoner utgörs vanligen av krossat berg, vilket gör dem lättroderade. De uppträder därför som långsmala sänkor eller branter i terrängen. Bredden kan vara upp till flera hundra meter. Enskilda sprickor kan vara öppna, se Figur 9c, eller fyllda med t.ex. laumontit, se Figur 9e.

Stupningen på de tolkade zonerna är med få undantag okänd. En sprickzon, som dock troligtvis är flack, syns som en 30 km lång båge, se Figur 12, i sydvästra delen av Uppsala kommun. Flacka sprickzoner är dock generellt sett svåra att upptäcka med hjälp av höjd- och flygmagnetiska data. I håll är det dock vanligt att påträffa små flacka sprickzoner, se Figur 9f, och större sådana har också dokumenterats på djupet genom speciella undersökningar /46/.

Ett synbarligen enkelt sprickzonsmönster med i huvudsak tre riktningar finns i Enköpings och Håbo kommuner, se Figur 13. Längre mot norr är bilden mer komplex med ett nätverk av sprickzoner i många olika riktningar. De VNV-liga zonerna ökar markant i frekvens från söder mot norr i länet. Genom tolkningen av spröda deformationszoner kan homogena berggrundsblock definieras. Generellt sett ger Figur 13 intrycket att länets östra delar är mer

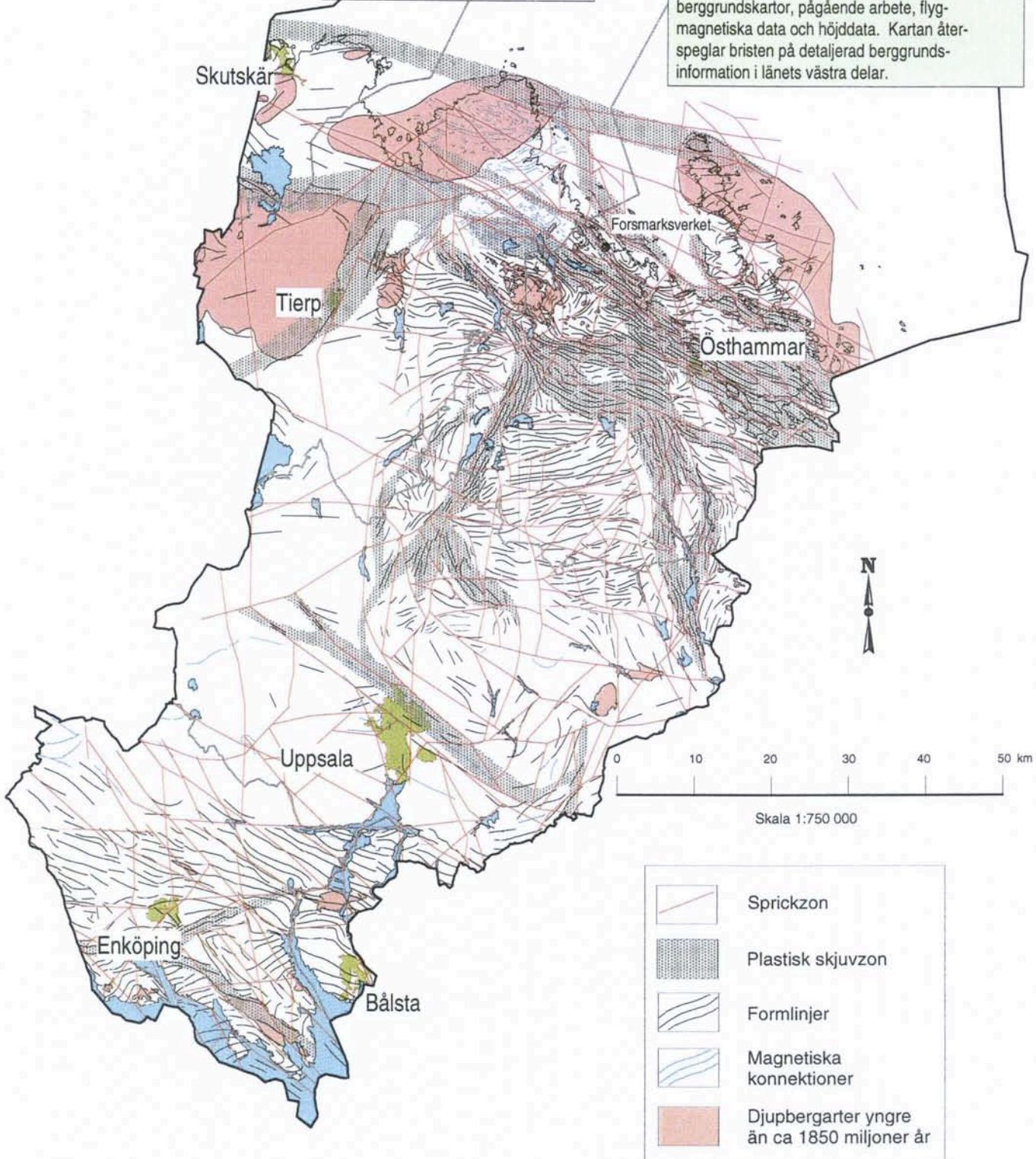


Deformationszonskarta över Uppsala län med formlinjer, magnetiska konnektioner, tolkade plastiska skjuvzoner och sprickzoner, och djupbergarter yngre än ca 1850 miljoner år.

Formlinjerna visar berggrundens strukturella riktningar. Plastiska skjuvzoner har markerats där formlinjerna i långsmala stråk avviker från omgivande områden. Singö-skjuvzonen är det breda vindlande bältet som följer kustzonen.

Sprickzoner följer i många fall de äldre strukturriktningarna i berggrunden. Länets östra delar är mer uppspruckna än de västra delarna.

Tolkningen är baserad på data från SGUs berggrundskartor, pågående arbete, flygmagnetiska data och höjddata. Kartan återspeglar bristen på detaljerad berggrundsinformation i länets västra delar.



Figur 13. Deformationszonskarta över Uppsala län

uppspruckna än dess västra, som har många stora block. Inom dessa block finns dock kortare sprickzoner och förkastningar, vilkas utbredning måste klarläggas vid eventuella framtida mer detaljerade studier.

Deformationszoner i tid och rum

De äldsta deformationszonerna i Uppsala län är plastiska skjuvzoner som bildades för ca 1850-1600 miljoner år sedan på mer än 10-15 kilometers djup. Senare höjdes berggrunden och svalnade och deformationen skedde under spröda förhållanden. Det finns många exempel i Figur 13 på att de spröda deformationszonerna följer de äldre plastiska strukturerna, s.k. reaktivering. Så är fallet med nästan samtliga plastiska skjuvzoner. I vissa tektoniska linser är även frekvensen av sprickzoner lägre, t.ex. sydost om Forsmarksverket.

De sprickzoner och förkastningar som finns idag bildades under den långa tidsrymden från ca 1600 till mindre än 545 miljoner år sedan. Rörelser har förmodligen skett åtskilliga gånger längs vissa förkastningar. Den nuvarande berggrundsytan motsvarar i grova drag den plana erosionsyta som utbildades i senprekambrisk tid (före 545 miljoner år sedan). Stora nivåskillnader i berggrundsytan över korta avstånd beror på förkastningsrörelser efter denna tid. Detta ger möjligheten att avgöra de relativa rörelserna för några av de större förkastningarna. I Figur 12 syns tydligt att det östra blocket rört sig uppåt längs de NNO-liga förkastningarna vid Tierp och Dannemora. Södra blocket har höjts vid Uppsala och söder om Östhammar längs de VNV-liga förkastningarna i dessa områden. Längs den O-V-liga förkastningen söder om Uppsala har det norra blocket rört sig uppåt. Dessa rörelsemönster gäller även för många mindre förkastningar.

I kapitlet om jordarter (se nedan) behandlas sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan inklusive jordskalv.

7 Jordarter, jorddjup samt sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan

Kännedomen om jordartsgeologin inom Uppsala län grundar sig främst på den kartläggning som SGU genomfört i området mellan åren 1977 och 1993 /47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58 samt pågående arbeten av L. Rudmark och S.-I. Svantesson/ och på olika specialarbeten. De enda delar som inte täcks av moderna jordartskartor är en liten yta drygt 30 km VNV om Uppsala och området väster och sydväst om Lövsbukten i länets nordligaste del.

Isavsmältning och postglacial utveckling

Den senaste inlandsisen avsmälte från området mellan 10 400 och 9 950 år sedan /59/. Isräfflor visar att isfronten var i stort sett orienterad i O-V. Avsmältningstakten var enligt lervarvs-mätningar 200 till 300 m per år, något långsammare i områdets södra del än i dess norra. Avvikelser i isfrontens sträckning förekom lokalt t.ex. öster om Dannemora, och större inbuktningar bildades i anslutning till de stora åsarna, t.ex. Uppsalaåsen. I norra Uppland var isfronten närmast lobformad på grund av isens snabba uppbrytning över Ålands hav. Under nedisningens huvudskede beräknas istäckets mäktighet ha varit mellan 2 000 och 2 500 m /60/, medan ismäktigheten vid fronten under avsmältningen har beräknats till ca 300 m. När landisen avsmälte, började den av landisen kraftigt nedtryckta jordskorpan att höja sig, först snabbt, senare i allt långsammare takt. Den högsta nivå till vilken dåtida havet nådde var i länets södra del ca 150 m och i norra delen närmare 200 m över nuvarande havsytan. De högst

belägna områdena inom länet når ca 100 m över havet och höjde sig över havsytan för drygt 8 600 år sedan. Strandförskjutningen, som därefter har varit relativt jämn och är densamma som landhöjningen då havsytans nivå är konstant, är i dag i områdets södra del drygt 0,4 m/100 år och i norra delen ca 0,6 m/100 år.

Jordarterna i området har bildats i samband med den senaste landisens avsmältning, glaciala jordarter, och tiden därefter, postglaciala jordarter. På ett par lokaler har äldre jordlager påträffats. Ca 20 km VNV om Uppsala observerades en komplex lagerföljd med moräniserat sediment som, enligt analyser, troligen är från förra mellanistiden, Eem. Den underlagrande moränen är i så fall från istiden dessförinnan, benämnd Saale. I samband med byggandet av Forsmarks kärnkraftverk noterades sedimentfyllda sprickor i berget. Sedimenten har troligen avsatts före eller i början av den senaste nedisningsfasen /61/.

Jordarter och jorddjup

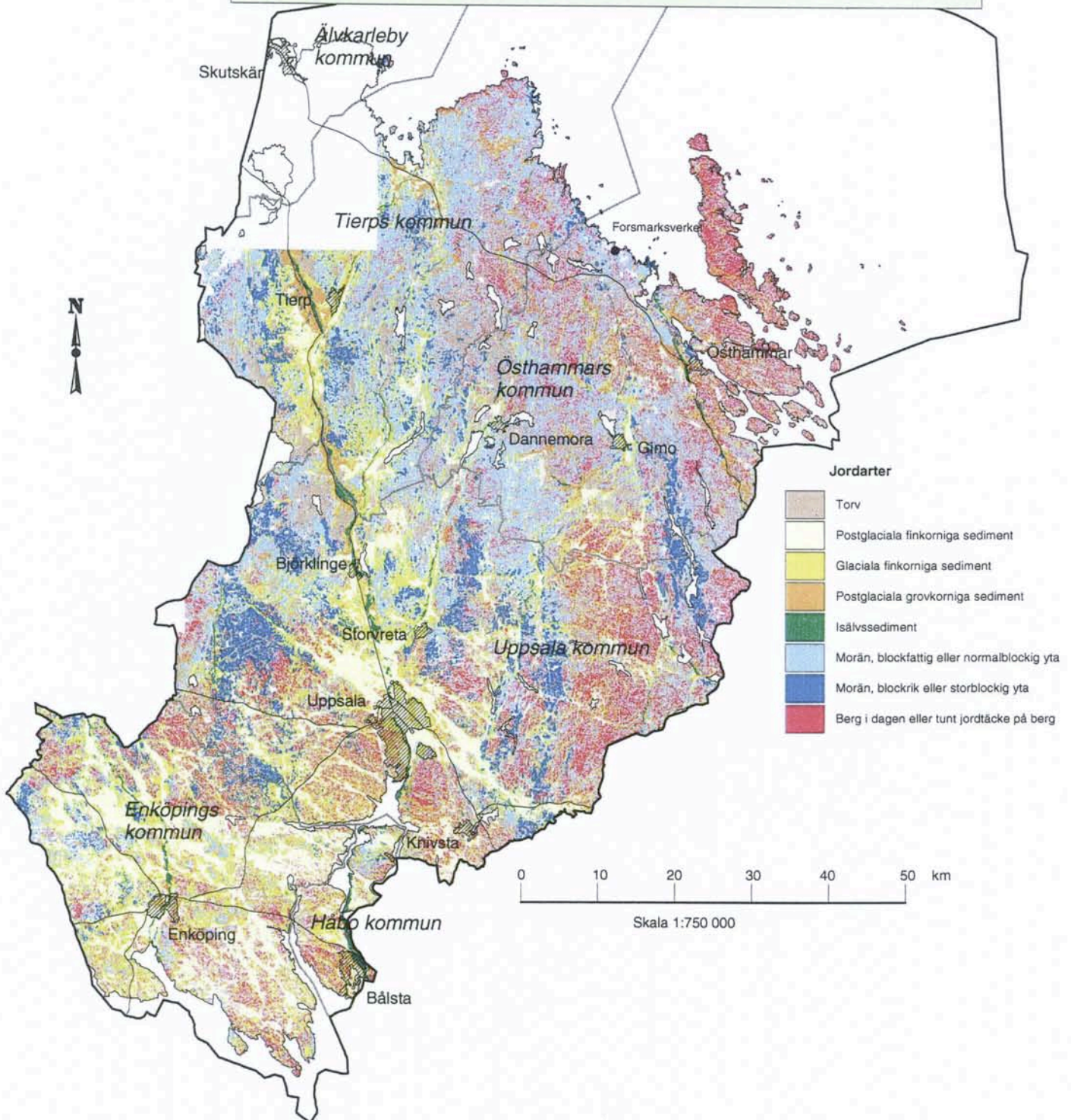
Bergblottningsgrad, jordartsfördelning och jorddjup

Bergblottningsgrad och jordartsfördelning i området framgår av översiktskartan, se Figur 14. I kustområdet från ca 20 km NNV om Forsmarksverken och söderut är berget väl blottat. Hög bergblottningsgrad finns också inom vissa begränsade höjdområden t.ex. vid Finnsjön knappt 20 km VSV om Forsmarksverken, norr och öster om Ekolsundsviken strax väster om Bålsta, inom ett stort område drygt 30 km OSO om Uppsala och i Uppsalaregionen. Morän har stor utbredning framför allt i länets norra och centrala delar. I länets södra del förekommer morän mest i anslutning till uppstickande bergshöjder. Isälvsediment, sand och grus, bildar åsar som vanligen är knutna till dalgångar. Finkorniga sediment, övervägande olika leror, har stor utbredning i länets södra del, i området kring Uppsala och i dalgången norrut mot Tierp, medan utbredningen i norra och östra delarna är begränsad till vissa dalstråk och låglänta områden som t.ex. Lövstabukten. De stora torvmarkerna är huvudsakligen koncentrerade till länets norra del. Inom stora delar av länet är jordmäktigheten obetydlig eller ringa. Måttliga och stora jordmäktigheter förekommer dels inom ett område ca 20 km norr om Enköping, dels inom en zon med varierande bredd från Uppsala till Skutskär, där på flera ställen jordmäktigheter över 20 m noterats. Figur 15 visar en schematisk karta över jorddjupen i länet.

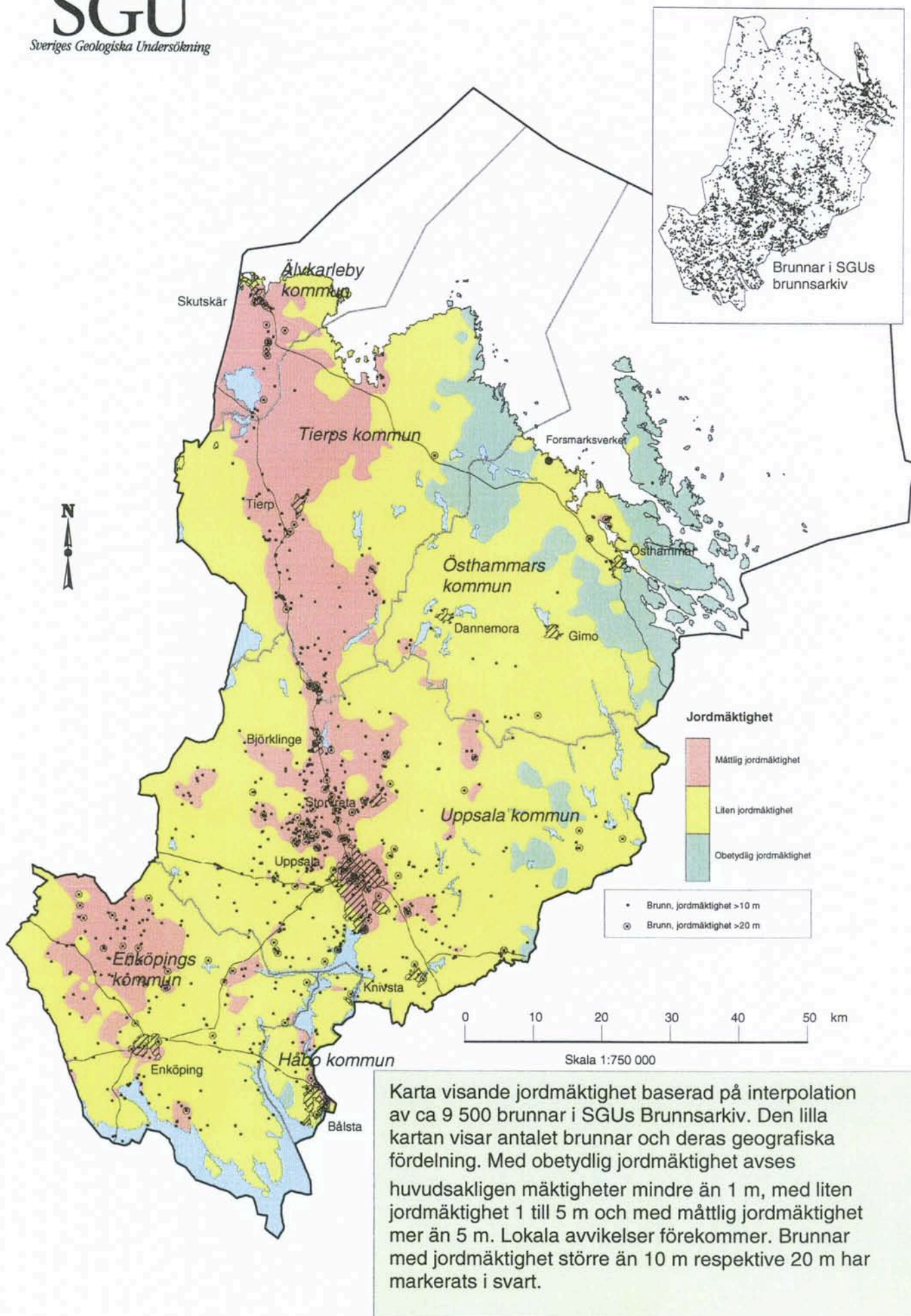
Glaciala jordarter

Morän, som har stor utbredning, är det av landisen uppluckade, bearbetade och avlagrade osorterade materialet. Vanligen är moränen sandig. Lerig morän påträffas nordväst om Östhammar och ca 15 km nordväst om Björklinge, medan större ytor med grusig morän uppträder i områdena ca 15 km VNV om Uppsala och väster och nordväst om Björklinge. Inom länets nordöstra delar är moränen vanligen kalkhaltig. Moränens ytblockighet varierar. Lerig morän har i regel närmast blockfattig yta. Sandig morän har vanligen normalblockig, men i vissa områden blockrik eller t.o.m. storblockig yta, se Figur 16a, t.ex. inom vissa ytor norr och öster om Uppsala, och kring sjön Vällan ca 25 km söder om Östhammar. I områden med grusig morän är markytan i regel blockrik och storblockig. Moränens mäktighet varierar. I områden med täta hållblottningar är moränen ofta endast några meter tjock. Inom stora sammanhängande ytor med sandig morän förekommer moränmäktigheter på omkring 10 m, lokalt närmare 20 m. Den leriga moränen i området nordväst om Östhammar är vanligen mellan 5 och 10 m mäktig.

Översigtskarta visande berg i dagen och jordartsfördelningen i Uppsala län. Kartan grundar sig på den jordartsgeologiska kartläggningen i skala 1:50 000 som SGU genomförde i området mellan åren 1977 och 1993 och som publicerats i SGU serie Ae. Vissa förändringar i den ursprungliga jordartsindelningen har gjorts. Jordartsinformationen finns digitalt lagrad.



Figur 14. Översigtskarta visande berg i dagen och jordartsfördelningen i Uppsala län (sammanställning mars 1997)



Figur 15. Jordmäktighet i Uppsala län (sammanställning mars 1997)



Figur 16. Jordarter i Uppsala län.

a) Blockkrak och delvis också storblockig moränyta ca 15 km nordost om Uppsala. Foto Ch. Persson 1980.



b) Markerat parti av "rullstensåsen" 1,3 km NNO om Uppsala. Detta åsstråk är en biås till Uppsalaåsen. Materialet domineras av grus och sand. Foto Ch. Persson 1982.



c) Klapplasse, ett klapperfält på nordligaste Hållnåshalvön. Klapperfältet har bildats genom svallning av morän i samband med att området steg ur havet. Foto Ch. Persson 1984.

Isälvsedimenten har transporterats och sorterats av isälvar i och under isen och avlagrats vid isfronten under avsmältningen. Grus och sand dominerar. Isälvsavlagringarna har i området vanligen formen av åsar, se Figur 16b, och flera sådana åsstråk finns i området. Längst i väster löper den stora Enköpingsåsen. En liten ås sträcker sig från Järlåsa, drygt 20 km väster om Uppsala, norrut till söder om sjön Tämnaren, drygt 15 km väster om Björklinge. Den största åsen i området, Uppsalaåsen, kan följas från Bålsta norrut till Billudden nordost om Skutskär och har flera små biåsar. Väster om Östhammar finns en relativt stor ås, som innehåller mellan 10 och 20% ordovicisk kalksten i fingrusfraktionen. Isälvsedimentens mäktighet växlar mycket, från några meter till 10 m i de små åsarna till över 20 m i de större. Vid Uppsala är åsen lokalt enligt seismiska mätningar ca 40 m mäktig.

Glacial lera har avsatts av smältvatten från den retirerande isen och på ett visst avstånd från fronten. Den glaciala leran, som ofta är kalkhaltig, har stor utbredning främst i Mälardalsregionen, i Uppsalas omgivning och i de större dalgångarna, och mäktigheten är där ofta 10 till 20 m, lokalt över 20 m. I länets norra del har den glaciala leran avsevärt mindre utbredningen, och mäktigheten överstiger endast lokalt 5 m.

Postglaciala jordarter

Postglaciala sediment utgör omlagringsprodukter av glaciala jordarter eller har nybildats efter det att landisen lämnat området. Svallsediment, klapper, se Figur 16c, grus och sand, uppträder ofta i anslutning till isälvsavlagringar och exponerade moränhöjder. Mäktigheten är vanligen några meter, men kan lokalt vara större.

Postglaciala finkorniga sediment, vanligen olika leror, har avsatts i vikar och från havet avsnörda bassänger. Dessa leror är ofta grå till färgen och i områdets norra del högst 4-6 m mäktiga. I Mälardalsregionen, där dessa sediment har stor utbredning, synes mäktigheten ofta vara av samma storleksordning, medan i området kring Uppsala kan dessa leror lokalt vara upp till 30 m mäktiga.

Organiska jordarter domineras av torv. Torvmarker har stor utbredning främst i områdets norra del, och både kärr och mossar förekommer. Torvmäktigheten är vanligen 3 till 4 m. Den största torvmarken är Florarna, belägen ca 10 km norr om Dannemora.

Sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv

Sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan, som ger sig tillkänna som sprickbildningar, förkastningar och seismisk aktivitet, har dokumenterats från norra Sverige /62, 63/. Mörner /64, 65, 66/ anser att sådana rörelser förekommit också i andra delar av landet, huvudsakligen som en följd av den snabba landhöjningen. En granskning och sammanfattning av denna typ av rörelser i Sverige har gjorts av Muir Wood /67/. Bortsett från ett antal registreringar av jordskalv finns inga uppgifter om sen- och postglaciala rörelser från Uppsala län, och i samband med SGUs jordartskartering gjordes inga observationer som indikerar att sådana rörelser förekommit. De störningar och förkastningar som noterats lokalt i isälvssediment, har tolkats som orsakade av avsmältning av infrusna isblock, tryckavlastning eller porvattenavgång i samband med eller efter landisens avsmältning.

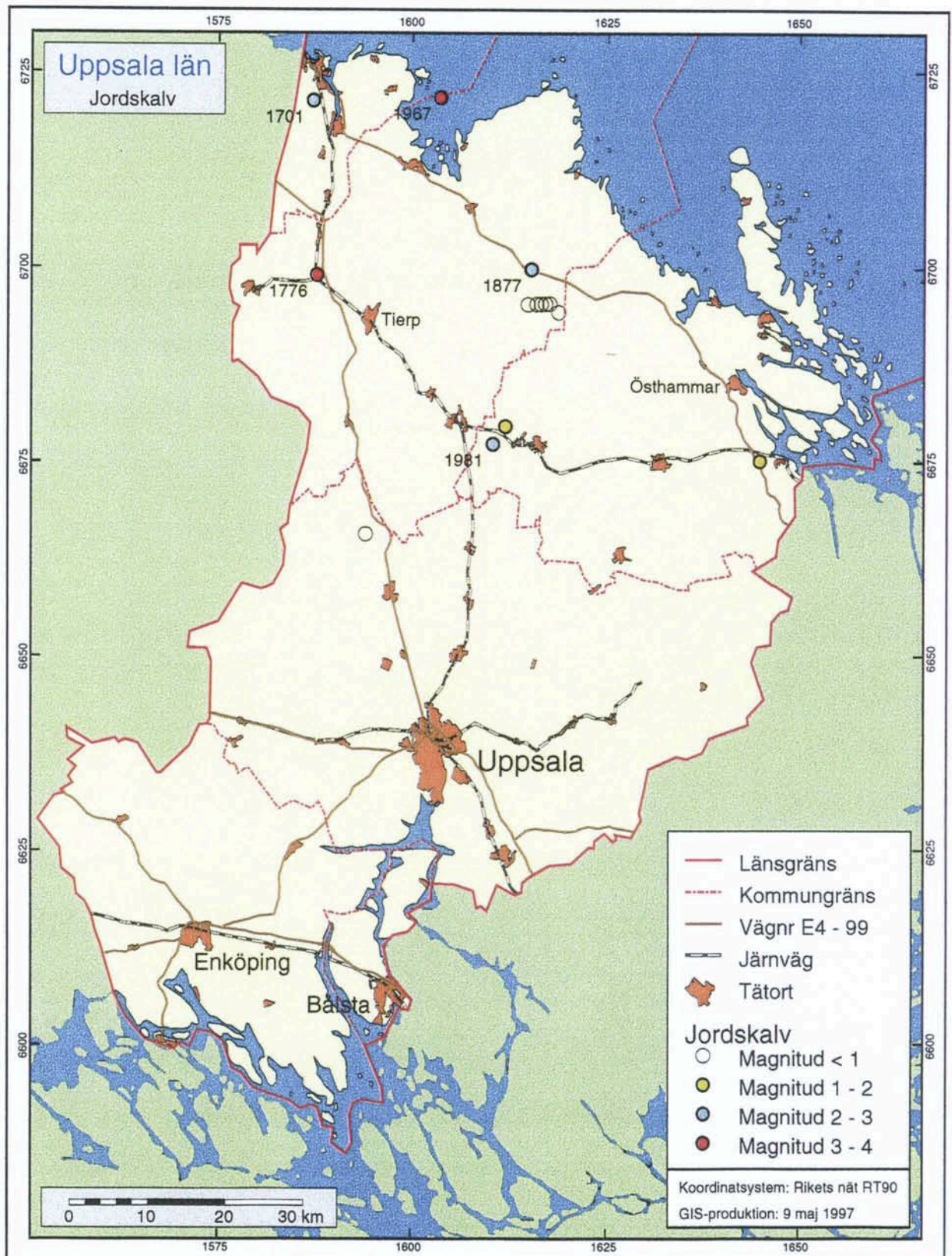
En sammanställning av jordskalv i Nordeuropa för tiden fram till 1993 visar att länet ligger öster om det bälte inom vilket många jordskalv uppträder, se Figur 5. Bältet sträcker sig från sydvästra Sverige mot nordost till södra norrlandskusten och vidare norrut längs kusten. Enligt uppgifter från samma databas har jordskalv förekommit endast i länets norra del, se Figur 17. De två äldsta registrerade skalven är från trakten av Skutskär och hade magnitud 2,4 respektive 2,7. Ca 10 km nordväst om Tierp registrerades 1776 ett skalv med magnitud 3,6, det kraftigaste skalvet i länet. År 1877 finns notering om ett skalv med magnitud 2,7 från trakten av Lövestabruk, och 90 år senare rapporteras ett skalv med magnitud 3,0 i Lövestabukten. Under 1981, 1982 och 1984 finns noteringar om sammanlagt 42 skalv med magnitud 0-2,5 från trakten av Dannemora. Dessa registreringar kan sannolikt sättas i samband med sättningar och ras i Dannemora gruva. År 1982 registrerades ett skalv med magnitud 1,3 från trakten av Harg, och från 1985 finns 6 registreringar med magnitud 0 från området kring Finnsjön. De sistnämnda kan möjligen sättas i samband med sprängningsarbeten. Från 1986 finns en notering med magnitud 0 från trakten av Läby, ca 25 km NNV om Uppsala, och från 1991 finns en registrering med magnitud 0 från trakten av Dannemora.

8 Hydrogeologi

I grundvattenkartan med beskrivning över Uppsala län /8/ redovisas bl.a. grundvattentillgångar, grundvattnets kvalitet, hydrologi, vattenförsörjning och insamlade grundvattenutredningar. I föreliggande sammanställning av de hydrogeologiska förhållandena i länet har detta material kompletterats med analyser av Lantmäteriverkets höjddata, SMHIs avrinningsdata och SGUs brunnsarkivsdata. Syftet har varit att beskriva grundvattnets strömningsmönster och berggrundens hydrauliska konduktivitet (genomsläpplighet). För att beskriva grundvattnets kemiska status i Uppsala län jämfört med övriga landet har även grundvattenkemiska data från SGUs brunnsarkiv bearbetats.

Grundvattnets bildning och strömning

Grundvattnet ingår i det hydrologiska kretsloppet /6, 68/. Av den nederbörd som faller i länet avdunstar ungefär två tredjedelar /8/. Återstoden tillförs grundvattnet, med undantag för en mindre del som rinner av från markytan till sjöar och vattendrag. När de övre marklagren har nått en viss vattenmättnad, sjunker överskottet vidare ned i marken och bildar grundvatten. Genom tyngdkraftens inverkan rör sig sedan grundvattnet från högre terrängavsnitt mot lägre. Vilka vägar det tar och hur fort strömningen sker, beror på grundvattenytans lutning samt jordlagrens och berggrundens genomsläpplighet. Områden där grundvattnets strömning är



Figur 17. Registrerade jordskalv i Uppsala län fram till 1993. Årtal då skalvet inträffade finns angivet på kartan. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet

uppåtriktad benämns utströmningsområden. I de fall trycknivån ligger högre än marknivån kan källor och våtmarker bildas. Grundvatten strömmar också ut i bottnen av sjöar och vattendrag.

Grundvattenbildningens storlek bestäms av markens infiltrationskapacitet och den effektiva nederbördens storlek (skillnaden mellan nederbörd och avdunstning). Den effektiva nederbördens storlek i Uppsala län framgår av Figur 18. Den har beräknats utifrån en vidareutveckling av den metod som används för beräkning av avrinning /69/. Endast en mindre del av det vatten som infiltreras i marken tillförs berggrunden beroende på dess, i förhållande till jordlagrens, mycket låga genomsläpplighet och obetydliga magasinierande förmåga.

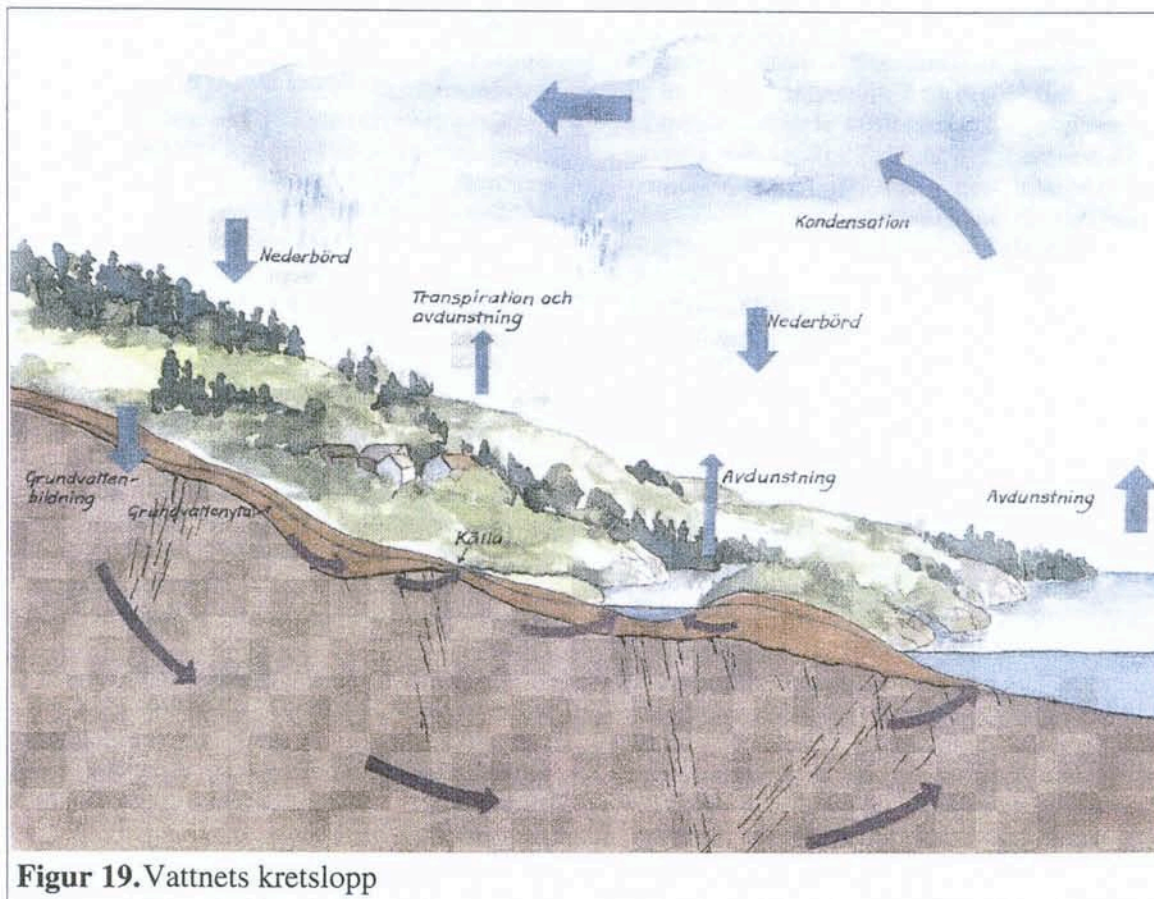
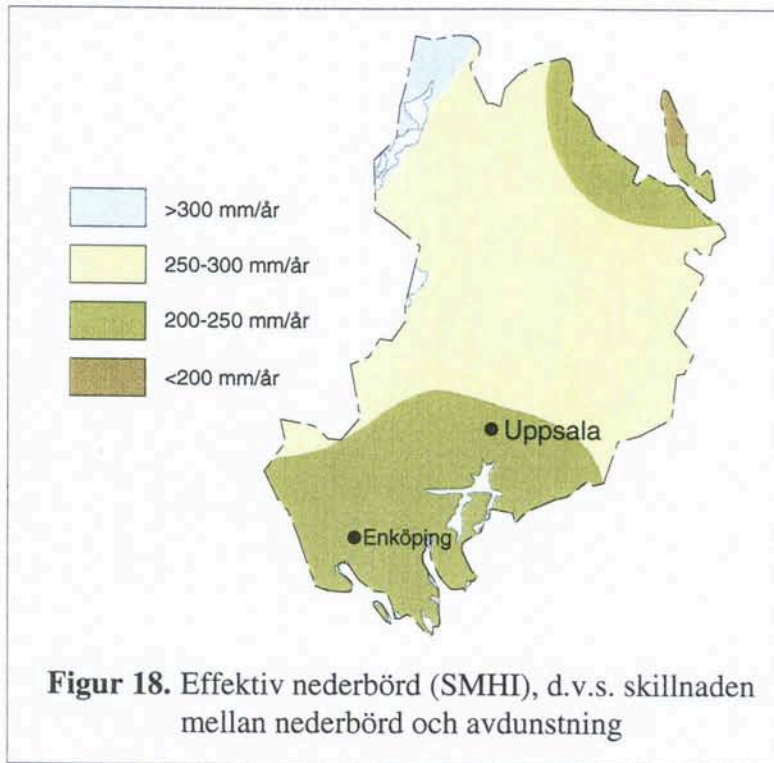
Den ytliga grundvattenströmningen i jordlagren och berggrundens övre delar styrs till största delen av de lokala topografiska förhållandena, se Figur 19 /68/. Uppehållstiden för grundvattenet är kort, innan utströmning sker till lågpunkter i terrängen som våtmarker, källor och recipienter. Den djupare grundvattenströmningen i berggrunden styrs däremot mer av de regionala, storskaliga topografiska förhållandena. Regionalt sett sker huvuddelen av grundvattenbildningen i höjdområden och utströmningen av grundvatten till större sjöar och vattendrag i lågområden, alternativt till havet. Ett djupförvar på 500 m djup berörs i huvudsak av dessa regionala, långsamma grundvattenrörelser.

Grundvattnets strömningsmönster styrs också av skillnader i berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet). Enskilda sprickor och sprickzoner med en betydligt större genomsläpplighet än omgivande bergmassa utgör de huvudsakliga transportvägarna för grundvattnet i berggrunden. Förekomsten av regionalt viktiga sprickzoner har tidigare redovisats under avsnittet deformationszoner.

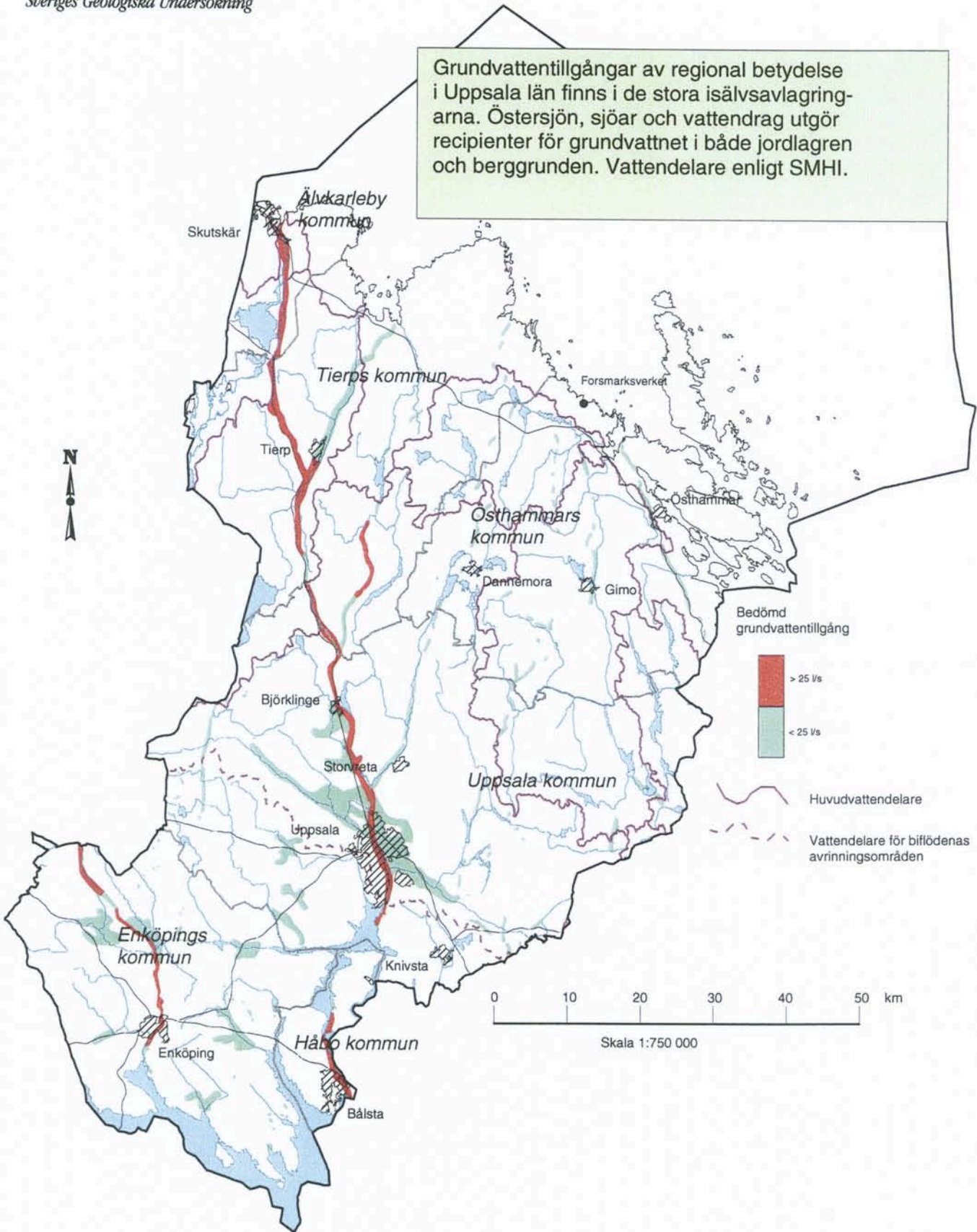
Höjdskillnaderna i Uppsala län är små, högsta marknivå 110 m ö.h., men vissa regionala skillnader kan med utgångspunkt från de topografiska förhållandena, se Figur 12, ändå tydligt påvisas i länet. Höjdområdena väster om Uppsala samt delar av länets centrala delar kan betraktas som inströmningsområden av regional karaktär. Det är i första hand i dessa delar av länet som grundvattnets djupa, långa strömbanor kan utbildas. Grundvattnets strömning i det regionala perspektivet sker sedan mot de stora, låglänta delarna där de långväga strömbanorna i stället blir uppåtriktade. Utströmningen av grundvatten sker i första hand till större vattendrag och sjöar samt till Östersjön.

En faktor som påverkar grundvattnets utströmning i det långsiktiga perspektivet är den landhöjning som pågått sedan den senaste nedisningen. Landets höjning medför att landytan ökar och att kustlinjen förskjuts utåt, s.k. strandförskjutning. För tusen år sedan t.ex. var kustlinjen, och därmed basnivån för grundvattnets utströmning, belägen ca 6 m högre i landskapet än idag /70/.

Länets sjöar, vattendrag och avrinningsområden med tillhörande vattendelare framgår av Figur 20 /69/. Avrinningsområdena delas in i huvudavrinningsområden och biflödenas avrinningsområden. Huvudavrinningsområden har sina utloppspunkter i havet och är större än 200 km². Biflödenas avrinningsområden är större än 1000 km² och har sina utloppspunkter i ett större vattendrag. Av Figur 20 framgår att i större delen av Uppsala län sker ytvattnets avrinning via Fyrisåns biflöde och Mälarens avrinningsområde i söder. Avrinningen till Östersjön sker i huvudsak via Tämnråns, Forsmarksåns och Olandsåns huvudavrinningsområden i länets norra och nordöstra del. Grundvattnets lokala och regionala strömning följer i huvudsak ytvattnets avrinningsvägar. Det kan dock inte uteslutas att grundvatten som bildas i höjdområ-



Grundvattentillgångar av regional betydelse i Uppsala län finns i de stora isälvsavlagringarna. Östersjön, sjöar och vattendrag utgör recipienter för grundvattnet i både jordlagren och berggrunden. Vattendelare enligt SMHI.



Figur 20. Grundvattentillgångar och vattendelare i Uppsala län

den utanför länet, utbildar djupa, långa strömbanor som avviker från det regionala avrinningsmönstret, d.v.s. som skär huvudvattendelarna.

Grundvattentillgångar

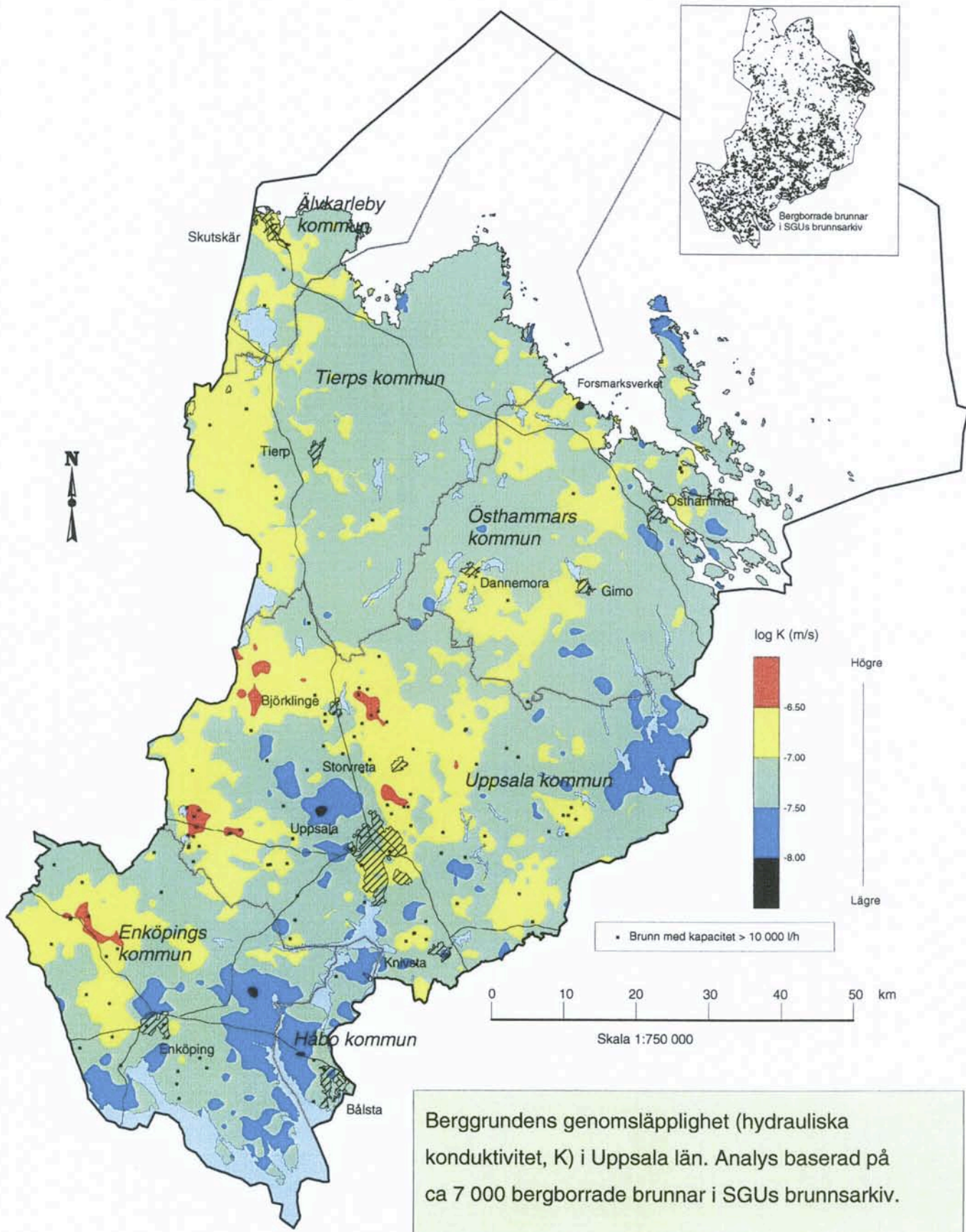
Grundvattentillgångar av regional betydelse i Uppsala län återfinns i de stora stråken med isälvsavlagringar, t.ex. Uppsalaåsen och Enköpingsåsen /8/. Genom att stora grundvattensmängder kan lagras och transporteras i isälvsavlagringarna, har dessa fått stor betydelse för den kommunala vattenförsörjningen i länet. I Figur 20 redovisas bedömda grundvattentillgångar i åsarna enligt SGUs grundvattenkarta över Uppsala län /8/. De avsnitt som bedöms ha uttagsmöjligheter överstigande 25 l/s utgör i allmänhet viktiga regionala tillgångar men även andra åsavsnitt utgör viktiga tillgångar lokalt. Även berggrundsvatten nyttjas i den kommunala vattenförsörjningen men några stora tillgångar av regional betydelse bedöms inte förekomma. Däremot utgör berggrundsvattnet en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

Berggrundens genomsläplighet

Berggrundens genomsläplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Uppsala län har beräknats /71/ med hjälp av uppgifter om brunnsdjup, avsänkning och uttagskapacitet från ca 7000 brunnar i SGUs brunnarkiv. Den beräknade hydrauliska konduktiviteten för brunnarna varierar i allmänhet mellan 10^{-6} och 10^{-8} m/s. Medianvärde för beräknat K är $5,9 \times 10^{-8}$ m/s. Det högsta och lägsta beräknade K-värdet är $1,5 \times 10^{-4}$ respektive $1,7 \times 10^{-11}$ m/s. Vid beräkningen har brunnar med mindre djup än 20 m i den kristallina berggrunden samt brunnar med större djup än 140 m uteslutits. Vidare har samtliga energibrunnar uteslutits eftersom de vanligtvis är mycket djupa. Koncentrationen av energibrunnar till tätorter skulle därmed ge skenbart lägre genomsläplighet i dessa områden. Beräknade värden bedöms vara representativa för berggrundens genomsläplighet ned till ca 100 m djup.

Berggrundens hydrauliska konduktivitet har, baserat på en geostatistisk analys, interpolerats över länet, se Figur 21. Resultatet visar de regionala skillnaderna i genomsläplighet. Lägst värden erhålls i länets södra och östra delar. Lokalt kan dock variationerna vara stora, främst beroende på om vattenförande sprickzoner påträffats vid brunnborrningen. Av figuren framgår därför även läget för samtliga registrerade brunnar i länet med en bedömd uttagskapacitet överstigande 10 000 l/tim (221 st).

Erfarenheter från borrhålsundersökningar visar att genomsläpligheten i den kristallina berggrunden avtar med djupet /72/. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet mellan nivån 100 m och 500 m under markytan kan uppgå till flera tiopotenser, vilket har stor betydelse för grundvattnets uppehållstid och strömningsvägar. Dessutom kan förhöjda salthalter i grundvattnet förväntas inom hela länet på de djup som är aktuella för ett förvar. Den densitetsskillnad som föreligger mellan det söta, ytliga vattnet och det djupare, salta medför att grundvattenomsättningen ytterligare reduceras. Även på stora djup kan dock grundvattnets strömning påverkas av enskilda vattenförande sprickor och sprickzoner med en betydligt större genomsläplighet än omgivande berggrund.



Berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Uppsala län. Analys baserad på ca 7 000 bergborrade brunnar i SGUs brunnarsarkiv.

Figur 21. Berggrundens genomsläpplighet i Uppsala län (sammanställning mars 1997)

Grundvattnets kemi

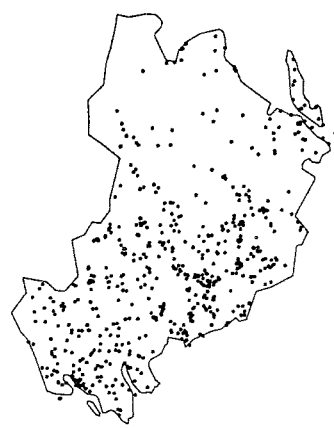
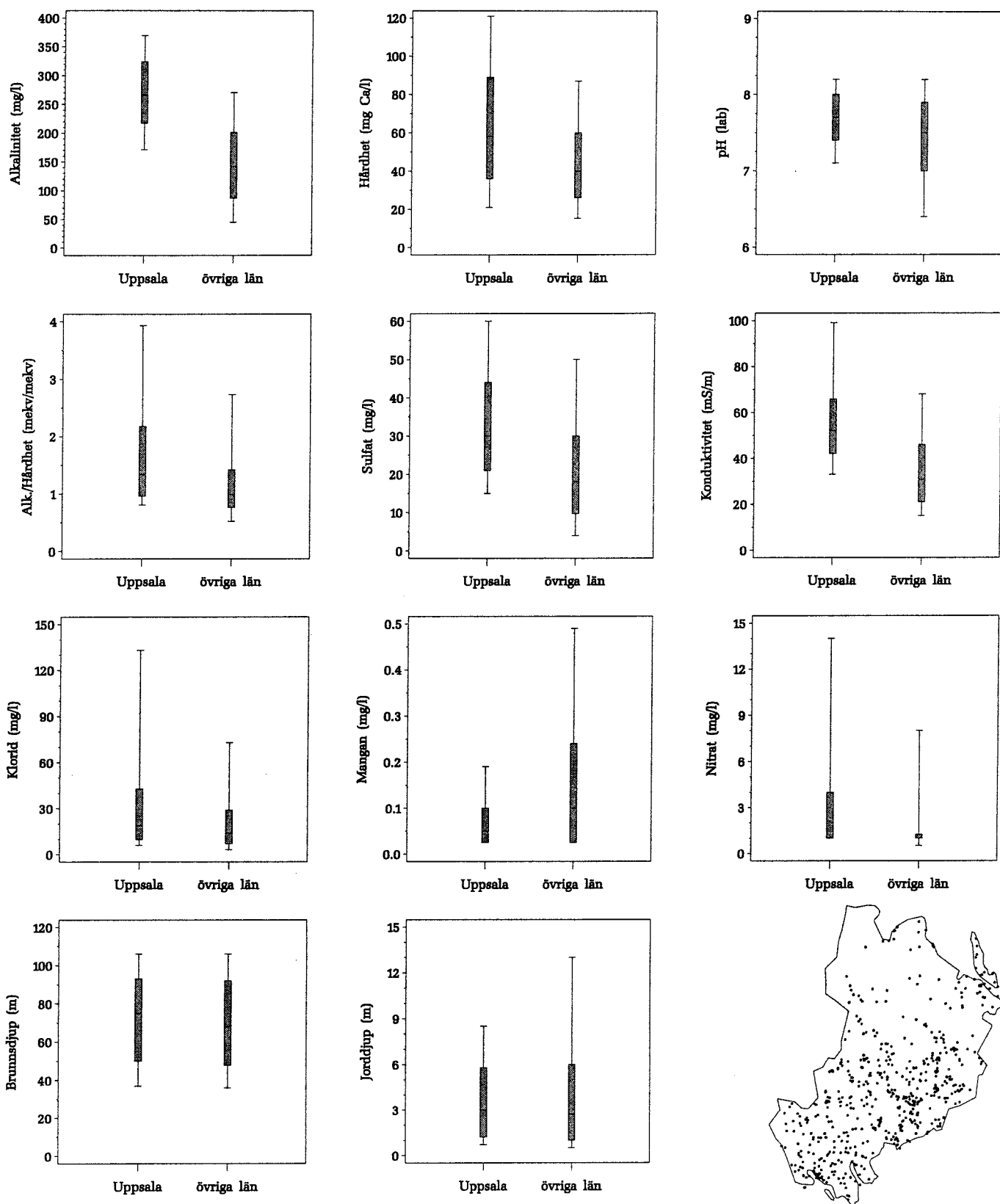
Beskrivningen av grundvattnets kemiska status baseras på en jämförelse mellan 645 bergborrhade brunnar i Uppsala län och 11 440 brunnar från övriga delar av landet /7/, se Figur 22. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. Den grafiska presentationen utgörs av så kallade "box-plottar" där den undre och övre kanten på varje "box" visar undre respektive övre kvartilen. Den horisontella markeringen inom varje "box" visar medianvärdet. Den understa och översta markeringen visar 10- respektive 90-percentilen.

Vittringsberoende variabler som alkalinitet, totalhårdhet (Ca + Mg), pH och konduktivitet uppvisar avsevärt högre värden i Uppsala län än i övriga landet. Huvudorsaken till detta är att höga kalkhalter i jordlagren påverkar det ytliga grundvattnet. Vidare är kvoten mellan alkalinitet och totalhårdhet relativt hög i Uppsala län vilket innebär att antropogen påverkan av starka syror från nederbörden är relativt låg i länet. Under "naturliga" förhållanden är kvoten nära 1, d.v.s. alkaliniteten och totalhårdheten är ungefär lika.

Förhållandevis höga nitrathalter kan förklaras av att stora områden utgörs av jordbruksmark. Den stora andelen jordbruks- och öppen mark i Uppsala län kan också förklara de jämförelsevis låga manganhalterna. Områden med skogs- och sankmark visar i allmänhet högre manganhalter.

Kloridhalterna är något högre i Uppsala län än för genomsnittet av andra jämförbara län (se även Figur 7 i inledningen). Höga kloridhalter är typiska för låglänta områden under högsta kustlinjen (HK, se röd linje på Figur 7), där relik saltvatten är vanligt förekommande. Förhöjda kloridhalter vid uttag av grundvatten i kustnära områden kan också orsakas av inträngning av salt vatten från Östersjön. De högsta kloridhalter som uppmätts i bergborrhade brunnar i länet uppgår till 2600 mg/l att jämföra med Östersjön och världshaven som har halter omkring 4000 respektive 20000 mg/l. Sannolikt styrs förekomsten av relik saltvatten under HK till stor del av de topografiska betingelserna. I flacka och låglänta områden är grundvattnets omsättning generellt sett långsammare än i kuperad terräng med omväxlande höjd och låg-områden, vilket påverkar takten av "ursköljning" av det salta vattnet med sött grundvatten.

Grundvattnet i länet bedöms i allmänhet ej vara aggressivt med hänsyn till höga pH-värden, hög totalhårdhet samt en hög alkalinitet i förhållande till sulfathalten. Jorddjup och brunnsdjup avviker inte nämnvärt från övriga delar av landet.



Antal analyser i Uppsala län och övriga delen av landet:

| | HCO ₃ | Hårdhet | pH | HCO ₃ /Hårdhet | SO ₄ | Konduktivitet | Cl | Mn | NO ₃ | Jorddjup | Brunnsdjup |
|------------|------------------|---------|-------|---------------------------|-----------------|---------------|-------|------|-----------------|----------|------------|
| Uppsala | 645 | 643 | 640 | 643 | 276 | 511 | 645 | 645 | 644 | 633 | 645 |
| Övriga län | 11102 | 10425 | 11430 | 10406 | 6914 | 8755 | 10155 | 8773 | 8111 | 7761 | 11440 |

Figur 22. Grundvattnets kemi samt brunnsdjup och jorddjup för bergborrade brunnar i Uppsala län jämfört med övriga delar av landet. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. 10-percentil, 1:a kvartil, median, 3:e kvartil och 90-percentil redovisas i form av "box-plottar". Uppgifter från brunnsarkivets kemiarkiv som visas i insättskartan.

9 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar

Sammanfattande slutsatser

Berggrunden utgörs i den centrala och södra delen av länet huvudsakligen av äldre (ca 1900-1850 miljoner år) granitoider och metasedimentära bergarter. Dessa bergarter är generellt sett gynnsamma från säkerhets- och byggnadsteknisk synpunkt. I norra delen av länet är berggrunden mer varierande med viktiga inslag av yngre graniter samt, främst i Östhammars kommun, metavulkaniska bergarter. Större massiv av yngre granit kan utgöra en lämplig värdbergart för ett djupförvar medan metavulkaniska bergarter är generellt sett olämpliga.

Information om *berggrundens homogenitet* föreligger endast från begränsade delar av länet, nämligen Östhammars, Enköpings, Håbo och del av Uppsala kommuner. Berggrunden är i dessa delar sällan helt homogen över större områden. Inhomogeniteter förekommer i form av t.ex. gångar, inneslutningar och sprickor. Dock förekommer områden i djupförvarsskala (ytor i storleksordningen 1-2 km²) som är i stort sett homogena. De metasedimentära bergarterna i södra delen av länet är däremot genomgående mer inhomogena med betydande inslag av bl.a. pegmatit.

Beträffande *mineral- och bergartsresurser* inom Uppsala län är dessa främst koncentrerade till Östhammars kommun, den södra delen av kommunen undantagen. Vidare finns vissa förekomster i östra delen av Tierps kommun samt i någon mån i nordligaste delen av Uppsala kommun. I övriga delar av länet förekommer kända eller potentiella mineral- och bergartsresurser sparsamt.

I länets norra del återfinns ett ca 25 km brett nätverk av *plastiska skjuvzoner*. Sammantaget utgör detta nätverk den s.k. Singö-skjuvzonen som är en av de mest framträdande deformationszonerna i Sverige. Zonen stryker i riktning VNV genom de norra delarna av Östhammars och Tierps kommuner. Utöver Singözonen har flera andra plastiska skjuvzoner identifierats. *Sprickzoner* uppträder i södra delen av länet i ett enkelt sprickzonsmönster med i huvudsak tre riktningar. Längre norrut är mönstret mer komplicerat och sprickzonerna uppträder i ett nätverk med många olika sprickriktningar. Generellt sett förefaller länets ostligaste delar mera uppsprucket än längre västerut. I flera fall har reaktivering skett och de något yngre sprickzonerna följer då äldre plastiska skjuvzoner.

Bland *jordarterna* har morän stor utbredning framför allt i länets norra och centrala delar. I söder förekommer lera i stor omfattning. Inom stora områden, främst längs kusten, är *jordmäktigheten* obetydlig eller liten. Måttliga till stora jordmäktigheter, lokalt över 20 m, förekommer främst i ett område norr om Enköping och i en zon från Uppsala till Skutskär i Älvkarleby kommun.

Hela länet ligger öster om ett bälte där *jordskalv* förekommer mer frekvent. Bortsett från ett mindre antal jordskalv har inga observationer gjorts i samband med SGUs geologiska kartläggning, som indikerar att några andra *sen- och postglaciala rörelser* skett. *Landhöjningen*, eller egentligen strandförskjutningen som betecknar samspelet mellan landets och havsytans rörelser, uppgår idag i länets södra del till 0,4 m per 100 år och i norra delen till 0,6 m per 100 år.

Ur *hydrogeologisk synvinkel* kan konstateras att studien av berggrundens genomsläpplighet i Uppsala län visar på normala förhållanden, d.v.s. stora lokala variationer och mindre regionala

skillnader. Utströmning av grundvatten sker till recipienter i lägre belägna områden samt till Mälaren och Östersjön. Grundvattentillgångar av regional betydelse i länet återfinns i stråken med isälvsavlagringar. Grundvattnets kemiska sammansättning är också normal jämfört med övriga urbergsområden i Sverige. En tydlig påverkan av jordlagrens förhöjda kalkhalt samt förhöjda salthalter, särskilt i de kustnära områdena, har dock konstaterats.

Områden lämpliga för vidare undersökning

Ett område med potentiellt gynnsamma geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar av använt kärnbränsle karaktäriseras av:

- En homogen berggrund.
- En berggrund som inte utgör en potentiell mineral- eller bergartsresurs.
- Avsaknad av större deformationszoner (plastiska skjuvzoner, sprickzoner och förkastningar).
- Inga indikationer på sen- och postglaciala förkastningsrörelser.

Vidare är det en fördel om jordmäktigheten är måttlig. Vattengenomsläppligheten bör vara låg vilket vanligen är fallet om berggrunden är homogen och sprickfrekvensen låg. Utströmning av vatten från förvaret bör ske till en stor recipient, helst havet. Isälvsavlagringar bör behandlas med försiktighet på grund av deras betydelse som grundvattentillgångar. Försiktighet bör även iakttas vid en lokalisering av ett djupförvar till ett seismiskt mer aktivt område.

Områden som uppfyller dessa villkor återfinns inom stora domäner mellan de plastiska skjuvzonerna samt relativt opåverkade tektoniska linser inom de större skjuvzonerna. Dessa domäner och linser genomkorsas dock av uthålliga sprickzoner som också måste undvikas. Detta innebär att de mest gynnsamma områdena utgörs av berggrundsblock mellan uthålliga sprickzoner inom regioner som inte är påverkade av plastisk skjuvdeformation och som uppfyller de andra villkoren noterade ovan.

Uppsala län har, ur geologisk synvinkel, indelats i områden som bedöms lämpliga, sannolikt lämpliga, sannolikt olämpliga respektive olämpliga för vidare studier med syfte att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle, se Figur 23. I områden där bedömningen sannolikt olämpligt och sannolikt lämpligt har gjorts saknas såväl modern berggrundsgeologisk information i skala 1:50 000 som flyggeofysisk information. Bedömningen i dessa områden baseras huvudsakligen på äldre geologiskt material och är mer osäker. Områden som bedömts som olämpliga eller sannolikt olämpliga har utökats med en ca 1 km bred randzon för att undvika att olämpliga områden på grund av osäker gränsdragning klassificeras som lämpliga.

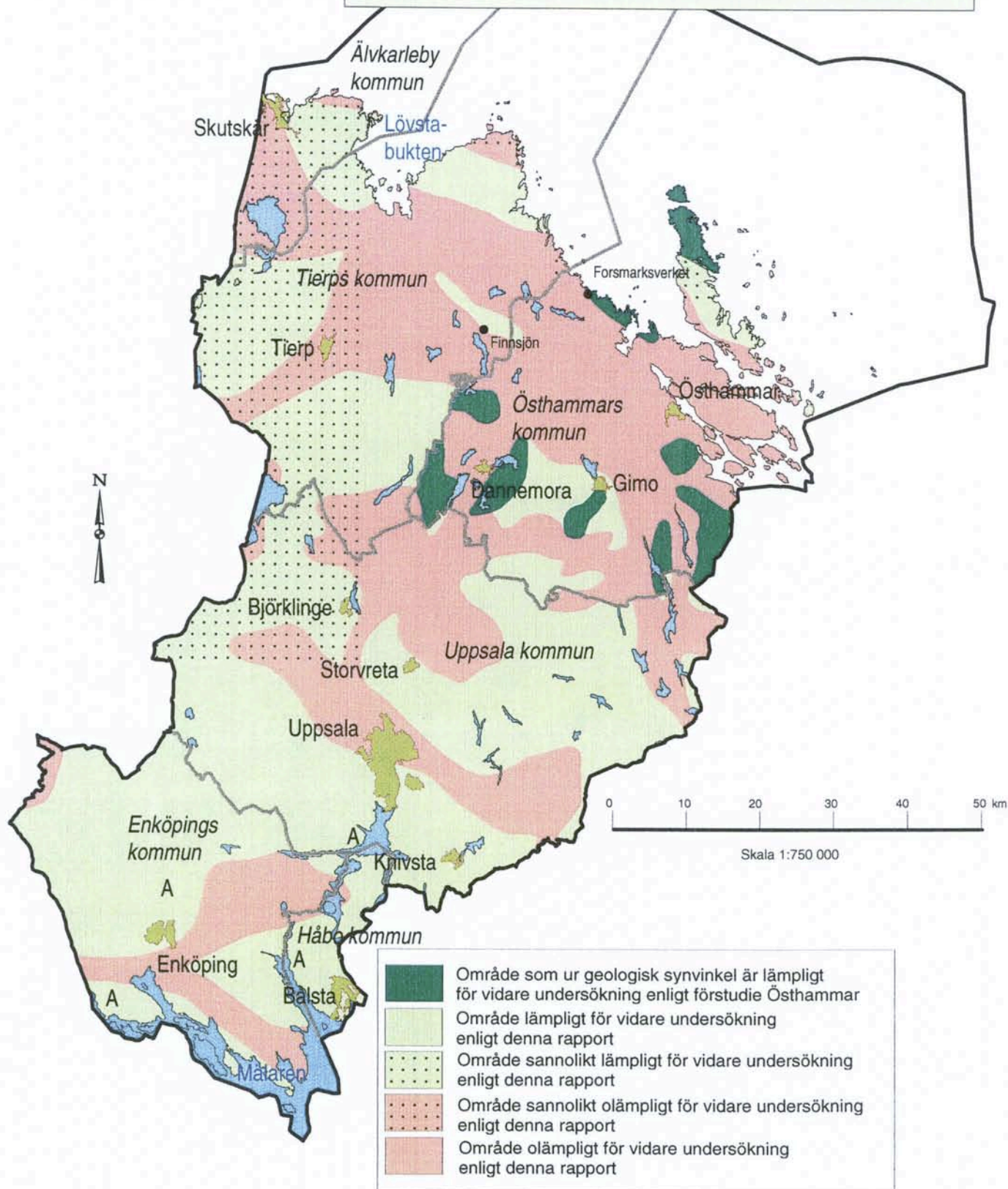
Bedömningen baseras på länets förutsättningar med avseende på berggrundens sammansättning, framtida prospekteringsintresse och tolkade deformationszoner. Detaljerade undersökningar, exempelvis förstudier av enskilda kommuner och platsundersökningar, krävs dock för att identifiera var berggrundsblock finns som uppfyller ovannämnda förutsättningar och andra krav som ställs på ett djupförvar. Generellt kan konstateras att frekvensen av jordskalv är låg i länet och några tecken på andra sen- och postglaciala rörelser har inte observerats vid SGUs geologiska kartläggning. Jordtäcket sammansättning och mäktighet samt de hydrogeologiska förhållandena är generellt sett gynnsamma i hela länet och har inte legat till grund för att gradera områden med olika geologiska förutsättningar. Någon rangordning mellan intressanta områden är inte möjlig på befintligt material.

Klassificering ur geologisk synvinkel av berggrundens lämplighet för vidare undersökning för att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle.

Bedömningen i dessa områden baseras huvudsakligen på äldre geologiskt material och är mer osäker.

I områden där bedömningen "sannolikt olämpligt" och "sannolikt lämpligt" har gjorts saknas såväl modern berggrundsgelogisk information i skala 1:50 000 som flyggeofysisk information.

Områden som ur geologisk synvinkel är intressanta för vidare undersökning enligt förstudien Östhammar har tagits från SKBs preliminära slutrapport för kommunen /73/.



Figur 23. Översiktlig bedömning ur geologisk synvinkel av berggrundens lämplighet för vidare undersökning i Uppsala län. Område A refereras i texten

I samband med förstudien i Östhammars kommun /73/ gjordes en bedömning ur geologisk synvinkel av områden inom kommunen som ansågs lämpliga för vidare undersökning, se Figur 24. Dessa områden finns även redovisade i Figur 23.

De områden i Uppsala län som ur geologisk synvinkel har bedömts vara **olämpliga** eller **sannolikt olämpliga** för vidare undersökning är följande, se Figur 23:

- Flera större områden med metavulkaniska bergarter i Tierps, Älvkarleby, Östhammar samt norra delen av Uppsala kommun vilka är eller kan bli föremål för mineralprospektering. Områdena genomkorsas också av flera plastiska skjuvzoner, däribland Singö-skjuvzonen i norra delen av länet.
- Ett område i norra delen av Uppsala kommun och södra delen av Östhammars kommun som innehåller metavulkaniska bergarter och som kan bli föremål för mineralprospektering.
- Två små områden, ett i västra delen av Enköpings kommun och ett nordväst om Björklinge i Uppsala kommun, som är eller kan bli av intresse för mineralprospektering.
- Plastiska skjuvzoner, ibland med metavulkaniska bergarter, i relativt smala zoner som stryker i VNV-lig riktning genom Uppsala och omedelbart norr om Mälaren samt i NO-lig riktning öster om Enköping.

Resultatet av sammanställningen visar att det finns flera större områden som är **lämpliga** eller **sannolikt lämpliga** för vidare undersökningar, se Figur 23. Regionalt betydande plastiska skjuvzoner har inte påvisats i dessa områden och bergarterna är inte intressanta ur prospekteringssynpunkt. Som tidigare påpekats är det berggrundsblocken mellan de uthålliga sprickzonerna och stråken av isälvsavlagringar som kan bli aktuella för lokalisering av ett djupförvar.

De intressanta områdena i den centrala delen av länet domineras av äldre granitoider, i den södra delen av samma äldre granitoider och metasedimentära bergarter (s.k. ådergnejser) samt slutligen i den norra länsdelen av yngre graniter och äldre granitoider.

Om mer detaljerade undersökningar skulle bli aktuella i de gynnsamma områdena i Uppsala län bör några faktorer särskilt beaktas:

- Inhomogen berggrund i den södra delen av länet (A i Figur 23). En detaljerad undersökning av berggrundens homogenitet liknande den som har redan gjorts i Östhammars kommun bör utföras i resten av länet.
- Tendens till högre frekvens av sprickzoner, och till följd av detta mindre mellanliggande berggrundsblock, i länets ostligaste delar.

Förekomst och utsträckning av områden som är av intresse för vidare undersökning har definierats utifrån ett översiktligt och delvis ofullständigt underlag. Som redan påpekats krävs stegvis mer detaljerade undersökningar för att med säkerhet avgöra om ett område är geologiskt lämpligt för ett djupförvar. Det kan förväntas att potentiellt gynnsamma områden som framkommer i en mer detaljerad studie är mindre och mera väldefinierade än de större, mera generaliserade områden som länsöversikten ger (se också nedan). Mer detaljerade undersökningar kan i vissa fall komma att påvisa ogynnsamma förhållanden i områden som har bedömts som lämpliga i denna studie. På samma sätt kan detaljerade undersökningar identifiera gynnsamma förhållanden i delar av länet som inte bedöms som lämpliga i länsundersökningen. Resultatet av den utförda länsstudien visar endast inom vilka områden det i första hand bedöms meningsfullt att påbörja mer detaljerade undersökningar.

Förstudie Östhammar - en kommentar

I länsöversikten framstår Östhammars kommun som en del av länet med mer komplicerade geologiska förhållanden. Förstudien Östhammar /73/ visar emellertid att områden med potentiellt gynnsamma förhållanden finns inom kommunen, se Figurer 23 och 24. Resultaten från Östhammars kommun ger en antydning om hur resultaten från en förstudie av andra delar av länet skulle kunna gestalta sig.

De potentiellt gynnsamma områdena inom Östhammars kommun där, inom ramen för förstudien, en mer detaljerad tolkning gjorts är mindre och mera väldefinierade jämfört med de större, mera generaliserade områden som identifierats i länsöversikten. Skillnaden beror i huvudsak på att i förstudien togs stor hänsyn till uppgifter om berggrundens homogenitet. När de bägge undersökningarna jämförs är det viktigt att ha i minnet att ett djupförvars dimensioner, och därmed den bergvolym som erfordras, är mycket små även i relation till de något mindre områden som definierats vid förstudien.

Vidare kan konstateras att två möjliga plastiska skjuvzoner som inte markerades i förstudien framtolkats i länsöversikten. Zonerna, en mindre zon väster om Österbybruk i det sydvästra hörnet av kommunen och en zon som skär ön Örskär norr om Gräsö, ligger bägge i utkanten av det område som förstudien omfattade. Att dessa möjliga zoner framkommit vid länsstudien beror på att ett större område än Östhammars kommun med omnejd studerats.

Jämförelsen av resultaten från länsöversikten och förstudien av Östhammars kommun illustrerar betydelsen av i vilken skala undersökningarna görs. Både regionala och olika detaljerade undersökningar behövs.

10 Referenser

- 1 **Ahlbom, K., Andersson, J.-E., Andersson, P., Ittner, T., Ljunggren, C. & Tirén, S., 1992:** Finnsjön study site. Scope of activities and main results. SKB TR 92-33, 1-145.
- 2 **Carlsson, A. & Christiansson, R., 1987:** Geology and tectonics at Forsmark, Sweden. SKB SFR 87-04, 1-91.
- 3 **La Pointe, P., Wallman, P., Thomas, A. & Follin, S., 1997:** A methodology to estimate earthquake effects on fractures intersecting canister holes. SKB TR 97-07, 1-61.
- 4 **Stephens, M.B., Wahlgren, C.-H. & Weihed, P., 1994:** Karta över Sveriges berggrund, skala 1:3 000 000. Sveriges geologiska undersökning, Ba 51.
- 5 **Jonasson, C., 1996:** Landet. I: S. Helmfrid (red.), *Sveriges Geografi*. — Sveriges Nationalatlas, 16-41.
- 6 **Aastrup, M., Engqvist, P., Müllern, C.-F. & Söderholm, H., 1994:** Grundvattnet. I: C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 154-171.
- 7 **Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. & Berntell, A., 1995:** Grundvattnets kemi i Sverige. Naturvårdsverket, rapport 4415, 1-52.
- 8 **Söderholm, H., Müllern, C.-F. & Engqvist, P., 1983:** Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Uppsala län. Sveriges geologiska undersökning, Ah 5, 1-84.
- 9 **Persson, L. & Stålhös, G., 1991:** Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan Uppsala. Sveriges geologiska undersökning, Ba 47, 1-30.
- 10 **Blomberg, A., 1886:** Beskrifning till kartbladet Öregrund. Sveriges geologiska undersökning, Aa 101, 1-38.
- 11 **Blomberg, A., 1889:** Beskrifning till kartbladet Alunda. Sveriges geologiska undersökning, Aa 104, 1-40.
- 12 **Erdmann, E., 1865:** Några ord till upplysning om bladet "Lindsbro". Sveriges geologiska undersökning, Aa 14, 1-67.
- 13 **Erdmann, E., 1895:** Beskrifning till kartbladet Grisslehamn. Sveriges geologiska undersökning, Aa 111, 1-54.
- 14 **Gumaelius, O. & Paykull, C.W., 1865:** Några ord till upplysning om bladet "Sigtuna". Sveriges geologiska undersökning, Aa 16, 1-56.

- 15 **Holst, N.O., 1887:** Beskrifning till kartbladet Svartklubben. Sveriges geologiska undersökning, Aa 97, 1-41.
- 16 **Hummel, D., 1865:** Några ord till upplysning om bladet "Skattmansö". Sveriges geologiska undersökning, Aa 15, 1-60.
- 17 **Kugelberg, O.F., 1863:** Några ord till upplysning om bladet "Enköping". Sveriges geologiska undersökning, Aa 7, 1-40.
- 18 **Lundegårdh, P.H. & Lundqvist, G., 1956:** Beskrivning till kartbladet Uppsala. Sveriges geologiska undersökning, Aa 199, 1-117.
- 19 **Pettersson, A.L., 1871:** Några ord till upplysning om bladet "Saltsta". Sveriges geologiska undersökning, Aa 43, 1-54.
- 20 **Sandegren, R. & Asklund, B., 1948:** Beskrivning till kartbladet Söderfors. Sveriges geologiska undersökning, Aa 190, 1-91.
- 21 **Sandegren, R., Asklund, B. & Westergård, A.H., 1939:** Beskrivning till kartbladet Gävle. Sveriges geologiska undersökning, Aa 178, 1-143.
- 22 **Sandegren, R. & Lundegårdh, P.H., 1949:** Beskrivning till kartbladet Untra. Sveriges geologiska undersökning, Aa 191, 1-106.
- 23 **Sidenbladh, E., 1868:** Några ord till upplysning om bladet "Rånäs". Sveriges geologiska undersökning, Aa 27, 1-61.
- 24 **Stolpe, M., 1869:** Några ord till upplysning om bladet "Upsala". Sveriges geologiska undersökning, Aa 31, 1-70.
- 25 **Stolpe, M., 1869:** Några ord till upplysning om bladet "Örbyhus". Sveriges geologiska undersökning, Aa 32, 1-26.
- 26 **Stålhös, G., 1972:** Beskrivning till berggrundskartan Uppsala SV och SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 105/106, 1-165.
- 27 **Stålhös, G., 1974:** Beskrivning till berggrundskartan Enköping SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 110, 1-70.
- 28 **Stålhös, G., 1976:** Beskrivning till berggrundskartan Enköping SV. Sveriges geologiska undersökning, Af 118, 1-45.
- 29 **Stålhös, G., 1984:** Beskrivning till berggrundskartorna Strängnäs NV och NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 144/145, 1-96.
- 30 **Stålhös, G., 1991:** Beskrivning till berggrundskartorna Östhammar NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 161/166/169/172, 1-249.

- 31 **Sund, R.B., 1957:** Nyare undersökningar inom nordöstra Upplands berggrund. Sveriges geologiska undersökning, C 552, 1-32.
- 32 **Svenonius, F., 1885:** Beskrifning till kartbladet Grundkallegrundet. Sveriges geologiska undersökning, Aa 96, 1-18.
- 33 **Svenonius, F., 1887:** Beskrifning till kartbladen Forsmark och Björn. Sveriges geologiska undersökning, Aa 98/99, 1-42.
- 34 **Törnebohm, A.E., 1880:** Geologisk översiktskarta över Mellersta Sveriges Bergslag, Blad nr 3. Jernkontoret, Stockholm.
- 35 **Wahlqvist, A.H., 1868:** Några ord till upplysning om bladet "Eggegrund". Sveriges geologiska undersökning, Aa 30, 1-18.
- 36 **Wahlqvist, A.H., 1868:** Några ord till upplysning om bladet "Leufsta". Sveriges geologiska undersökning, Aa 29, 1-54.
- 37 **Bergman, S., Isaksson, H., Johansson, R., Lindén, A., Persson, C. & Stephens, M., 1996:** Förstudie Östhammar. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB PR D-96-016, 1-81.
- 38 **Lundegårdh, P.H., 1967:** Berggrunden i Gävleborgs län. Sveriges geologiska undersökning, Ba 22, 1-303.
- 39 **Gorbatshev, R., 1960:** On the alkali rocks of Almunge. A preliminary report on a new survey. Bulletin of the Geological Institute of Uppsala XXXIX, 1-69.
- 40 **Magnusson, N.H., 1973:** Malm i Sverige. 1. Mellersta och södra Sverige. . Almqvist & Wiksell, 320 s.
- 41 **Shaikh, N.A., Karis, L., Snäll, S., Sundberg, A. & Wik, N.-G., 1989:** Kalksten och dolomit i Sverige. Del 2. Mellersta Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden 55, 1-350.
- 42 **Arnbom, J.O., 1996:** Inventering av krossberg i Uppsala län. Regionala inventeringar av grus m.m. Sveriges geologiska undersökning, Rapport 1996:1, 1-43.
- 43 **Lindroos, H., 1996:** Förstudie Östhammar. Malmer och mineral inom Östhammars kommun. SKB PR D-96-012, 1-37.
- 44 **Frietsch, R. & Shaikh, N.A., 1979:** Malmer, industriella mineral och bergarter i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ba 29 (karta, 1:2 000 000).
- 45 **Talbot, C.J. & 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, 927-948.

- 46 **Ahlbom, K. & Smellie, J.A.T. (red.), 1989:** Characterization of fracture zone 2, Finnsjön study-site. SKB TR 89-19, parts 1-6.
- 47 **Ericsson, B. & Lidén, E., 1988:** Beskrivning till jordartskartan Söderfors NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 87, 1-69.
- 48 **Grånäs, K., 1990:** Beskrivning till jordartskartan Söderfors SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 104, 1-84.
- 49 **Möller, H., 1977:** Beskrivning till jordartskartan Enköping SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 20, 1-68.
- 50 **Möller, H., 1985:** Beskrivning till jordartskartan Enköping SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 28, 1-64.
- 51 **Möller, H., 1993:** Beskrivning till jordartskartan Uppsala NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 113, 1-92.
- 52 **Persson, C., 1982:** Beskrivning till jordartskartan Östhammar SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 53, 1-59.
- 53 **Persson, C., 1984:** Beskrivning till jordartskartan Östhammar NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 61, 1-63.
- 54 **Persson, C., 1985:** Beskrivning till jordartskartan Östhammar NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 73, 1-65.
- 55 **Persson, C., 1986:** Beskrivning till jordartskartorna Österlövsta SO/Grundkallen SV, Österlövsta SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 76/77, 1-72.
- 56 **Persson, C., 1988:** Beskrivning till jordartskartan Östhammar SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 90, 1-57.
- 57 **Persson, C., 1988:** Beskrivning till jordartskartan Grisslehamn NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 98, 1-52.
- 58 **Svantesson, S.-I., 1991:** Beskrivning till jordartskartan Enköping NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 110, 1-85.
- 59 **Lundqvist, J., 1994:** Inlandsisens avsmältning. *I:* C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 124-135.
- 60 **Boulton, G.S., Smith, G.D., Jones, A.S. & Newsome, J., 1985:** Glacial geology and glaciology of the last mid-latitude ice sheets. *Journal of the Geological Society of London* 142(3), 447-474.
- 61 **Stephansson, O. & Ericsson, B., 1975:** Pre-Holocene joint fillings at Forsmark, Uppland, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 97, 91-95.

- 62 **Lagerbäck, R., 1979:** Neotectonic structures in northern Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 100, 263-269.
- 63 **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.
- 64 **Mörner, N.-A., 1978:** Faulting, fracturing, and seismicity as functions of glacioisostasy in Fennoscandia. *Geology* 6(1), 41-45.
- 65 **Mörner, N.-A., 1979:** Earth movements in Sweden, 20 000 BP to 20 000 AP. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 100, 279-286.
- 66 **Mörner, N.-A., 1979:** The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence. *GeoJournal* 3.3, 287-318.
- 67 **Muir Wood, R., 1993:** A review of the seismotectonics of Sweden. SKB TR 93-13, 1-225.
- 68 **SGU, 1994:** Grundvattnet i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ah 17 (karta, 1:1 miljon).
- 69 **SMHI, 1995:** Sveriges Vattensystem. I: B. Raab & H. Vedin (red.), *Klimat, sjöar och vattendrag*. — Sveriges Nationalatlas, 116-123.
- 70 **Follin, S., Årebäck, M. & Jacks, G., 1996:** Förstudie Östhammar. Grundvattnets rörelse, kemi och långsiktiga förändringar. SKB PR D-96-017, 1-74.
- 71 **Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977:** Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock. *Nordic Hydrology* 8, 103-116.
- 72 **SKB, 1992:** SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten.
- 73 **SKB, 1997:** Förstudie Östhammar. Preliminär slutrapport, 1-203.

BILAGA A

GEOLOGISK ORDLISTA

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

Albit. Natriumrik fältspat.

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 avvikelse.

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

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

Arenit. Sedimentär bergart med dominerande kornstorlek 2-0,06 mm (sand).

Aureol. Område med speciell karaktär kring en bergartsintrusion.

Axialplan. Se veckaxelplan.

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

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

Basalt. Basisk vulkanisk bergart.

Basisk bergart. Bergart med 45-52 viktprocent 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.

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.

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

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

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

Eem. Värmeperioden före Weichsel-istiden.

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

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

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

Fanerozoikum. Geologisk tidsålder, yngre än 545 miljoner år.

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

Finmo. Jordart med kornstorleken 0.02-0.06 mm.

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 mineral Korn. Bildad under högt tryck och temperatur.

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

Gabbro. Basisk djupbergart.

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, t.ex. granit, granodiorit, tonalit.

Grus. Jordart med kornstorlek 2-20 mm.

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

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.

Illit. Glimmerliknande lermineral.

Inlandsis. Ismassa som täcker stora delar av en kontinent.

Interglacial. Tiden mellan två istider.

Intermediär bergart. Bergart med 52-65 viktprocent SiO₂.

Interstadial. Tiden mellan två kallare perioder inom samma istid.

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

Isostasi. Jämviktstillstånd i jordskorpan.

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

Isälvsavlagring. Se isälvs sediment.

Isälvs sediment. 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. Se fältspat.

Kalksten. Bergart bestående av i huvudsak kalcit.

Kame. Kulle med markanta sidor eller oregelbunden rygg, huvudsakligen uppbyggd av isälvs sediment 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 borrhälskärna erhålles (jfr diamantborrning). Det finkorniga material som bildas vid borrningen kallas borrhälskax. Kaxet kan studeras på olika sätt och ge information om berggrunden i borrhålet.

Klorit. Glimmerliknande, vanligen grönt, silikatmineral.

Koboltglans. Ett silvervitt kobolthaltigt sulfidmineral.

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 (SiO₂).

Kvartsitisk. Omvandlad kvartsrik 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).

Magnetiska konnektioner. Se formlinjer.

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

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

Magnitud. Mått på styrkan av en jordbävning.

Malm. En mineralkoncentration som är ekonomiskt brytvärd.

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

Marmor. Genom metamorfos omkristalliserad kalksten eller dolomit.

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

Meta- Prefix som används framför bergartsnamn för att indikera omvandlad karaktär (t.ex. metavulkanit). Jämför metamorfos.

Metabasit. Omvandlad basisk bergart.

Metamorf. Omvandlad.

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

Metasedimentär bergart. Omvandlad, ursprungligen sedimentär bergart.

Metavulkanisk bergart. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

Metavulkanit. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

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

Migmatitgranit. Granit bildad genom uppsmältning av äldre berggrund.

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

Mikroklin. Vanligen ljusröd fältspat. 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 djupbergart.

Monzonit. En djupbergart.

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.

Neosom. Nybildat (rekristalliserat) material i en migmatit.

Neotektonik. Unga tektoniska rörelser i jordskorpan.

Norit. Basisk djupbergart.

Olivin. Järn-magnesiumsilikat som främs förekommer i basiska bergarter.

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

Orogen. Se orogent bälte.

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

Orogenes. Bergskedjebildning.

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

Paleosom. Rester av moderbergarten i en migmatit.

Pechblände. Uranmineral.

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

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

Permeabel. Genomsläpplig.

Plagioklas. Se fältspat.

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

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

Postglacial. Efter istiden (post=efter)

Prehnit. Silikatmineral.

Prekambrium. Geologisk tidsålder, äldre än 545 miljoner år.

Primorogen. Se tidigorogen.

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

Pyroxen. Mineralgrupp med prismatisk kristallform.

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

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

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

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

Resistivitet. (Elektriskt) motstånd.

Ryolit. Sur vulkanit (ytbergart) med granitisk sammansättning.

Rörelsebelopp. Mått på storleken av t ex en förkastning.

Sand. Jordart med kornstorlek 0.2-2.0 mm.

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. Stöt vågor (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 med järn- och sulfidmalmer. Det ofyndiga berget inom en malmförekomst.

Skjuvzon. Se plastisk deformation.

Skolla. 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. förskiffring, sprickzon, bergartskontakt).

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

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

Sur bergart. Bergart med > 65 viktprocent SiO₂.

Svallning. Vågornas eroderande verkan på en strand.

Svallsediment. Genom svallning frigjort material som sedan avsatts.

Syenit. Intermediär djupbergart som domineras av kalifältspat och mörka mineral.

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.

Tidigorogen. Beteckning på de äldsta djupbergarterna i en orogenes.

Tonalit. Se granitoid.

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

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

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

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)

Ultrabasit. Djupbergart med extremt låg (< 45 viktprocent) SiO₂.

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

Ur. Se units of radiation.

Urbergssköld. Se kraton.

Urgranit. Äldre benämning på tidigorogena sura djupbergarter.

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

Veckaxel. Omböjningslinjen för ett veck.

Veck. Böjd planstruktur i berg.

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

Vulkanisk aska. Finkornig produkt vid vulkanutbrott.

Vulkanisk bergart. Bergart bildad genom vulkaniska processer.

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.