

R-98-34

Översiktsstudie av Gävleborgs län

Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Stefan Bergman, Curt Fredén,
Jonas Gierup, 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 Gävleborgs län

Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Stefan Bergman, Curt Fredén,
Jonas Gierup, 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 | Gävleborgs 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 | 14 |
| | Bergarter bildade genom meteoritnedslag | 14 |
| | Berggrundens homogenitet | 14 |
| 5 | Mineral- och bergartsresurser | 16 |
| | Översikt över mineral- och bergartsresurser | 16 |
| | Metalliska mineralresurser | 16 |
| | Icke-metalliska mineralresurser | 18 |
| | Nyttosten | 18 |
| | Pågående prospektering | 18 |
| | Potentiellt prospekteringsintressanta områden | 19 |
| 6 | Deformationszoner | 19 |
| | Definitioner och metodik | 19 |
| | Plastiska skjuvzoner | 20 |
| | Sprickzoner och förkastningar | 20 |
| | Deformationszoner i tid och rum | 24 |
| 7 | Jordarter, jorddjup samt sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan | 24 |
| | Isavsmältning och postglacial utveckling | 26 |
| | Jordarter och jorddjup | 26 |
| | Sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv | 32 |
| 8 | Hydrogeologi | 32 |
| | Grundvattnets bildning och strömning | 32 |
| | Grundvattentillgångar | 36 |
| | Berggrundens genomsläpplighet | 36 |
| | Grundvattnets kemi | 36 |
| 9 | Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar | 40 |
| | Sammanfattande slutsatser | 40 |
| | Områden lämpliga för vidare undersökning | 42 |
| 10 | Referenser | 46 |
| | 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 Gävleborgs 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 brunnsarkiv nyttjats för studier av jordmäktighet, hydrogeologi och vattenkemi. I de följande kapitlen redovisas i detalj vilka data som använts för respektive delstudie. Modern berggrundsgeologisk information och flyggeofysiska data täcker en stor del av länet. Information saknas i trakten av Gävle. Modern jordartsgeologisk information täcker ungefär hälften av ytan. Omfattningen av länsöversikten har inte tillåtit hänsynstagande till detaljstudier i enskilda områden, t.ex. SKBs typområde vid Svartboberget, nära Edsbyn, se Figur 2.

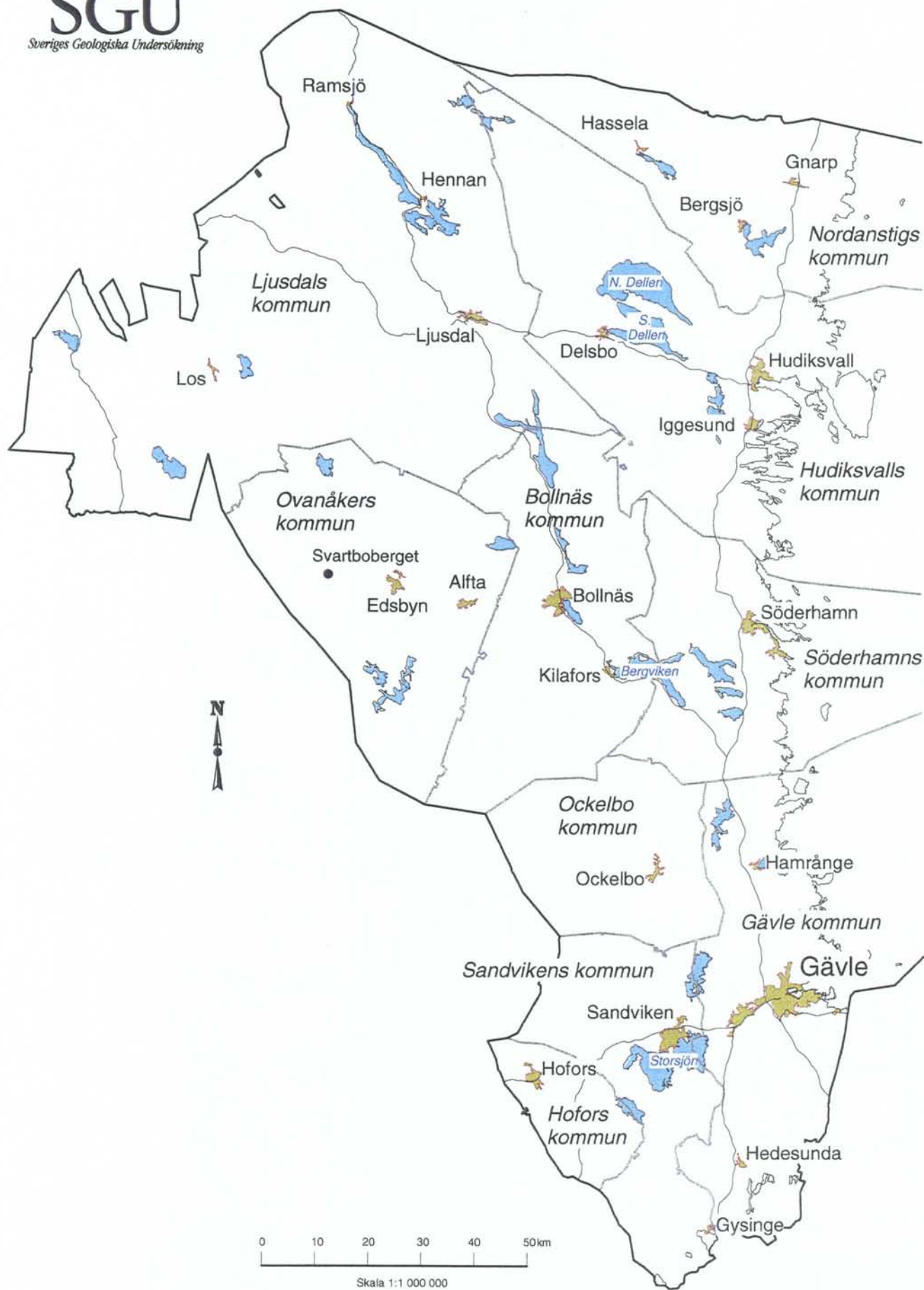
För att uppfylla kravet på vetenskaplig relevans kombinerad med rimlig förståelse för läsare utan geovetenskaplig bakgrund har förklaringar till facktermer inkluderats. Dels ges förklaringar till termerna i texten första gången de förekommer, dels har en geologisk ordlista bifogats, se Bilaga A. I flera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

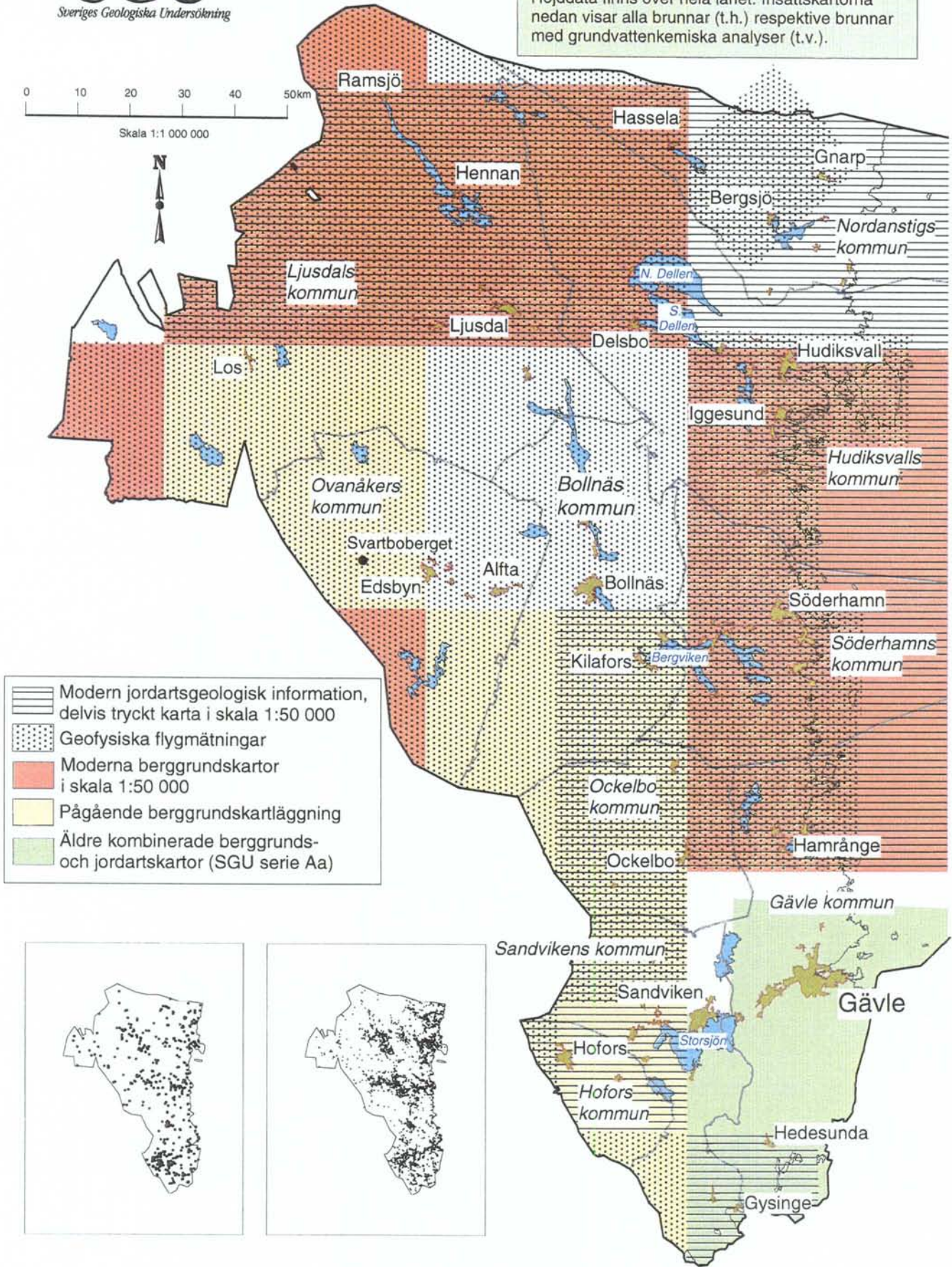
Berggrunden bör vara en vanligt förekommande bergart med goda bergtekniska egenskaper. Inhomogen berggrund bör undvikas eftersom den oftast är svårförutsägbar och gör anläggningsarbetet mer komplicerat. Vidare bör bergarten inte vara eller förväntas bli aktuell som mineral- eller bergartsresurs så att 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.



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

Karta över basinformation i Gävleborgs län. Höjddata finns över hela länet. Insättskartorna nedan visar alla brunnar (t.h.) respektive brunnar med grundvattenkemiska analyser (t.v.).



Figur 2. Basgeologisk och geofysisk information i Gävleborgs län (sammanställning juni 1997)

Jordlagrens sammansättning och mäktighet saknar direkt betydelse för den långsiktiga säkerheten. Däremot påverkas förutsättningarna för att göra nödvändiga undersökningar av 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- och postglaciala rörelser i jordskorpan 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 bergrörelser kan utlösas efter nästa istid.

Jordskalv visar på förekomsten av momentana bergrörelser 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 /1/. 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 skalvet sker är minst 100 m. Studier i andra länder visar att skalv med magnitud 6 eller större sker i kilometerlånga sprickzoner. Zoner med en 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. 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 Gävleborgs 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 orogenesisen (bergskedjebildningen), se Figur 3 /2/. 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 Gävleborgs län är i allmänhet dåligt blottad förutom i vissa kustområden och i begränsade områden i inlandet. Länet ligger helt inom den svekokarelska orogenen och berggrunden utgörs huvudsakligen av granitoider vilka är vanliga i Sverige. Runt ett stort centralt område med granitoider ligger mer komplicerade zoner med ytbergarter och yngre graniter. I väster finns yngre vulkaniska bergarter med stor utbredning i Dalarna. De yngsta bergarterna av betydelse är sandsten vid Gävle och diabas som finns på flera håll.

Den sydligaste länsdelen tillhör Mellansveriges malmprovins med dess karakteristiska järn- och sulfidmalmer i metavulkanisk berggrund. Malmtyper som är speciella för länet är bl.a. titan-vanadin-järnmalmer och guldmalmen nordväst om Ramsjö.

Ett antal skjuvzoner i länet 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 strukturerna, s.k. reaktivering, men bildar också egna system.

Jordartsgeologi och jordskalv

Större delen av länets södra och östra del tillhör den norrländska kustslätten med höjdskillnader lägre än 20 m. Den västra delen omfattas av det nordsvenska inlandets norrlandsterräng. Gränsen mellan de båda landskapstyperna – norrlandsterrängens gräns – är relativt skarp och sträcker sig i N-S-lig riktning från östra delen av Hofors kommun norrut till länsgränsen norr om Gnarp. Morän med stor- och rikblockig yta har stor utbredning inom länet, se Figur 4 /3/. Åsar är vanliga i de stora dalgångarna. Finkorniga sediment förekommer främst i låglandet. Norra delen av länet berörs av ett bälte inom vilket jordskalv förekommer mer frekvent, se Figur 5.

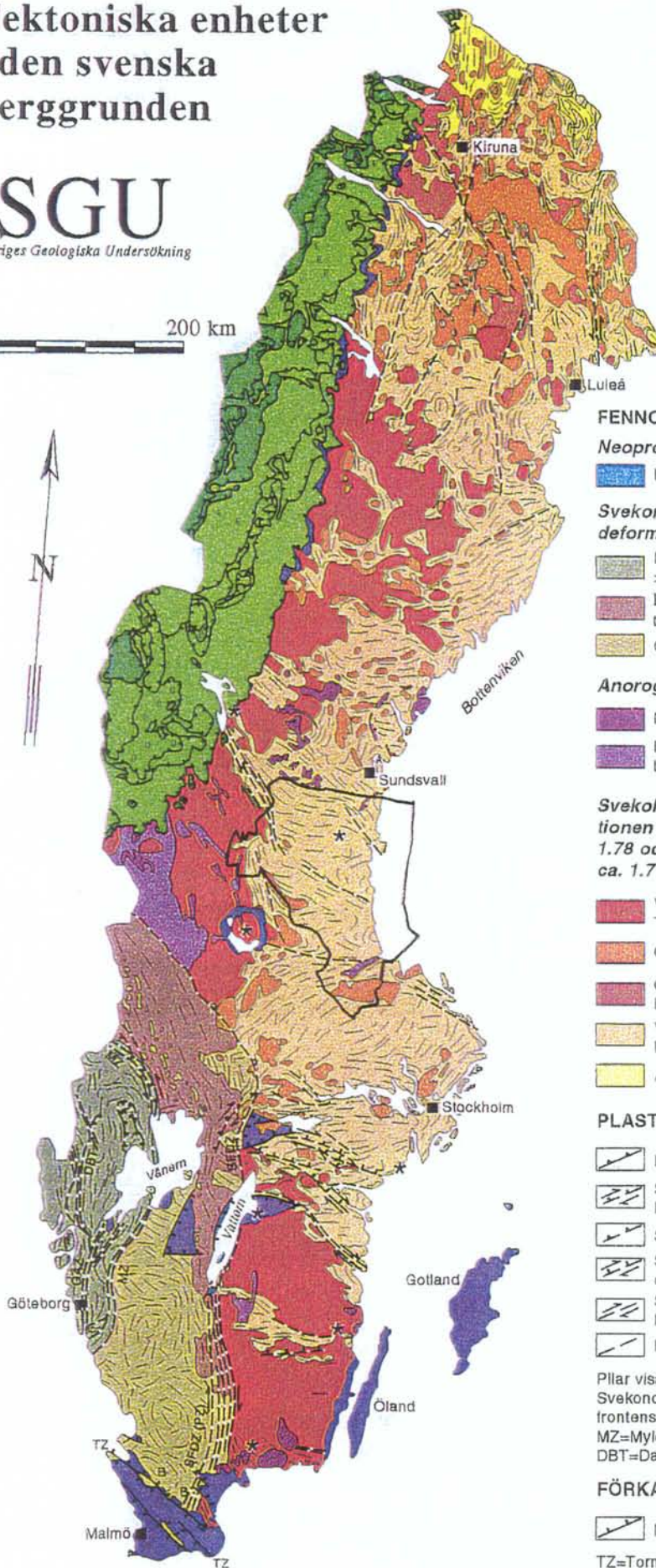
Hydrogeologi

Landets grundvattentillgångar i jord och berg framgår av Figur 6 /4/ och kloridhalten i berggrunden för hela Sverige redovisas i Figur 7 /5/. Grundvattenförhållandena i både jord och berg styrs av de hydrologiska, topografiska och geologiska förhållandena. Gävleborgs län kännetecknas av en varierande topografi. De låglänta områdena nära kusten och i älvdalarna har en förhållandevis utslätad topografi och betydande inslag av postglaciala sedimentära jordarter. De andra delarna av länet har en mer kuperad landskapsbild med morän och torv som dominerande jordarter. Grundvattentillgångar för allmän vattenförsörjning återfinns i de stora sand- och grusavlagringarna. Berggrundsvattnet utgör en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

Tektoniska enheter i den svenska berggrunden

SGU
Sveriges Geologiska Undersökning

0 200 km



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

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

FANEROZOISKA SEDIMENTÄRA OCH MAGMATISKA BERGARTER SAMT IMPAKTSTRUKTURER

- Fanerozoiska sedimentära bergarter och diabas
- Jurassiska och kretaceiska basaltkupper
- Underkambriskt alkalint magmatiskt komplex (Alnöön)
- Impaktstruktur

FENNOSKANDISKA SKÖLDEN

Neoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter

- Klastiska sedimentära bergarter

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

- Mellersta och västra segmentet (inkluderande >ca. 1.56 Ga främmande terränger?)
- 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 orogensen (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-Sorsele-sviten (ca. 1.85–1.65 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)
- Arkelska 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 ökad

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

FÖRKASTNINGAR

- Normalförcastning
- TZ=Tornquistzonen

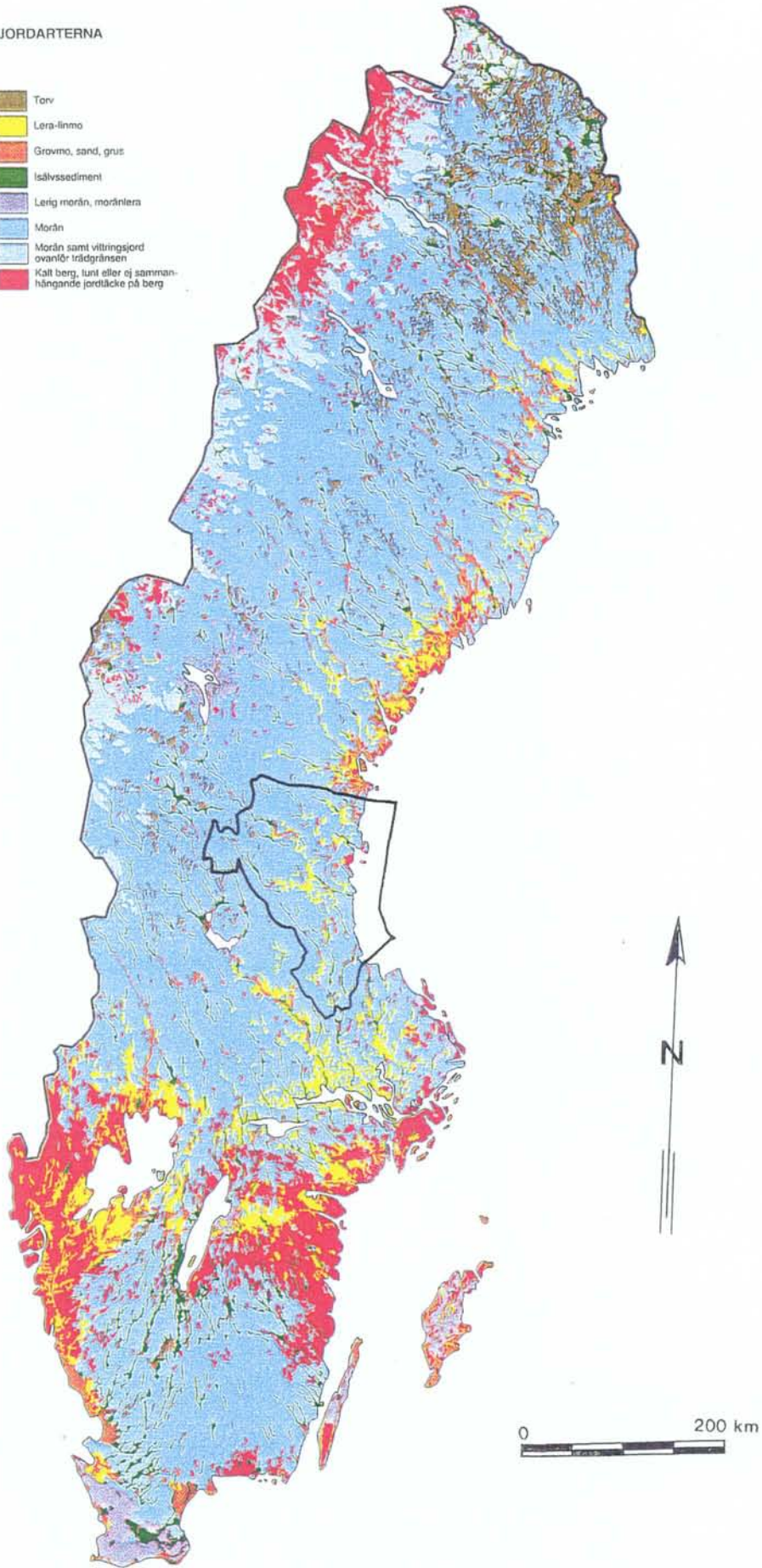
TMB*=Transskandinaviska magmatiska bältet
1 Ma=1 miljon år, 1 Ga=1000 miljoner år

Sammanställd av Michael B. Stephens, Carl-Henric Wahlgrén och Pär Weihed, 1994

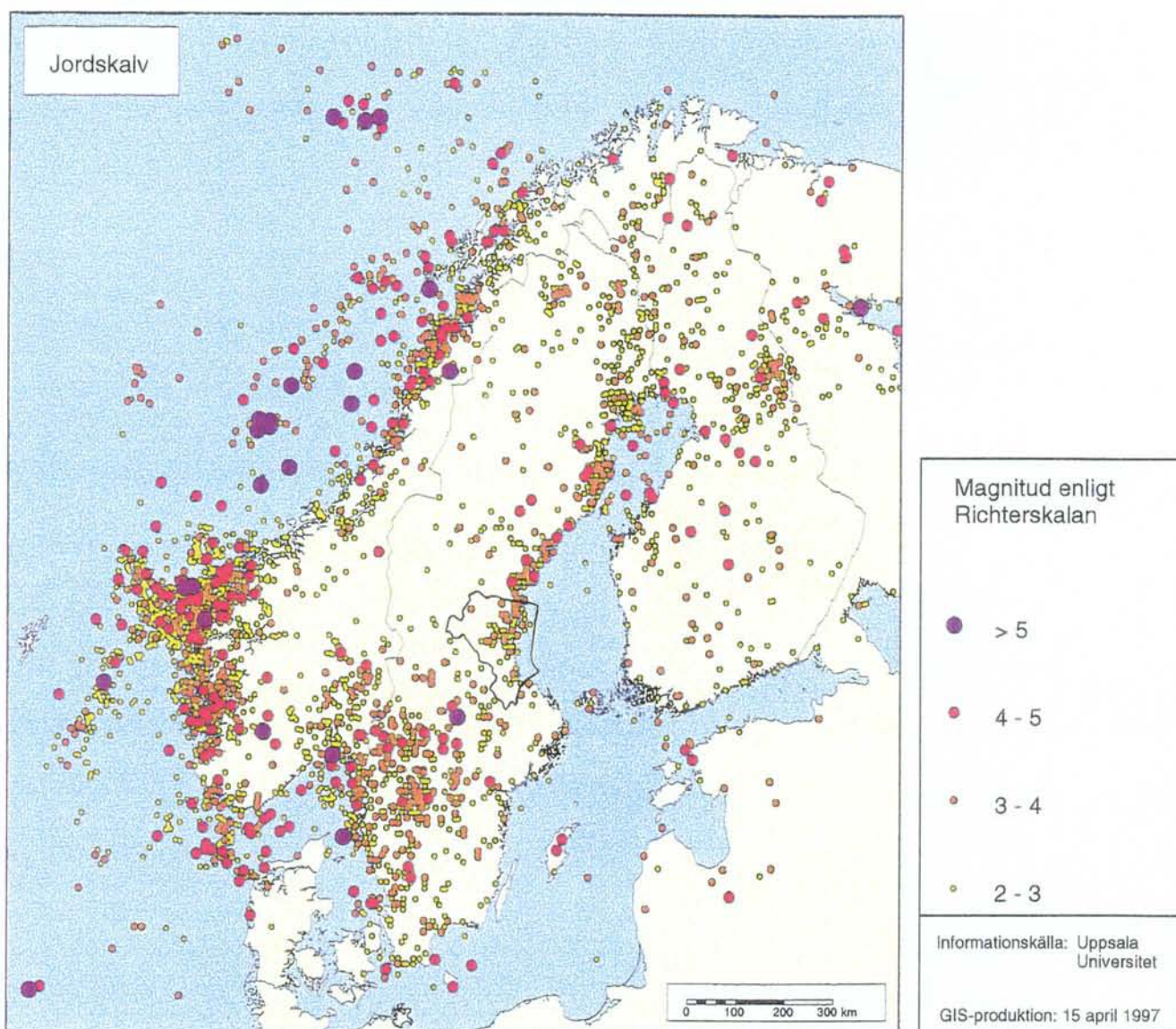
Figur 3. Huvudgeologiska enheter i den svenska berggrunden. Gävleborgs län är markerat med en svart linje

JORDARTERNA

-  Torv
-  Lera-limmo
-  Grovmo, sand, gus
-  Isåvssediment
-  Lurig morän, moränlera
-  Morän
-  Morän samt vittringsjord ovanför trädgränsen
-  Kallt berg, tunt eller ojämnt sammanhängande jordtäckte på berg

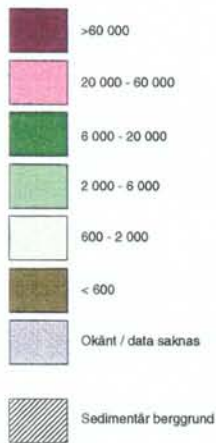


Figur 4. Jordartskarta över Sverige. Gävleborgs län är markerat med en svart linje

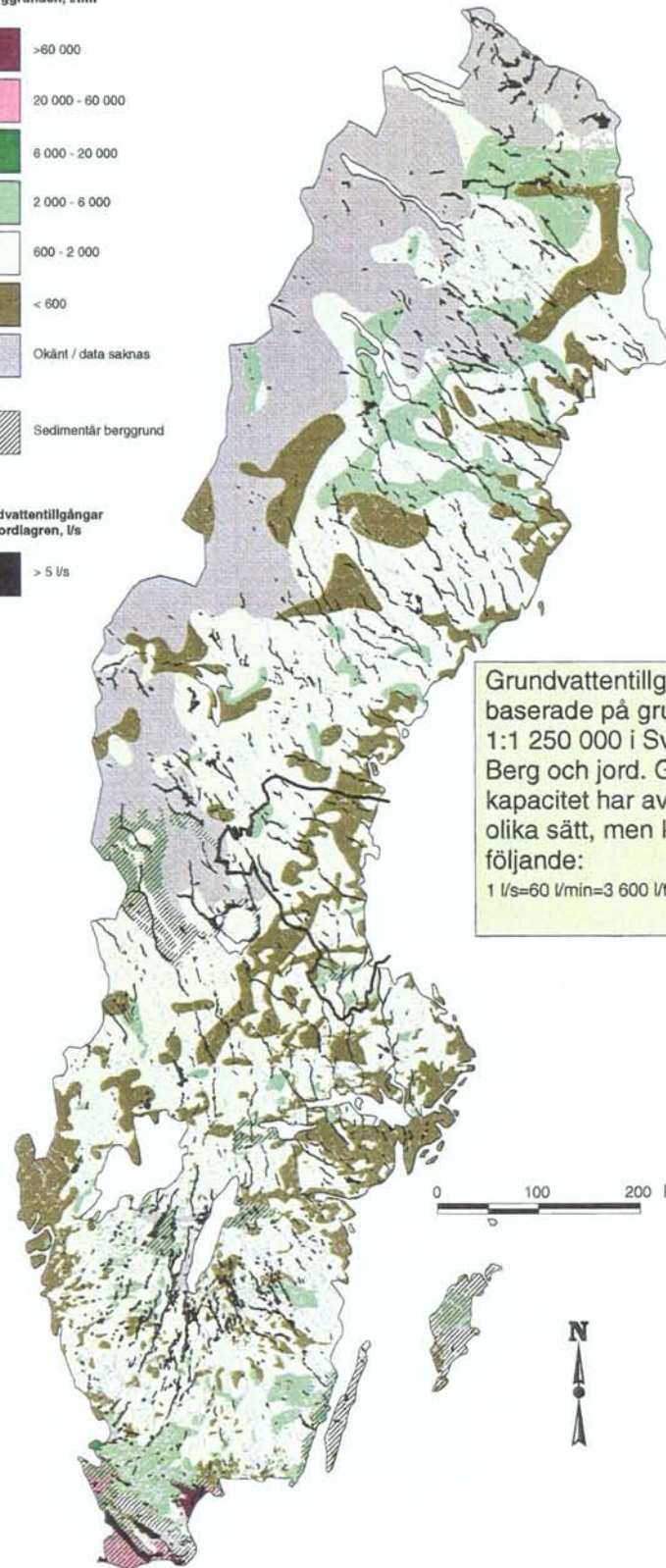


Figur 5. Registrerade jordskalv i Nordeuropa fram till 1993. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet. Gävleborgs län är markerat med en svart linje

Grundvattentillgångar
i berggrunden, l/tim



Grundvattentillgångar
i jordlagren, l/s

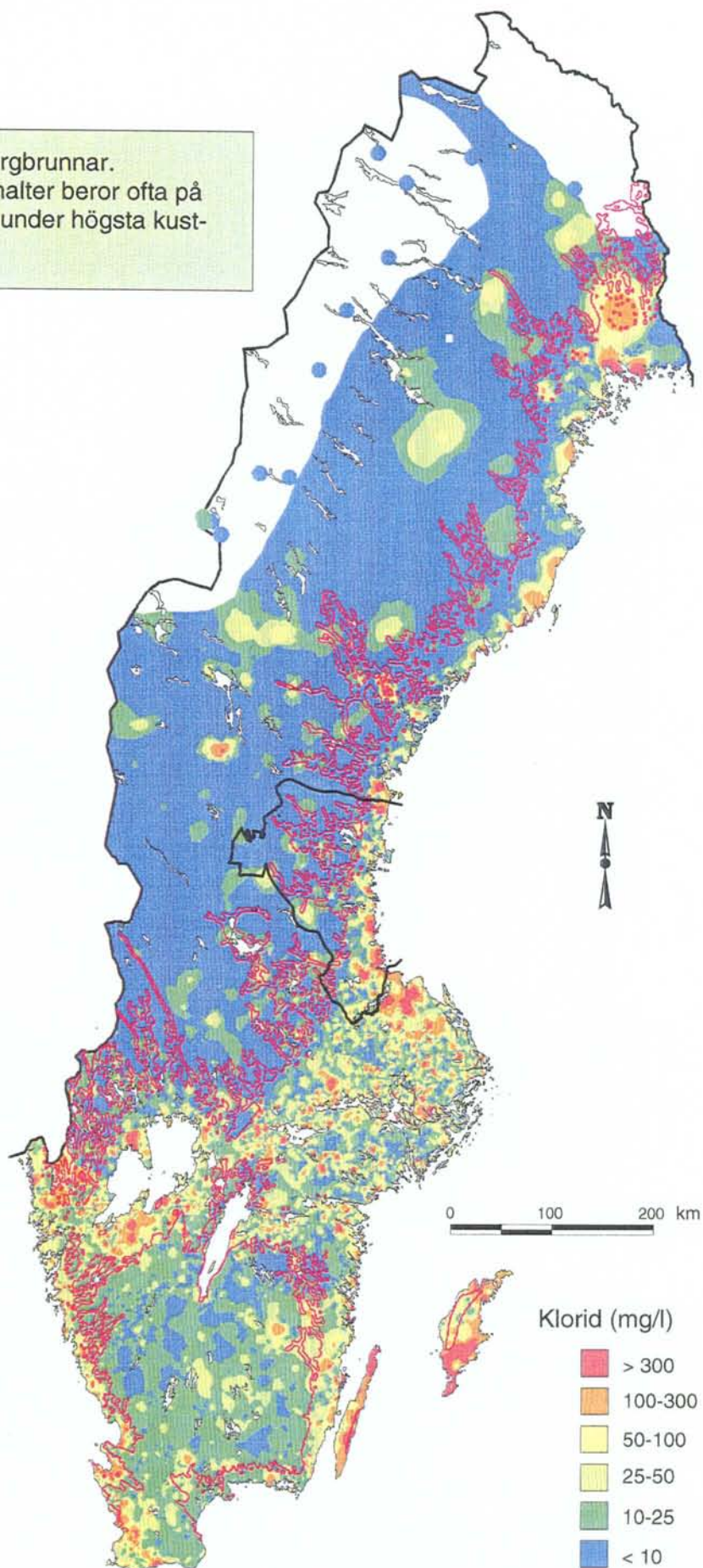


Grundvattentillgångar i jord och berg, baserade på grundvattenkartan i skala 1:1 250 000 i Sveriges Nationalatlas, Berg och jord. Grundvattentillgång och kapacitet har av tradition angivits på olika sätt, men kan lätt omräknas enligt följande:

1 l/s=60 l/min=3 600 l/tim=86,4 km³/dygn

Figur 6. Grundvattentillgångar i jord och berg i Sverige. Gävleborgs 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. Gävleborgs län är markerat med en svart linje och högsta kustlinjen med en röd linje.

4 Bergarter och berggrundens homogenitet

Berggrunden i Gävleborgs län visas översiktligt på kartan i Figur 8, förenklad från Lundqvist m.fl. /6/. En länskartan med beskrivning presenterades av Lundegårdh /7/. Moderna berggrundskartor i skala 1:50 000 täcker stora delar av länet /8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 samt pågående arbete av H. Delin, L. Persson och S. Sukotjo/. Äldre kombinerade berggrunds- och jordartskartor täcker länets sydligaste delar /16, 17, 18, 19, 20, 21/. Gävleområdets sandstenar och Los-Hamraområdet undersöktes av Gorbatshev /22/ respektive Lundqvist /23/. Fotografier på några av länets vanligaste bergarter visas i Figur 9.

Ytbergarter

Ytbergarterna utgörs av äldre metavulkaniska och metasedimentära bergarter (ca 1900-1870 miljoner år), yngre vulkaniska bergarter (ca 1800-1700 miljoner år) samt yngre sedimentära bergarter (Jotniska, ca 1500-1250 miljoner år).

Äldre metavulkaniska bergarter

Omvandlade basiska vulkaniska bergarter (mellangrönt på kartan) finns främst i Hamrångeområdet, nordväst om Ockelbo och i Losområdet. I vissa områden finns välbevarade kuddlavor, mandelstenar, se Figur 9a, och tuffer. De är finkorniga, gröngrå till svarta och har basaltisk till andesitisk sammansättning. Sura till intermediära metavulkaniska bergarter (gult på kartan) har stor utbredning i länets södra och västra delar. Röda till grå, finkorniga metaryoliter är vanligast, och är i många fall bandade eller innehåller strökorn av fältspat. Tät metaryolit (hällflinta) finns sparsamt i flera områden. Metadaciter förekommer allmänt tillsammans med metaryoliterna. Karakteristiska inslag i områden med sura metavulkaniska bergarter är kristallin karbonatsten och järnmalm. Särskilt betydande förekomster av karbonatsten finns sydost om Hofors.

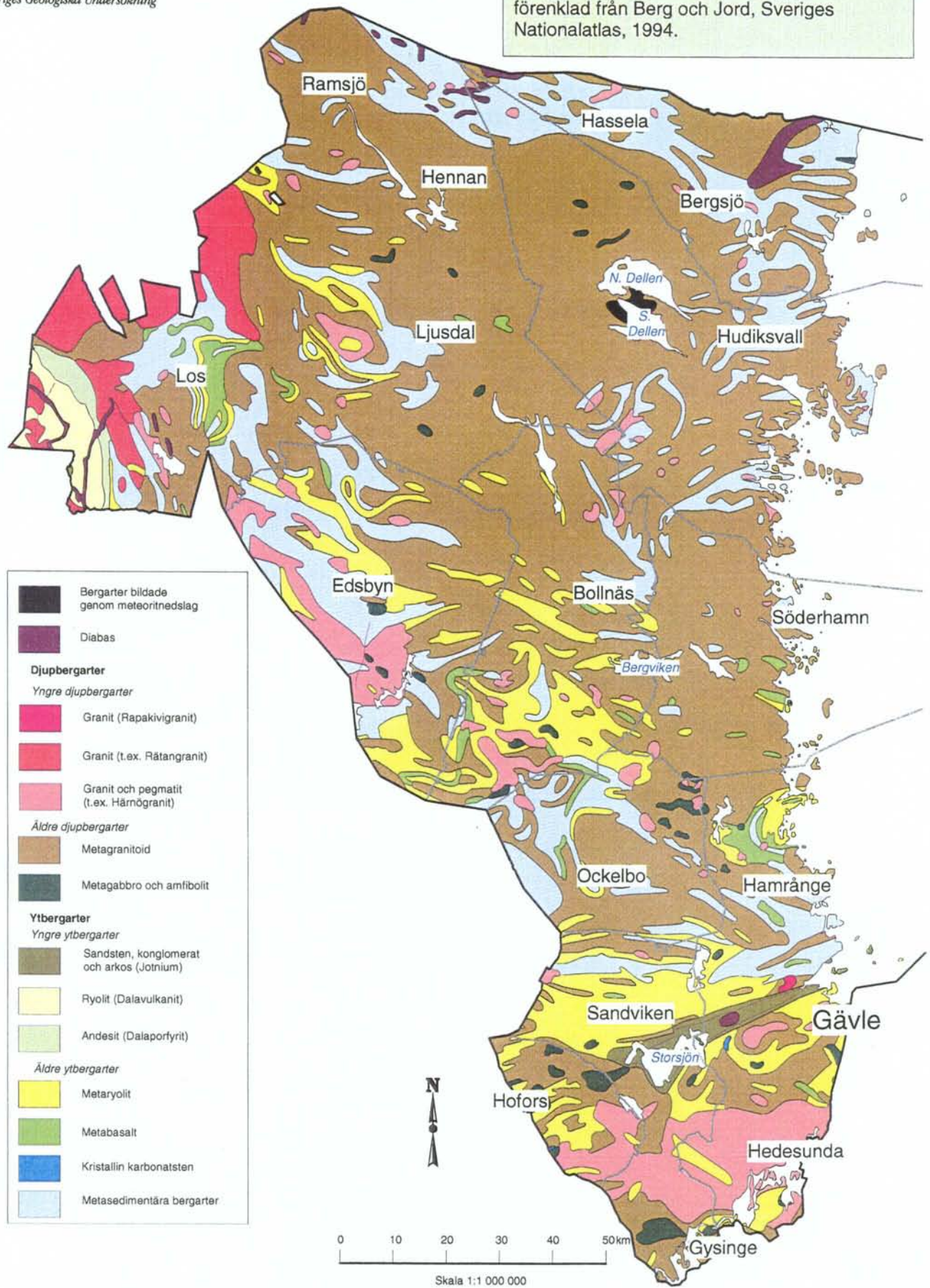
Äldre metasedimentära bergarter

Bergarter som bildats genom förstening av sediment finns spridda över hela länet (blått på kartan). De mest betydande förekomsterna är koncentrerade runt det stora området med metagranitoider. Variationen i berggrundens omvandlingsgrad ger sig särskilt väl tillkänna i dessa bergarter. Väl bevarade bergarter med primära sedimentära strukturer finns i Hamrångeområdet, Losområdet och nordost om Ramsjö. I övriga delen av länet är de metasedimentära bergarterna starkt omvandlade och rikligt genomsatta av kvarts-fältspatådror och gångar av granit och pegmatit, se Figur 9b. Detta gäller i synnerhet metaargilliterna, de ursprungligen leriga sedimenten. På vissa ställen i västra delen av länet är de grafitförande, och västnordväst om Edsbyn finns en brytvärd grafitförekomst. Vid Svartboberget nära Edsbyn har omfattande undersökningsarbeten utförts av SKB i starkt omvandlad metaargillit.

Yngre vulkaniska bergarter

I länets västligaste del förekommer ett mindre område med yngre vulkaniska bergarter (ljusgult och ljusgrönt på kartan) som har sin största utbredning i Dalarna (Dalavulkaniter). Bergarterna är täta till finkorniga ryoliter och andesiter med karakteristiska strökorn av fältspat och/eller kvarts, se Figur 9c.

Berggrundskarta över Gävleborgs län,
förenklad från Berg och Jord, Sveriges
Nationalatlas, 1994.



Figur 8. Förenklad berggrundskarta över Gävleborgs län

Yngre sedimentära bergarter

I Gävle-Sandvikenområdet förekommer sandsten, konglomerat och arkos av Jotnisk ålder (grönbrunt på kartan, 1500-1250 miljoner år). Rödviolett sandsten är den vanligaste bergarten och består till 75-80% av kvarts, resten är huvudsakligen fältspat. Lagringen stupar flackt i väster och brant i öster och mäktigheten är minst 500 meter. Gränserna mellan sandsten och äldre berggrund utgörs i de flesta fall av förkastningar. Sandsten finns även blottad vid en lokal nära länsgränsen väster om Los. Kalksten av underordovicisk ålder har påträffats i fast klyft vid Limön utanför Gävle (L. Karis, muntl. medd. 1997). Bergartsskivor som transportrats korta avstånd av inlandsisen, s.k. skollor, och block av sedimentära bergarter är vanliga i området. Sådana bergarter har stor utbredning på havsbotten i Gävlebukten.

Djupbergarter

Djupbergarter bildas genom stelning av bergartsmältor på djupet. I Gävleborgs län har detta skett vid fyra olika tidsepoker under tiden 1890-1500 miljoner år sedan, under olika stadier av den svekokarelska orogenesisen.

Äldre djupbergarter

Den äldsta gruppen (1890-1840 miljoner år) som också upptar den största ytan i länet består av metagranitoider (brunt på kartan), d.v.s. omvandlad granit, granodiorit och tonalit. De är vanligen medelkorniga och skiljer sig ifrån varandra mineralogiskt genom varierande proportioner av mineralen plagioklas, kalifältspat och kvarts. En variant som är typisk för länet är en metagranodiorit med flera centimeter stora strökorn av fältspat, se Figur 9d. Dessutom finns basiska djupbergarter, där metagabbro är den vanligaste. De äldre djupbergarterna innehåller brottstycken av de äldre ytbergarterna och är alltså något yngre än dessa. Alla dessa bergarter är generellt sett starkt deformerade, förutom väster om Los där svagt deformerade varianter finns.

Yngre djupbergarter

I samband med den regionala omvandlingen och deformationen för ca 1800 miljoner år sedan skedde omfattande uppsmältning av den äldre berggrunden och bildning av yngre graniter (rosa på kartan). En viktig granittyp som bildades vid denna tid är fint medelkornig, jämnkornig, se Figur 9e, och åtföljs ofta av pegmatit (Härnögranit). Den förekommer rikligt i Bollnäs och Ovanåkers kommuner. En annan typ som karakteriseras av centimeterstora strökorn av fältspat finns i länets sydligaste delar (Hedesundagranit). Hornblände är vanligt i denna granit. Graniterna är i allmänhet massformiga eller svagt deformerade.

I länets västligaste delar uppträder graniter som bildades för ca 1700 miljoner år sedan (rött på kartan). Dessa graniter har stor utbredning i angränsande områden i Dalarnas och Jämtlands län (Dalagranit respektive Rätangranit). Ett utmärkande drag för den senare är flera centimeter stora strökorn av kalifältspat i en medelkornig mellanmassa, se Figur 9f. Den förhöjda magnetthalten i några av dessa graniter framgår av den flygmagnetiska kartan, se Figur 11.

Vid Gävle finns ett mindre område av länets yngsta granit (Rapakivigranit, rödviolett på kartan) som daterats till 1500 ± 19 miljoner år /24/. Den är röd, medelkornig och har delvis stora strökorn av fältspat.

Gångbergarter

De gångbergarter som uppträder i området är huvudsakligen granit och pegmatit (se ovan) samt diabas. Av underordnad betydelse är amfibolitgångar och de finkorniga till täta kvartsporfyriska gångar med granitisk sammansättning som finns på några ställen i trakten av Ramsjö. För ca 1250 miljoner år sedan, efter den huvudsakliga bergartsbildningen i området, trängde basiska bergartssmältor upp genom befintliga eller nybildade svaghetszoner och bildade bergarten diabas (lila på kartan). I länets södra, västligaste och nordligaste delar förekommer diabas dels som branta gångar, dels som flacka lagergångar. De ingående mineralen är plagioklas, pyroxen, klorit och järnoxider. Vissa typer innehåller även olivin och biotit.

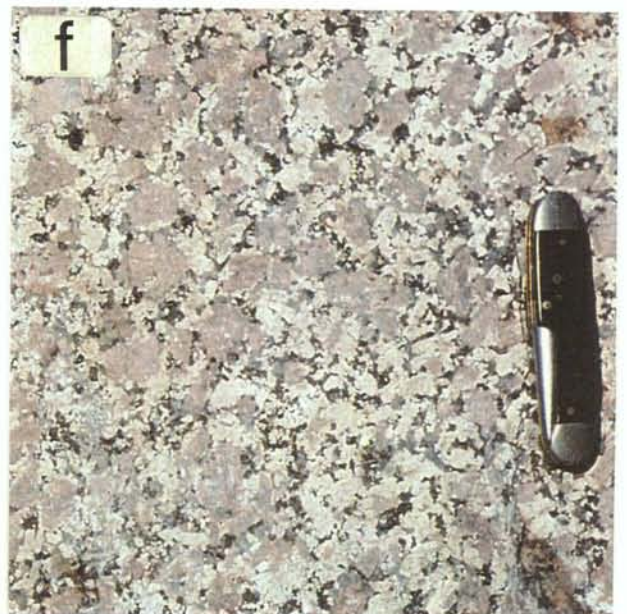
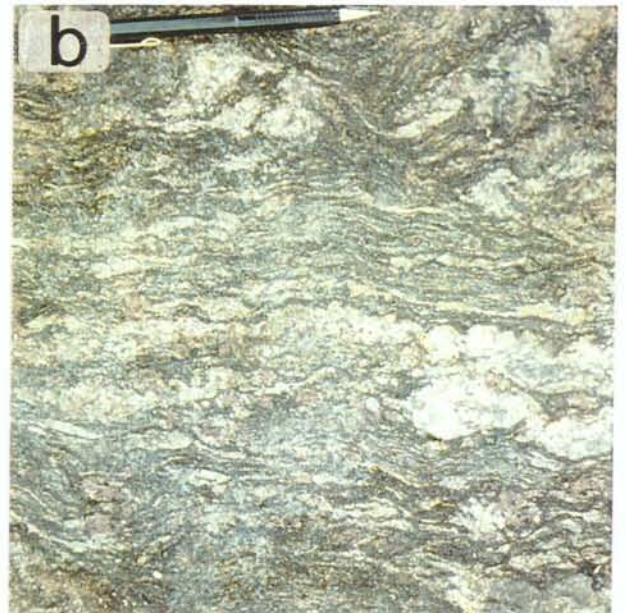
Bergarter bildade genom meteoritnedslag

Vid Dellensjöarna finns glasiga bergarter med huvudsakligen ryolitisk sammansättning (svart på kartan). De har troligen bildats genom uppsmältning av metagranodiorit i samband med ett meteoritnedslag. Bergarternas radiometriska ålder har bestämts till $89 \pm 2,7$ miljoner år med Rb-Sr-metoden /25/. På flygmagnetiska kartan framträder ett rundat område med oregelbunden magnetisering som visar utbredningen av den uppsmälta berggrunden.

Berggrundens homogenitet

Berggrunden är sällan helt homogen över större områden. Inhomogeniteter kan förekomma i form av t.ex. sprickor, gångar eller inneslutningar. Gångar och små massiv av granit och pegmatit förekommer rikligt i vissa områden av länet, främst i de södra och västra kommunerna. Söderhamns och Nordanstigs kommuner samt de östra delarna av Ljusdals kommun har färre sådana områden. Den ådergnejsomvandling som skett i stora delar av länet innebär i allmänhet inte att en större bergvolym kan betraktas som inhomogen. Däremot kan stark migmatitisering medföra att berggrunden får inhomogen karaktär. Större områden av den typen föreligger i de tre norra kustkommunerna, i norra delen av Ljusdals kommun samt i Ovanåkers kommun. Basiska gångbergarter finns rikligt på några ställen i Sandvikens kommun och söder om Gävle. I övriga delar av länet förekommer de sporadiskt. I djupbergarterna förekommer allmänt inneslutningar av äldre bergarter. Inga större områden som är särskilt rika på inneslutningar har noterats i länet.

Figur 9. Bergarter i Gävleborgs län. a) Basisk metavulkanisk bergart med mandlar bestående av kvarts, epidot och kalcit. Kvarnberget, 10 km söder om Los. Foto av H. Delin. b) Meta-argillit med kvarts-fältspatådror och granat. Björntjärnen, ca 40 km nordväst om Ramsjö. Foto av S. Bergman. c) Porfyrisk ryolit, 1690 miljoner år gammal, rik på strökorn av fältspat (Dalaporfyr) och fragment av äldre basisk metavulkanit och kvartsit. Stora Sundsjön, 25 km sydväst om Los. Foto av T. Lundqvist. d) Gnejsig granodiorit, 1843 miljoner år gammal, med strökorn av fältspat. Gryttjen, ca 13 km öster om Ljusdal. Foto av S. Bergman. e) Grå jämnkornig granit (Härnögranittyp) intruderar gnejsig granodiorit. Block vid Tobaksmyran, 22 km väster om Ramsjö. Foto av S. Bergman. f) Granit (Rätangranit) med strökorn av fältspat. Lokalt block, 25 km norr om Los. Foto av T. Lundqvist.



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 samt 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 djupbergarter och sedimentära bergarter. Industriella mineral och nyttosten kan uppträda i alla berggrundsmiljöer. Krossberg av god kvalitet kan erhållas från såväl djupbergarter som vulkaniska och sedimentära bergarter.

Information om länets gruvor och bergtäkter har hämtats från beskrivningen till berggrundskartan över länet /7/, en utredning av Statens Industriverk /26/, rapporter från inventeringar /27, 28/ och från databaser på SGU. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästarämbetet via SGUs Mineralkontor i Malå.

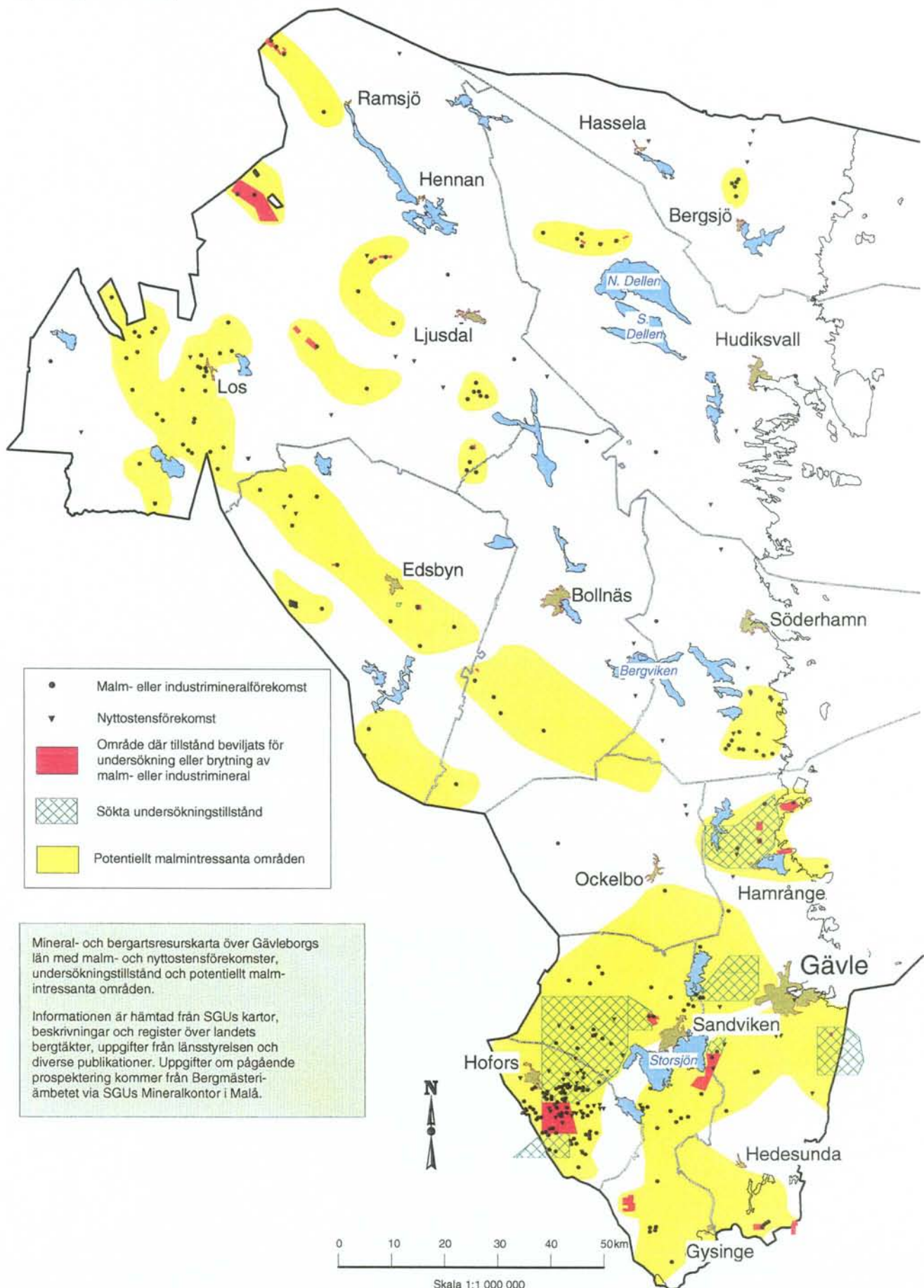
Översikt över mineral- och bergartsresurser

De flesta malmen i Mellansveriges malmprovins /29/ bildades i en aktiv vulkanisk miljö och återfinns i metavulkaniska bergarter. I Hofors-Sandvikenområdet i norra delen av denna provins finns ett stort antal järnmalmsfyndigheter men även några sulfidmalmer. Liknande malmer förekommer även i ett bälte från Gävletrakten till länets nordvästra del, se Figur 10. I basiska djupbergarter i norra delen av länet finns flera järn-titan-vanadinmalmer. Guldmalmen vid Enåsen nordväst om Ramsjö bröts fram till 1991.

Kristallin kalksten åtföljer de metavulkaniska bergarterna och stenbrott finns upptagna i flera förekomster i länets södra del. Västnordväst om Edsbyn finns en fyndighet i metaargillit av industrimineralet grafit, som för närvarande är föremål för brytning. Diabas, sandsten och kvartsit är exempel på bergarter som kan användas för industriella ändamål. Granitoiderna, som är de vanligaste bergarterna i länet, har sin största användning som krossberg.

Metalliska mineralresurser

Järnmalm av två skilda typer finns i länet: järnmalmer knutna till metavulkaniska bergarter och kristallin karbonatsten samt järnmalmer med relativt höga halter av titan och vanadin knutna till basiska djupbergarter. Den förstnämnda typen är likartad med många andra järnmalmer i Mellansveriges malmprovins. Malmmineralet magnetit följer lagerplanen i sidoberget och förekommer tillsammans med skarnmineral (t.ex. pyroxen, amfibol, epidot och granat) eller karbonatsten. Fyndigheter finns i ett bälte från länets sydligaste del till Losområdet i nordväst, med den största koncentrationen kring Hofors. Den senaste järnmalmsbrytningen skedde i Vingesbackesgruvan öster om Hofors, som lades ner 1980. Den andra järnmalms-typen är knuten till gabbrobergarter i norra delen av länet. Den viktigaste fyndigheten finns väster om Järvsö där undersökningar påvisat upp till 30 % järn, 3,6 % titan och 0,3 % vanadin. Malmmineralen är magnetit och ilmenit.



Figur 10. Mineral- och bergartsresurskarta över Gävleborgs län (sammanställning juni 1997)

Sulfidmalmen i länets södra del är i stor utsträckning knutna till järnmalmen, medan de i länets västra del även finns i metasedimentära bergarter. Det finns dels kopparmalmer, dels komplexa malmer med varierande proportioner av koppar, zink, bly, silver och guld. En guldförande sulfidmalm finns sydost om Edsbyn. Guldmalmen i Enåsen nordväst om Ramsjö är knuten till starkt omvandlade kvartsrika bergarter /30/. Malmtypen har inte påträffats på andra håll med liknande omvandlade bergarter finns nära Hassela. Ett antal gulduppslag finns i Hamrångeområdet.

Kobolt-nickelmalm i främst basiska metavulkaniska bergarter finns på två ställen i Losområdet. Förekomster av volfram finns tillsammans med andra malmer i metavulkaniska bergarter i Hofors- och Losområdena. I det sistnämnda området är volframanrikning även knuten till yngre graniter. Molybdenglans finns i pegmatit i Hamrångeområdet. Spridda förekomster av uran i främst pegmatit och granit finns också i länet.

Icke-metalliska mineralresurser

I omvandlad metaargillit vid Kringeltjärn VNV om Edsbyn finns en fyndighet av grafit där brytning pågår. I övrigt finns det sparsamt med industrimineralförekomster i länet. Några mindre förekomster av kvarts har tidigare varit föremål för brytning. Kvartsen finns ansamlad i tektonisk breccia, pegmatit eller i kvartsgångar. Kvarts och fältspat har utvunnits ur pegmatit väster om Hamrånge.

Nyttosten

Ett flertal bergarter som finns i länet har haft betydelse som nyttosten. Stenbrott i kristallin kalksten finns på flera ställen i länets södra del. Sandsten har i Gävletrakten under lång tid använts som kvarn-, monument- och plattsten. I närheten av Los har en finkornig metasedimentär bergart utnyttjats för framställning av brynsten. I Hoforsområdet har gabbro brutits för användning som slaggbildande tillsats i masugnar och serpentinsten har utnyttjats som isoleeringsmaterial mot radioaktiv strålning. Kvartsit för metallurgiska- och vägbeläggningändamål har brutits nära Hamrånge, Hassela och 20 km söder om Hudiksvall.

Granit och gnejser av olika ursprung har brutits på flera ställen för användning som prydnadssten eller krossberg. En nyligen genomförd inventering av krossberg i länets kustregion /28/ har påvisat ett antal förekomster av berggrund med god eller tämligen god kvalitet. Sura till intermediära metavulkaniska bergarter i Hamrångeområdet och granit i nordostligaste delen av Ockelbo kommun har god kvalitet ur krossbergssynpunkt. Bergarter med tämligen god kvalitet finns på många ställen inom regionen. De flesta bergtäkterna har öppnats i berg av denna kvalitetsklass.

Pågående prospektering

Inom Gävleborgs län finns för närvarande 27 undersökningstillstånd beviljade till Boliden Mineral AB, Tertiary Gold Limited, Tricorona Mineral AB, Västernorrlands Mineral AB samt ett antal privatpersoner. Tillstånd som gäller guld, i flera fall även också andra metaller, finns norr och nordost om Los, sydväst om Bollnäs, i Hamrångeområdet, sydost om Gävle samt nära Hofors. Silverförekomster undersöks sydost om Sandviken och öster om Gysinge, medan koppar tilldragit sig intresse sydost om Edsbyn och nordväst om Sandviken. Väster om Gysinge undersöks förekomster av molybden medan tillstånden nordväst om Ljusdal och

Dellensjöarna gäller vanadin. Den norra delen av länet omfattas för närvarande av en ansökan om undersökningstillstånd med avseende på diamanter.

Potentiellt prospekteringsintressanta områden

Söder och väster om en linje mellan Söderhamn, Bollnäs och Ljusdal finns stora områden med god malmpotential, se Figur 10. Vanadinförekomsterna i länets norra del kan även bli av ekonomisk betydelse i framtiden. Ytterligare grafitfynd mellan Los och Edsbyn kan förväntas. Förutsättningar för wollastonitförekomster finns i anslutning till karbonatstenar i länets södra del. De glasiga bergarterna i Dellenområdet har en tänkbar framtida användning som perlit, som i Sverige främst används som filtermedel. Diabas kan användas för mineralullstillverkning, som makadam och byggnadssten. Den största förekomsten av diabas finns i länets nordostligaste del. Det ökande behovet av krossberg i samhället gör att fler bergtäkter sannolikt kommer att öppnas i länet, främst i kustområdet.

I samband med diamantprospektering undersöks ofta först mycket stora områden varefter intresseområdet sedan reduceras till en bråkdel av det ursprungliga. Den nu aktuella ansökan om undersökningstillstånd med avseende på diamanter påverkar därför inte definitionen av potentiellt prospekteringsintressanta områden.

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, liksom 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. förskifring och bandning, har sammanställts genom interpolation av fältmätningar av sådana strukturer. Dessa mätningar har hämtats dels ifrån SGUs berggrundskartor /8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21/, dels från pågående arbete vid SGU (H. Delin, S. Sukotjo). Befintliga formlinjer i digital form har utnyttjats /31/. I områden där befintlig fältinformation är sparsam har formlinjer kompletterats med tolkning av bandade anomalimönster på den flygmagnetiska kartan, se Figur 11, s.k. magnetiska konnektioner. Flygmätningarna har utförts av SGU, SKB och NSG.

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 förskifrade 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, 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, formlinjer och magnetiska konnektioner samt yngre bergarter som är opåverkade eller endast lite påverkade av plastisk deformation. Kartan över deformationszoner, se Figur 13, återspeglar zoner som är väl belagda (se nedan) och zoner som är endast tolkade i samband med denna studie. De sistnämnda behöver kontrolleras i fält innan deras existens och utbredning kan fastställas. Kartan bör därför tills vidare betraktas med försiktighet.

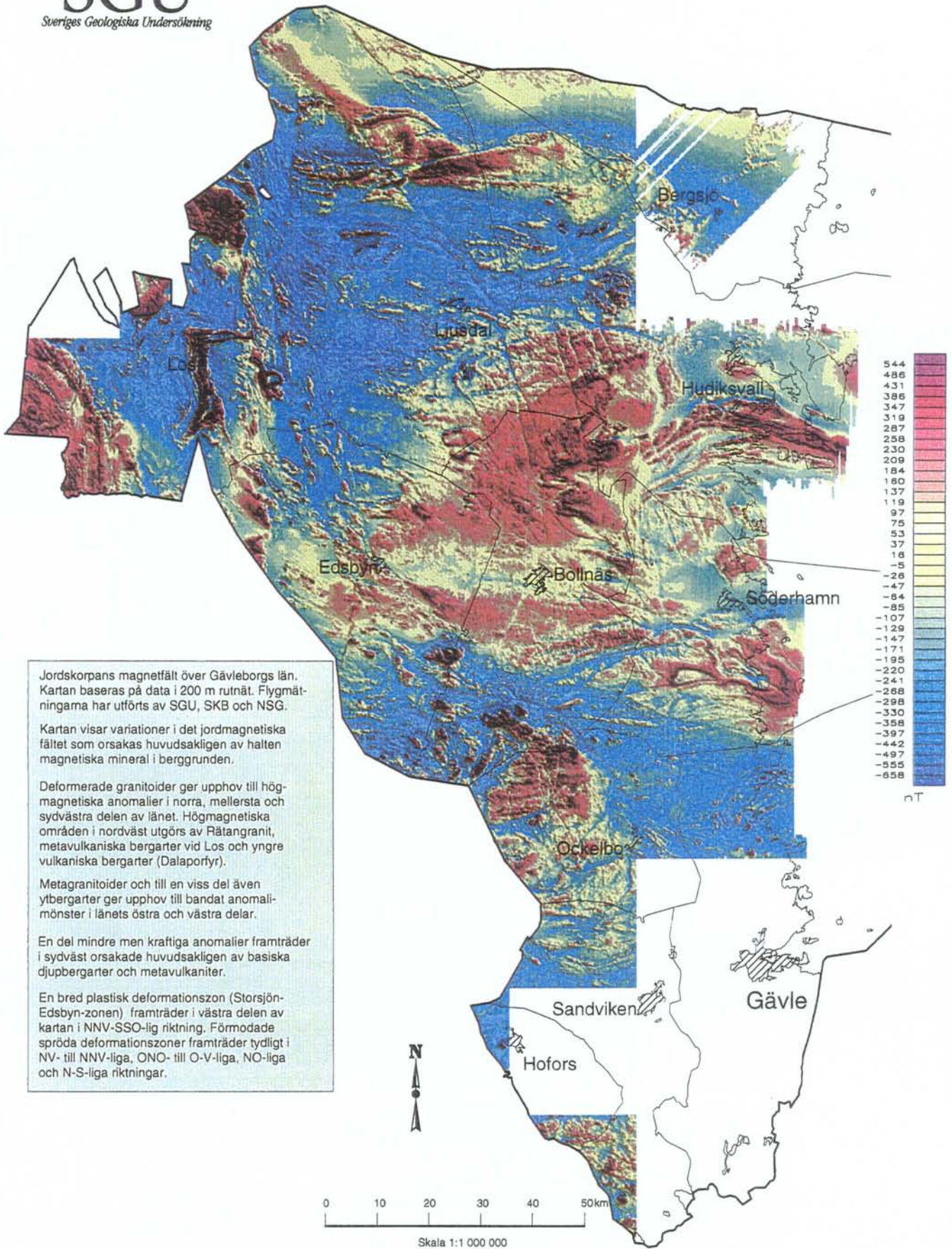
Plastiska skjuvzoner

Plastiska skjuvzoner i VNV-lig riktning förekommer över hela länet medan NO-liga zoner finns i norra delen av länet och mellan Gävle och Hofors i södra delen. I länets västra del finns två NNV-liga plastiska skjuvzoner där den mest framträdande är den sydliga delen av Stor-sjön-Edsbyn deformationszonen /31/. De flesta av dessa zoner är flera kilometer breda. Vissa plastiska skjuvzoner uppträder med mindre deformerade tektoniska linser mellan skjuvzonsförgreningar, som t.ex. norr om Edsbyn. Zonerna vid Gävle utgör den västliga fortsättningen av Singö-skjuvzonen i Uppsala län, där sådana tektoniska linser är karakteristiska /32/. I domänerna mellan plastiska skjuvzonerna dominerar ungefär O-V-liga strukturriktningar. Det finns även ett antal stora veckstrukturer, som t.ex. mellan Hudiksvall och Hamrånge.

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 eller fyllda med t.ex. kvarts eller kalcit. Vissa sprickzoner i länets södra del innehåller välformade kvartskristaller och bergbeck. Bildningsordningen för sprickfyllnader är enligt Lundegårdh /7/ först kvarts, sedan kalcit följt av järnoxid och lokalt aragonit, sedan ytterligare en generation av kalcit. Bergbeck har trängt in i sprickor under flera tidsepoker.

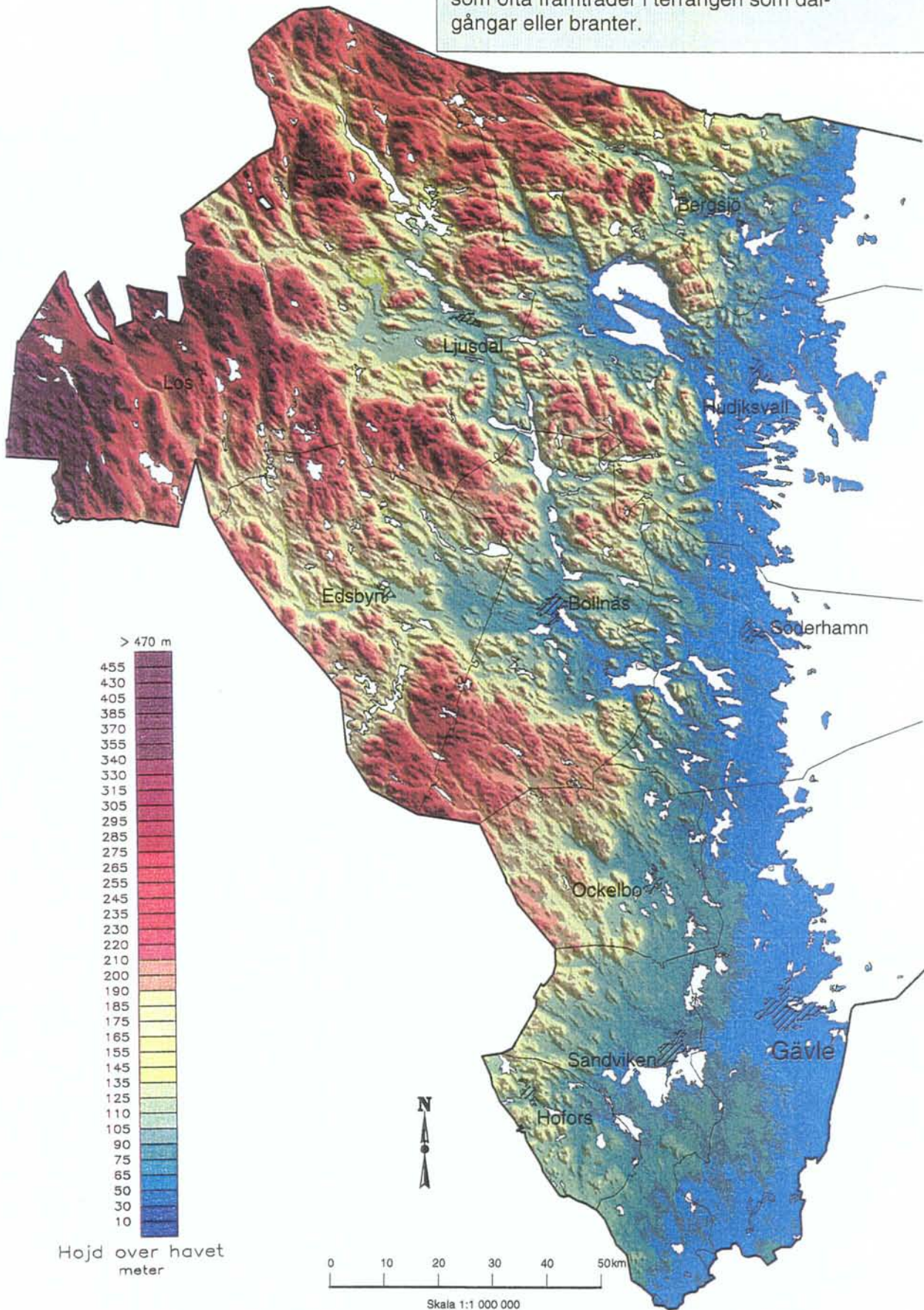
Sprickzonsmönstret består väsentligen av VNV- till NNV-liga, ONO- till O-V-liga och NO-liga sprickzoner. I kustregionen finns vissa långa N-S-liga zoner. Flacka sprickzoner är i allmänhet svåra att upptäcka utan borring eller sprängningsarbeten. I vissa områden är berggrunden särskilt uppsprucken, sett i den skala som använts i denna studie. Sådana områden finns t.ex. söder om Ockelbo, en zon mellan Bollnäs och Söderhamn och vid Hennan. I kustregionen norr om Hudiksvall och i Gävle kommun har endast få sprickzoner kunnat tolkas. Områdena är mycket flacka och flygmagnetiska data saknas praktiskt taget, så det är möjligt att det finns fler sprickzoner i dessa områden än var som kan visas i Figur 13. Vid eventuella



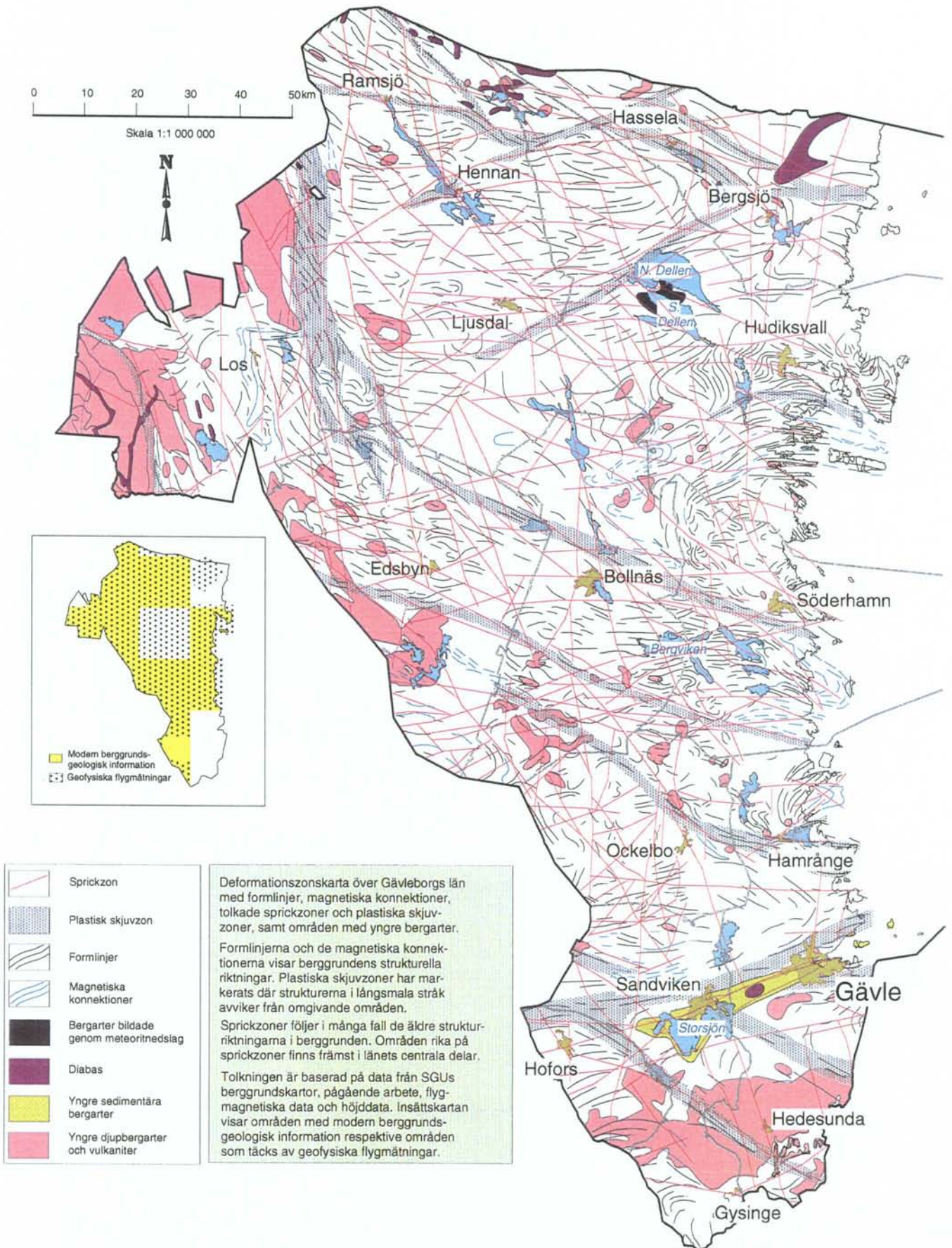
Figur 11. Flygmagnetisk karta över Gävleborgs län

Höjdreliëfkarta över Gävleborgs län baserad på digitala höjddata i 200 meters rutnät från Lantmäteriverkets databas.

Digitala höjddata är mycket användbara vid tolkning av spröda deformationszoner som ofta framträder i terrängen som dalgångar eller branter.



Figur 12. Höjdreliëfkarta över Gävleborgs län



Figur 13. Deformationszonskarta över Gävleborgs län

framtida mer detaljerade studier måste utbredningen av sådana möjliga zoner klarläggas, liksom utbredningen av flacka sprickzoner samt kortare sprickzoner, som inte har beaktats i denna studie.

Deformationszoner i tid och rum

De äldsta deformationszonerna i Gävleborgs län är plastiska skjuvzoner som bildades på mer än 10-15 kilometers djup för ca 1850-1600 miljoner år sedan. Senare höjdes berggrunden och svalnade och deformationen skedde under spröda förhållanden. De sprickzoner och förkastningar som finns idag bildades under den långa tidsrymden från ca 1700 till mindre än 250 miljoner år sedan.

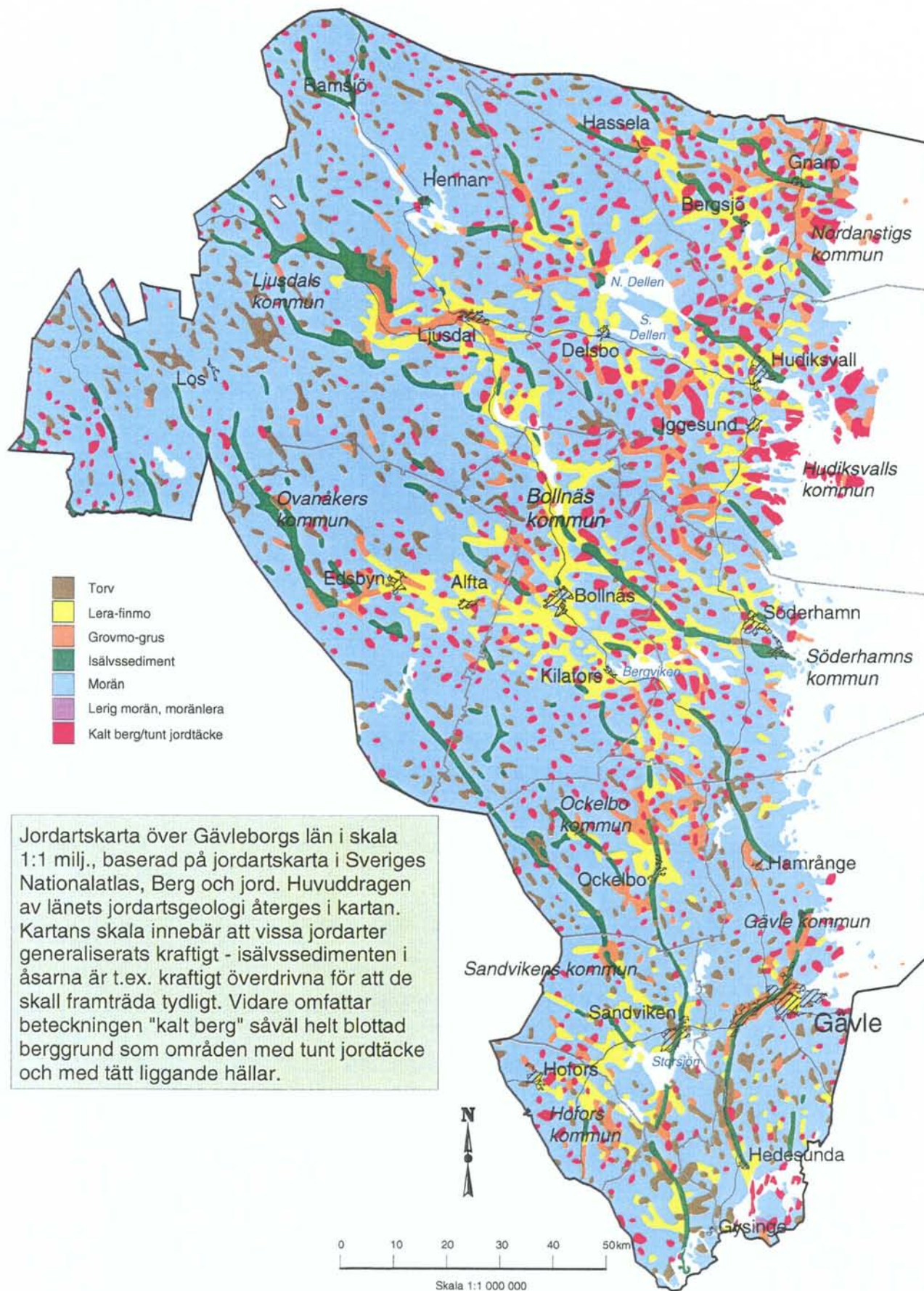
Beträffande sprickzonernas åldrar finns ett fåtal hållpunkter. Lundegårdh /7/ uppger att de kvartsläkta krosszonerna är yngre än Dalavulkaniterna men äldre än Gävlesandstenen, d.v.s. de bildades under tidsintervallet ca 1700-1500 miljoner år sedan eller något senare. Gävlesandstenen begränsas i de flesta fall mot den äldre berggrunden av förkastningar. Ett fåtal sprickzoner har en så tydlig höjdskillnad i terrängen på ömse sidor att de kan klassificeras som förkastningar. De mest uppenbara förkastningarna finns vid Bergviken och väster om Bollnäs, där den södra sidan rört sig uppåt relativt den norra, se Figur 12. Längs två förkastningar nära Bergsjö har nordvästra sidan respektive västra sidan rört sig uppåt. Den förskjutna ytan är en submesozoisk kuperad relief /33/, d.v.s. en relief som bildades före för ca 250 miljoner år sedan, vilket innebär att förkastningarna troligtvis är yngre än ca 250 miljoner år. På flera håll verkar förkastningar med vertikalförskjutning vara sidoförskjutna av NNV-liga förkastningar, vilka sålunda även de troligen är mindre än 250 miljoner år. De sprickzoner som genomkorsar området med bergarter bildade genom ett meteoritnedslag i Dellenområdet måste vara yngre än dessa bergarter, d.v.s. yngre än ca 89 miljoner år.

Det finns flera exempel, se Figur 13, på att sprickzoner följer de äldre plastiska strukturerna, s.k. reaktivering. Rörelser har förmodligen skett åtskilliga gånger längs vissa förkastningar. I kapitlet om jordarter behandlas sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan inklusive jordskalv.

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

Kännedomen om jordartsgeologin inom Gävleborgs län grundar sig på den kartläggning som SGU genomfört i området under 1950-talet /34/ samt på den pågående kartläggningen (T. Påsse, L. Rodhe, M. Sundh, J.-O. Svedlund, B. Wiberg). Jordartskartan, Figur 14, är ett utdrag från jordartskartan i skala 1:1,25 miljon i Sveriges nationalatlas /35/.

Landskapets storformer är av stor betydelse för jordarternas utbredning och förekomstsätt. Höjden över havet bestämmer vissa jordarters utbredning. I andra fall är jordarterna bundna till vissa lägen i terrängen, såsom dalgångar, läsidan av höjder i förhållande till isrörelse m.m. Inom länet är det stor skillnad mellan landformerna inom kustzonen och i inlandet. Inom kustzonen är den relativa höjdskillnaden upp till 50 m. Höjdskillnader på 200 m eller mer är inte ovanliga i inlandet. Länets högsta höjder, nära 700 m.ö.h., finns i den västligaste delen. Landskapet genomdras av markanta dalgångar, av vilka de flesta har en i huvudsak O-V-lig riktning.



Figur 14. Översiktsskarta visande berg i dagen och jordartsfördelningen i Gävleborgs län

Isavsmältning och postglacial utveckling

Då klimatet vid istidens slut blev varmare avsmälte inlandsisen. Detta skedde genom ytavsmältning och frontavsmältning. Den sistnämnda bestämdes av två faktorer. Dels kom den sluttande isfronten på grund av ytavsmältningen att få en allt kortare sträcka ut från de centrala delarna där istäcket var mäktigast, dels skedde en snabb uppbrytning av isen där isfronten var belägen i vatten. Den senaste inlandsisen avsmälte från området för ca 10 000 – 9 500 år sedan /36/. I stora drag drog sig iskanten tillbaka från söder mot nordväst, se Figur 15. Avvikelser i isfrontens sträckning förekom lokalt. Under nedisningens huvudskede beräknas istäckets mäktighet ha varit mellan 2000 och 2500 m /37/.

När inlandsisen avsmälte, började den av ismassan nedtryckta jordskorpan höja sig, först snabbt och sedan i allt långsammare takt. Under isavsmältningsskedet intogs stora delar av den nedpressade jordskorpan av havet. De högst belägna strandmärkena kallas högsta kustlinjen eller HK, se Figurerna 16 och 17a. I södra delen av länet återfinns HK vid ca 190 m.ö.h., i norra delen ca 260 m.ö.h. /36/. Strandförskjutningen är idag i länets södra del 0,6 m/100 år och i norra delen ca 0,75 m/100 år. Strandförskjutningen är idag samma som landhöjningen eftersom havsytans nivå är i stort sett konstant.

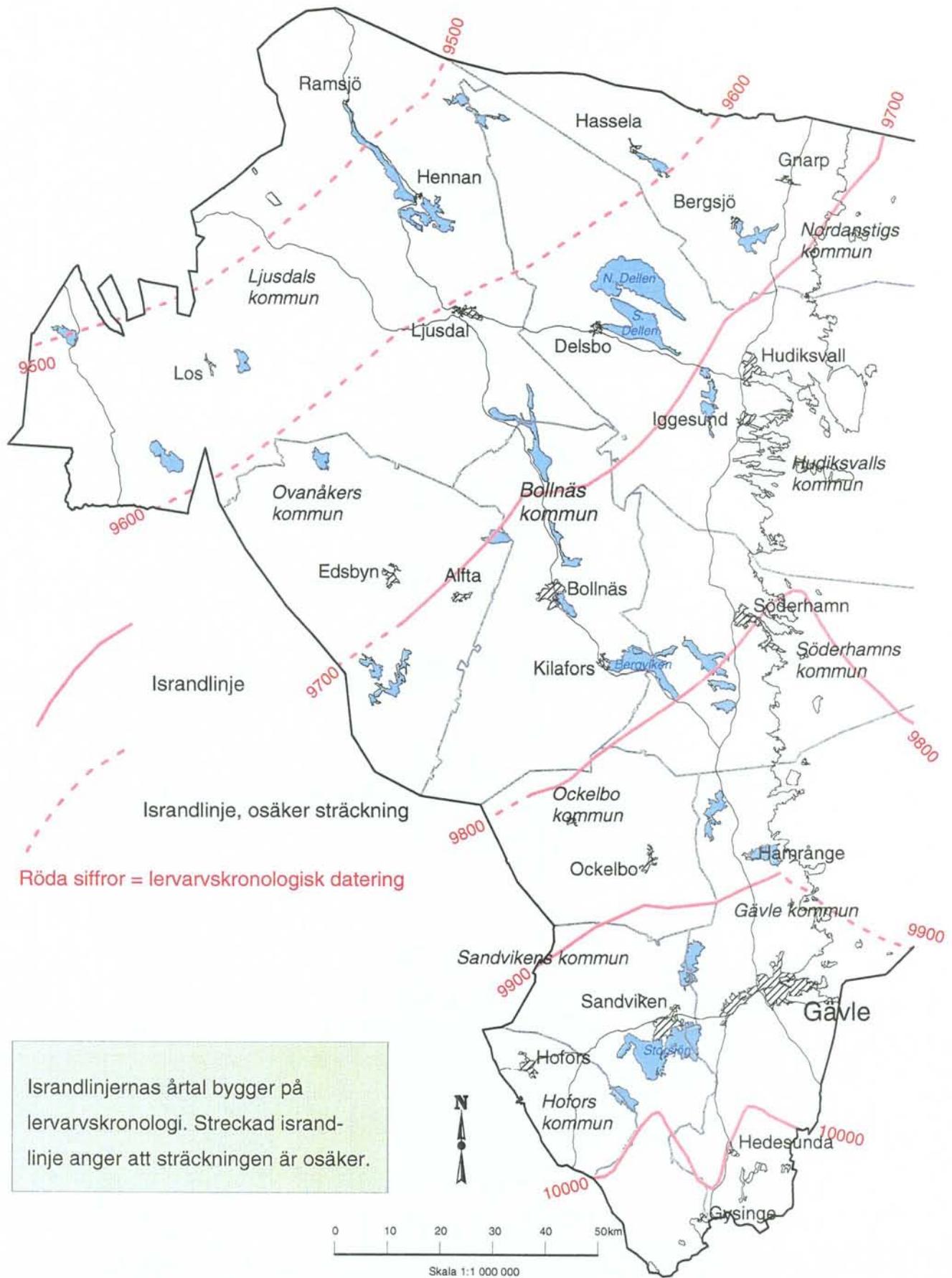
Länets jordarter har bildats i samband med den senaste landisens avsmältning, s.k. glaciala jordarter, och tiden därefter, s.k. postglaciala jordarter. På några ställen har äldre jordarter konstaterats. Under den normala moränen har i norra delen av länet (vid Morvallen, ca 20 km nordväst om Ljusdal) observerats en mörk lerig morän, Figur 17b. Denna undre morän anses vara av interstadial ålder /38/. På ett par ställen (Bollnäs och Ryggesbo, ca 37 km nordväst om Bollnäs) har äldre jordlager med organiskt innehåll påträffats. Båda fynden är från Eeminterglacialen, 130 000–115 000 år sedan /39/.

Jordarter och jorddjup

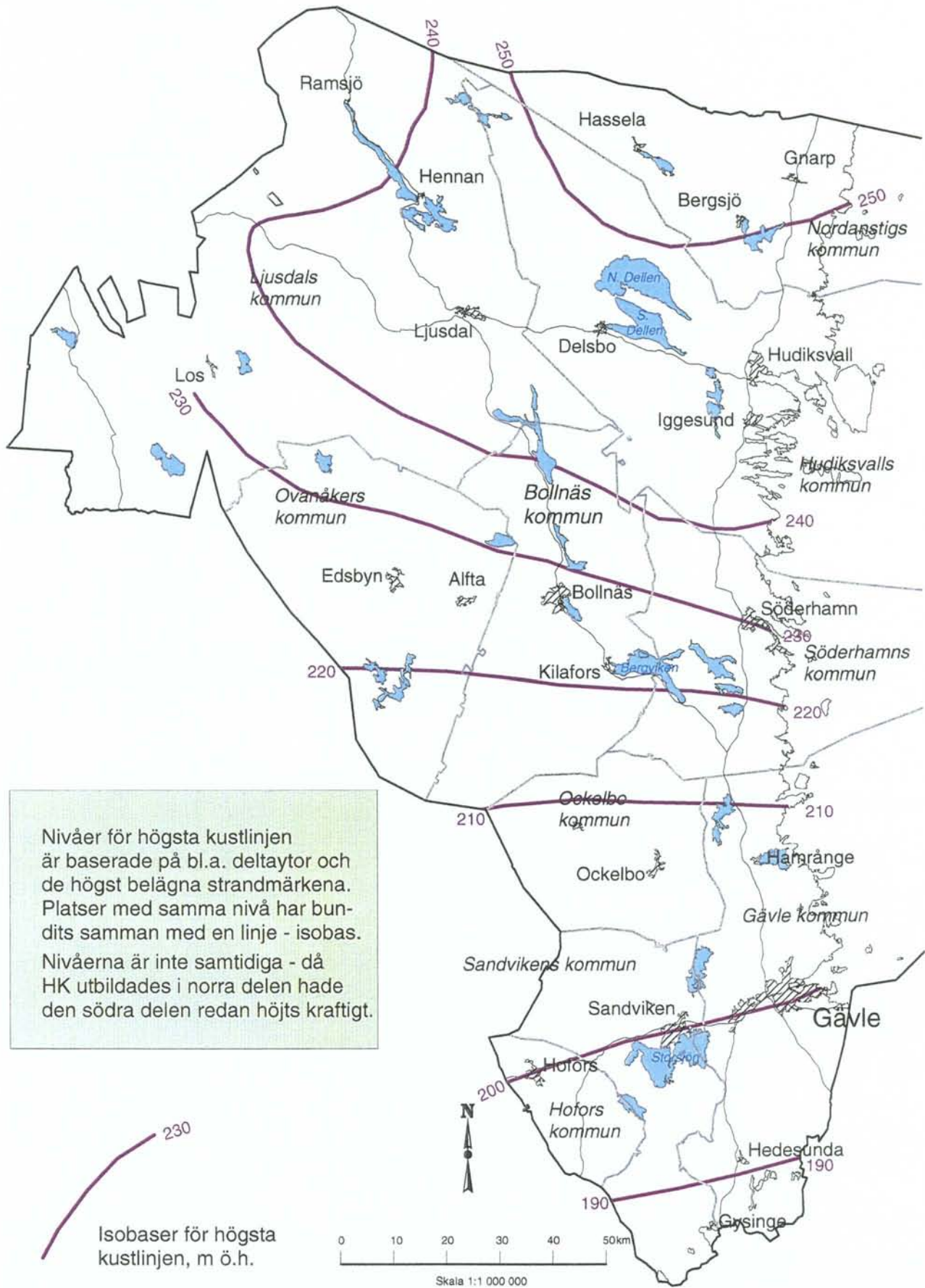
Bergblottningsgrad, jordartsfördelning och jorddjup.

Bergblottningsgraden och jordartsfördelningen framgår av översiktskartan, Figur 14. I nordöstra delen av länet är blottningsgraden måttlig till hög, främst i områdena under högsta kustlinjen. I övriga delar av länet är blottningsgraden måttlig till låg. Moränen har stor utbredning och förekommer i ett flertal avlagringsformer. Isälvsedimenten, främst grus och sand, bildar åsar och deltan, som avsatts i isälvsstråk med NV-lig riktning. I främst den nordöstra delen har svallningen varit intensiv. Nedanför bergbranterna och i dalgångarna finns stora volymer av svallsediment i form av klapper, grus och sand. De finkorniga sedimenten, lera-silt, har stor utbredning i de breda dalgångarna. De myrrika områdena ligger i de flacka moränområdena i den södra delen av länet samt i den högt belägna moränterrängen i nordväst.

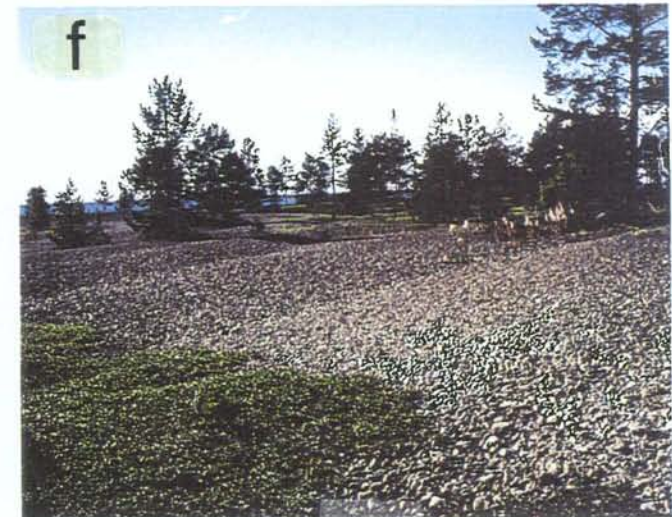
Jordtäcket mäktighet kan växla starkt från en plats till en annan. Vanligen ligger inga gårdar i den centrala delen av en stor dal varför brunnsuppgifter om de stora jorddjupen saknas. Allmänt gäller att jorddjupet avtar mot höjderna. På jorddjupskartan, se Figur 18, har särskilt markerats brunnar (43 st.) med jorddjup större än 40 m. De största kända jorddjupen, drygt 60 m, finns i Delsbotrakten.



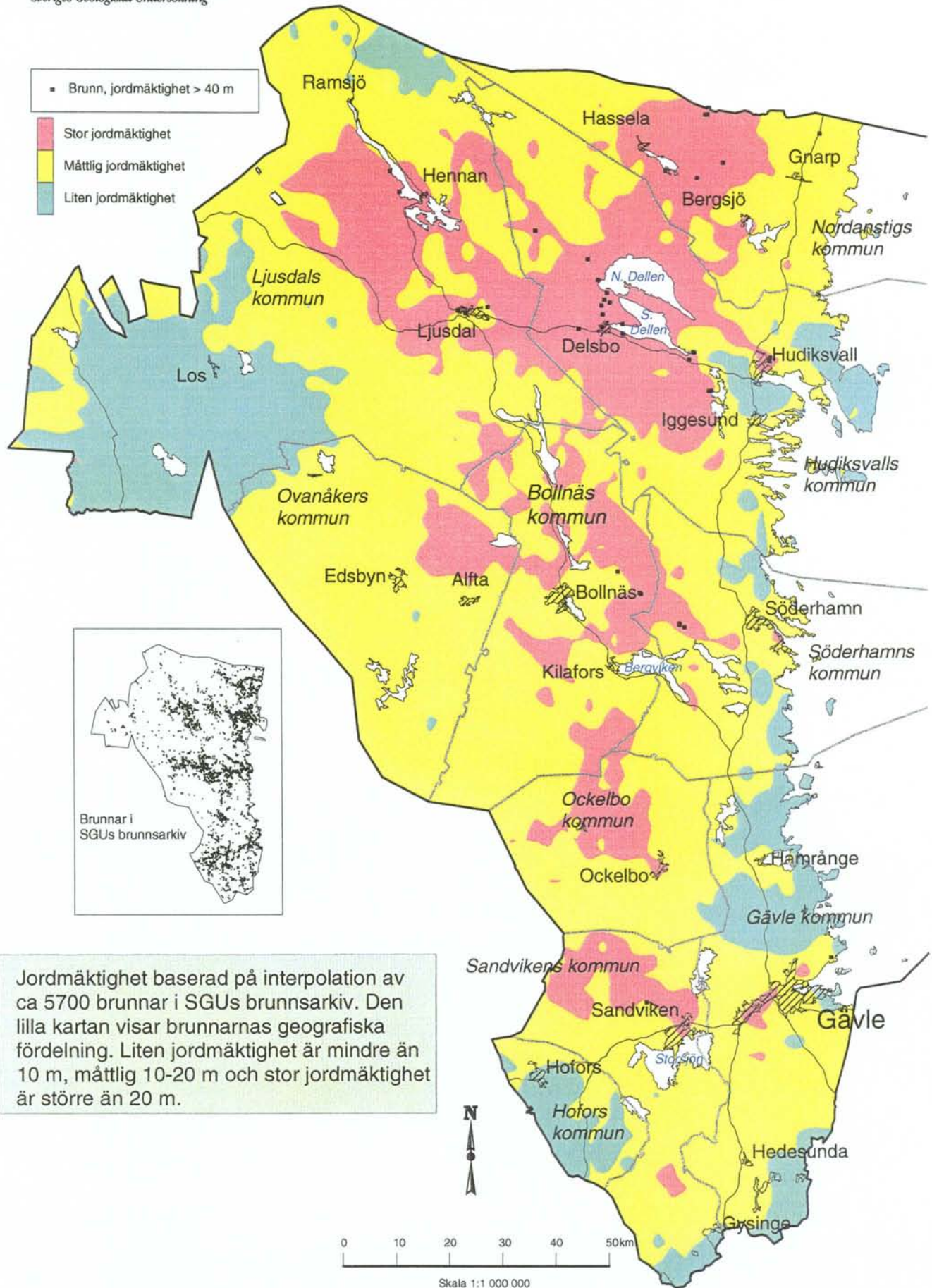
Figur 15. Landisens avsmältning i Gävleborgs län



Figur 16. Högsta kustlinjen i Gävleborgs län



Figur 17. Jordarter i Gävleborgs län. a) Bandet med blottat berg utgör högsta kustlinjens svallningszon på Dalberget, ca 15 km norr om Delsbo. Övre svallningsgränsen ligger 245 m.ö.h. Foto J.-O Svedlund 1988. b) Den undre – mörkgrå – moränen vid Morvallen, ca 20 km nordväst om Ljusdal. Foto J.-O. Svedlund 1993. c) Jordskärning i sandig-moig morän vid Näsberg, ca 25 km väster om Ljusdal. Foto J.-O. Svedlund 1993. d) Flack normalblockig moränyta vid Mellansjö, ca 15 km norr om Ramsjö. Foto C. Fredén 1991. e) Storblockig moränyta vid Trestensmyran, ca 5 km nordväst om Söderhamn. f) Klapperfält med strandvallar på isälvsediment, Långvinds fritidsområde, Hudiksvall. Foto J.-O. Svedlund 1996



Figur 18. Jordmäktighet i Gävleborgs län (sammanställning juni 1997)

Glaciala jordarter

Moränen är den jordart som avlagrats direkt av inlandsisen. Den utbreder sig som ett täcke över berggrundens yta inom i princip hela länet. De övriga jordarterna underlagras ofta av morän. Moränen är i allmänhet tunnare på höjderna och saknas ofta helt på topparna, i synnerhet i områdena under högsta kustlinjen. Sandig-moig morän dominerar, se Figur 17c. Moränens ytblockighet varierar, se Figurerna 17d och 17e. Grova graniter ger ofta en storblockig morän, medan finkornigare graniter ger en blockrik morän. Stor- och rikblockiga områden är vanligt förekommande, särskilt i dalstråken och inom kustregionen, t.ex. i trakten av Ljusne. I inlandet är storblockig terräng ett markant inslag i västra delen av Ljusdals kommun. Främst i sänkor och dalar i den höglänta västra delen av länet bildar moräntäcket ytformer.

Isälvsedimenten har transporterats och sorterats i isälvar i och under landisen och avlagrats vid isfronten under isavsmältningen. Isälvarna har vanligen följt dalgångarna. I en isälvsavlagring kan kornstorlekssammansättningen växla starkt. Grus och sand är de vanligaste kornstorlekarna, lokalt kan silt dominera. Inom länet finns ett flertal avlagringsformer varav åsar är vanligt förekommande. De följer de stora dalgångarna och kan där täckas av yngre sediment. Isälvsdeltan och deltakomplex är vanliga i anslutning till HK i de större dalstråken.

Glacial lera och silt har avsatts av smältvatten från den avsmältande landisen och på ett visst avstånd till isfronten. Silt dominerar inom högt belägna områden under HK. Jordarten minskar nedåt i omfattning i samma utsträckning som leran tar över. På nivåer under 50 m.ö.h. dominerar leran. Den överlagras lokalt av svallsediment och älvsediment.

Postglaciala jordarter

Postglaciala sediment utgör omlagringsprodukter av glaciala jordarter och har bildats efter det att landisen lämnat området. De grova sedimenten, klapper, grus och sand har en ganska ojämn regional fördelning. De finns i princip i hela området nedanför HK, men framför allt där terrängen är kraftigt bruten. I flackare terräng blir såväl arealen som mäktigheten mindre. Ur nivåsynpunkt finner man svallsedimenten i två områden, dels närmast under HK där terrängen ligger relativt väl exponerad, dels i exponerade områden ut mot den nutida kusten, se Figur 17f. Svallsand är vanligt förekommande invid isälvsavlagringarna. De finkorniga sedimenten, silt och lera, förekommer främst på lägre nivåer. Älvsediment har en liten utbredning inom länet.

Av vinden omlagrade sediment förekommer på några platser. Vindavlagringarna bildar dyner och är knutna till isälvsdeltan vid HK.

Bland organiska jordarter dominerar torv. Avgränsningen mellan torvmarkstyper är ibland skarp men även glidande övergångar förekommer. Torvmarker kan utgöras av enhetliga myrkomplex innefattande partier med mossar och kärr. Denna typ dominerar inom länet och särskilt i de södra och västra delarna. Typiska högmossar är sällsynta inom länet.

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 /40, 41/. Mörner /42, 43, 44/ anser att sådana rörelser förekommit också i andra delar av landet, huvudsakligen beroende på den snabba landhöjningen. En granskning och sammanfattning av denna typ av rörelser i Sverige har gjorts av Muir Wood /45/. Bodagrottorna vid Iggesund är urbergsgrottor som anses ha bildats i samband med postglaciala rörelser då området fortfarande var täckt med vatten efter inlandsisens avsmältning /46/. Med undantag för en del registrerade jordskalv (se nedan) är ytterligare sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan ej kända inom Gävleborgs län. De störningar och förkastningar som noterats lokalt i isälvsediment, har tolkats som orsakade av avsmältning av infrusna isblock, tryckavlastning eller porvattenavgång i samband med eller efter inlandsisens avsmältning.

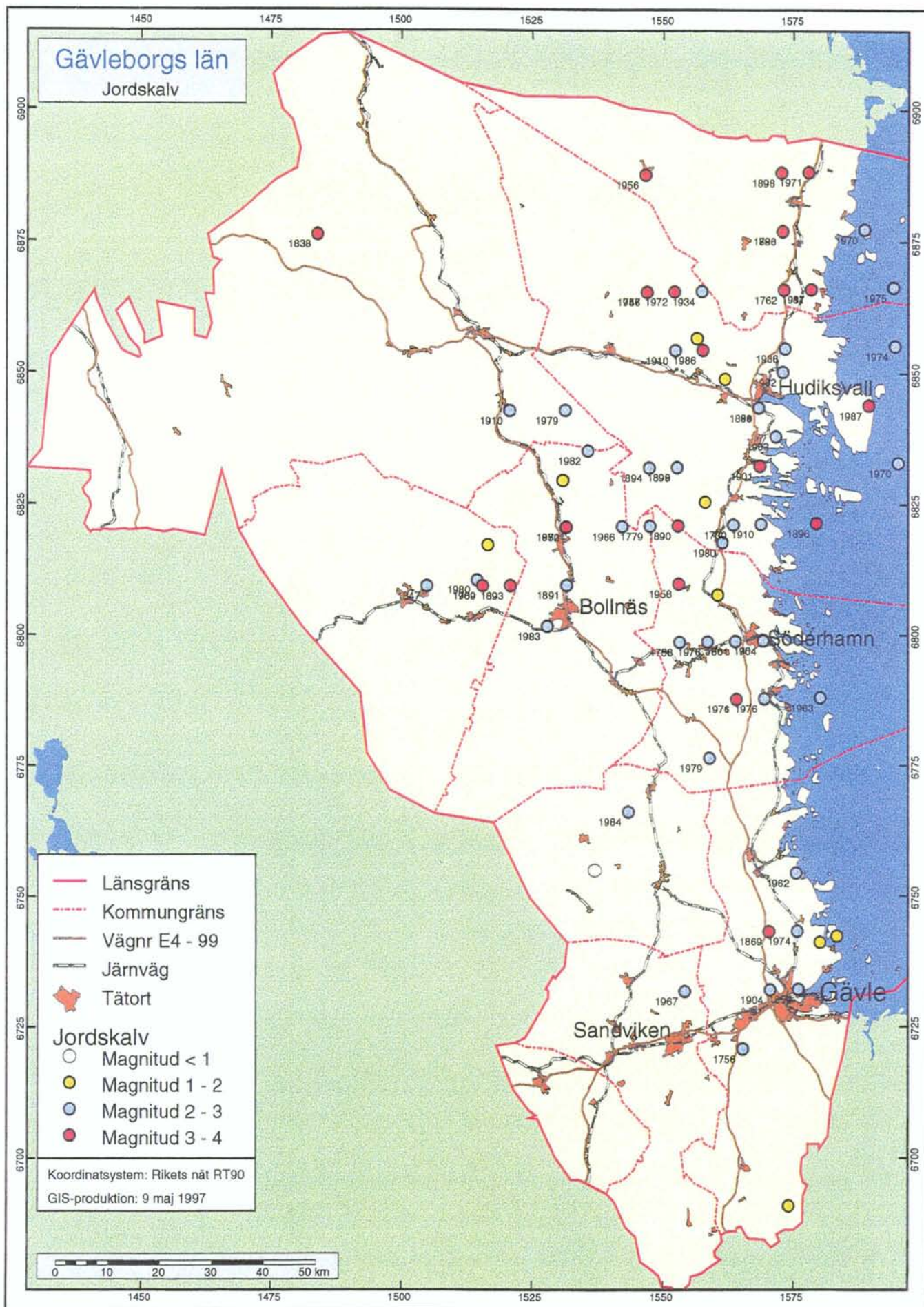
En sammanställning av jordskalv i Nordeuropa fram till 1993 visar att länets norra del ligger inom ett bälte inom vilket jämförelsevis många jordskalv är registrerade, se Figur 19. Bältet sträcker sig från sydvästra Sverige mot nordöst och norrut längs Norrlandskusten till Finland. Flertalet skalv i länet med magnitud 3–4 ligger i de stora dalgångarna och i kusttrakten. Frekvensen av de inträffade 20 skalven med magnituden 3–4 är ojämnt fördelad över tiden. Under perioden 1886–1911 är 7 st registrerade och under perioden 1970–1987 6 st. Det kraftigast kända skalvet, magnitud 3,9, inträffade i trakten av Bergsjö, ca 25 km norr om Hudiksvall, den 21 december 1886. Det senaste registrerade jordskalvet skedde enligt sammanställningen den 23 juli 1987 på östra sidan av Hornslandet, öster om Hudiksvall, och hade magnituden 3,0.

8 Hydrogeologi

I grundvattenkartan med beskrivning över Sverige /47/ redovisas bl.a. grundvattentillgångar, grundvattnets kvalitet, hydrologi och vattenförsörjning. I föreliggande sammanställning av de hydrogeologiska förhållandena i länet har detta material kompletterats med analyser av Lantmäteriverkets höjddata, SMHIs avrinningsdata och data från SGUs brunnsarkiv. Syftet har varit att beskriva grundvattnets strömningsmönster och berggrundens hydrauliska konduktivitet (genomsläpplighet). För att beskriva grundvattnets kemiska status i Gävleborgs län jämfört med övriga landet har även grundvattenkemiska data från SGUs brunnsarkiv bearbetats.

Grundvattnets bildning och strömning

Grundvattnet ingår i det hydrologiska kretsloppet /4, 47/. Av den nederbörd som faller i länet avdunstar drygt hälften /47/. 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 uppåtriktad benämns utströmningsområden. I de fall trycknivån ligger högre än marknivån kan källor och våtmarker bildas. Grundvatten strömmar också ut i botten av sjöar och vattendrag.



Figur 19. Registrerade jordskalv i Gävleborgs län fram till 1993. Årtal då skalvet inträffade finns angivet på kartan. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet

Grundvattenbildningens storlek bestäms av markens infiltrationskapacitet och den effektiva nederbörden (skillnaden mellan nederbörd och avdunstning). Den effektiva nederbörden i Gävleborgs län framgår av Figur 20. Den har beräknats utifrån en vidareutveckling av den metod som använts för beräkning av avrinning /48/. 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.

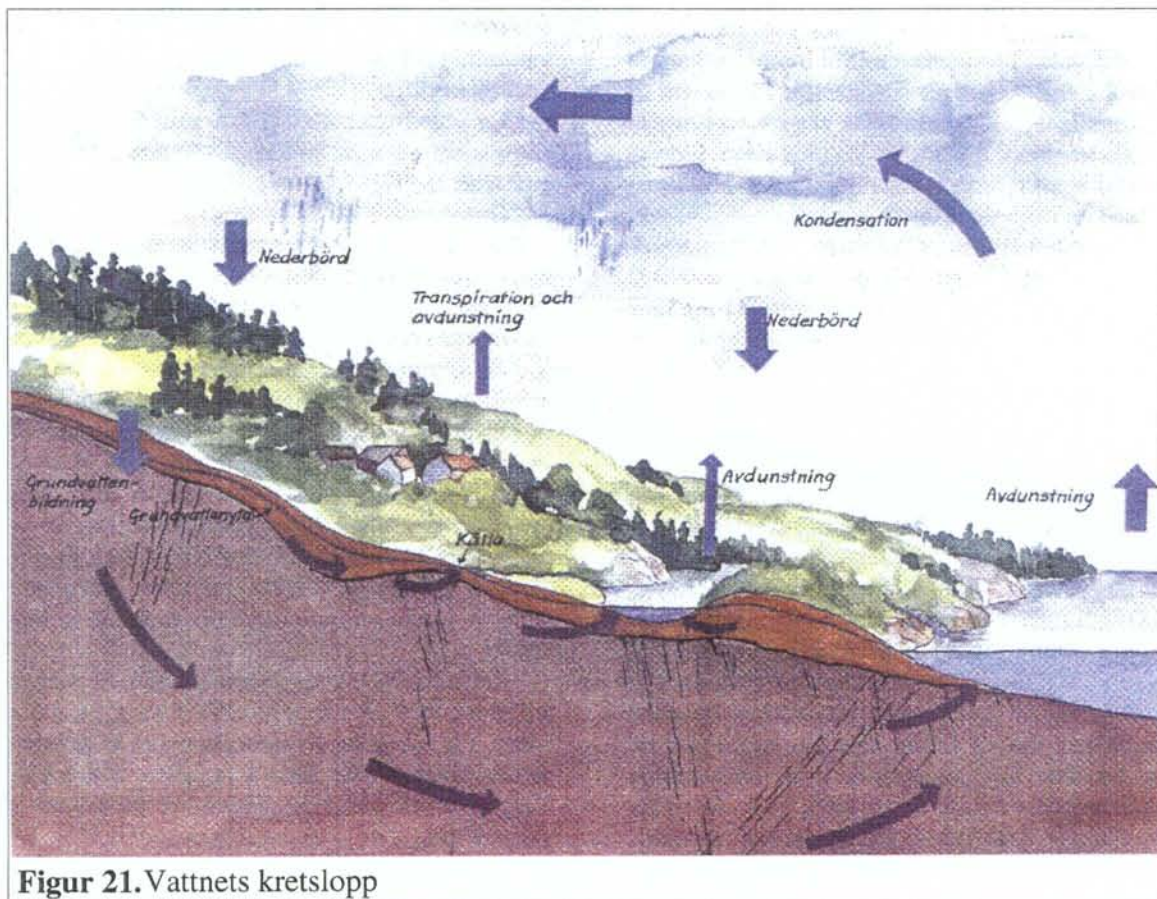
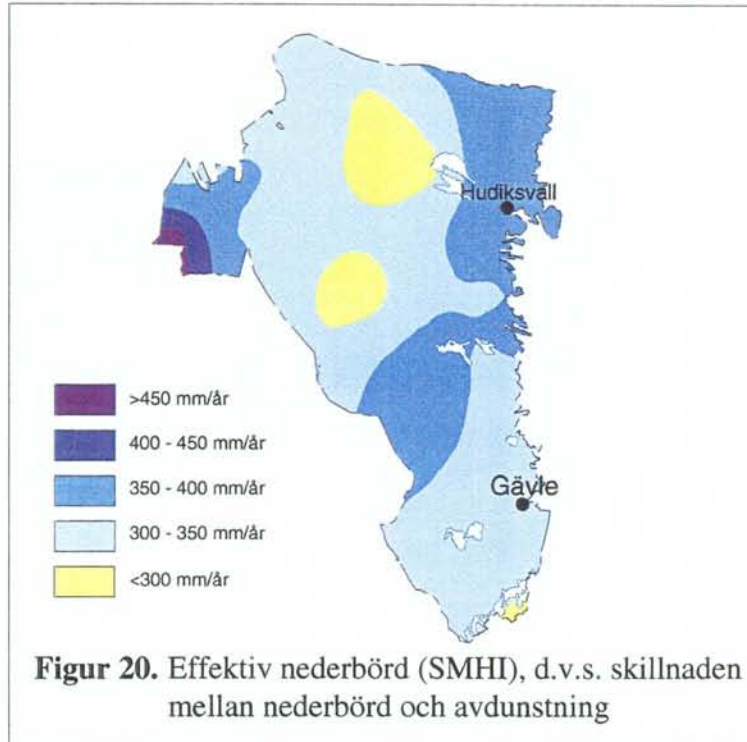
Den ytliga grundvattenströmningen i jordlagren och berggrundens övre delar styrs till största delen av de lokala topografiska förhållandena, se Figur 21 /47/. Uppehållstiden för grundvattnet är kort, innan utströmning sker till lågpunkter i terrängen som våtmarker, källor och recipienter. Den djupare 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 Gävleborgs län är stora, se Figur 12, med en högsta marknivå 706 m.ö.h. Höjdområdena i de västra delarna av länet 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 låglänta delarna närmast kusten där de långväga strömbanorna i stället blir uppåtriktade. Utströmningen av grundvatten sker i första hand till större vattendrag och sjöar samt till Bottenhavet.

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 strandnivån förskjuts utåt, s.k. strandförskjutning. Strandförskjutningen är idag i länets södra del 0,6 m/100 år och i norra delen ca 0,75 m/100 år.

Länets sjöar, vattendrag och avrinningsområden med tillhörande vattendelare framgår av Figur 22 /48/. Avrinningsområdena delas in i huvudavrinningsområden och biflödenas avrinningsområden. Huvudavrinningsområden har sin utloppspunkt i havet och är större än 200 km². Biflödenas avrinningsområden är större än 1000 km² och har sin utloppspunkt i ett större vattendrag. Av Figur 22 framgår att i en betydande del av Gävleborgs län sker ytvattnets avrinning via Ljusnan. Andra vattendrag med stora avrinningsområden är Dalälven, Gavleån och Testeboån i söder samt Delångersån och Harmångersån i de norra delarna av länet. Grundvattnets lokala och regionala strömning följer i huvudsak ytvattnets avrinningsvägar. Det kan dock inte uteslutas att grundvatten som bildas i höjdområden utanför länet, utbildar djupa, långa strömbanor som avviker från det regionala avrinningsmönstret, d.v.s. som skär huvudvattendelarna.



Grundvattentillgångar

Grundvattentillgångar av regional betydelse i Gävleborgs län återfinns i de stora stråken med isälvsavlagringar, t.ex. Voxnanåsen, Ljusnanåsen och Hudiksvallsåsen /47/. Genom att stora grundvattenmängder kan lagras och transporteras i isälvsavlagringarna, har dessa fått stor betydelse för den kommunala vattenförsörjningen i länet. I Figur 22 redovisas bedömda grundvattentillgångar i åsarna enligt SGUs grundvattenkarta över Sverige /47/. De avsnitt som bedöms ha uttagsmöjligheter överstigande 25 l/s utgör i allmänhet viktiga regionala tillgångar. Övriga åsavsnitt utgör på flera håll viktiga tillgångar för den kommunala vattenförsörjningen 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 genomsläpplighet

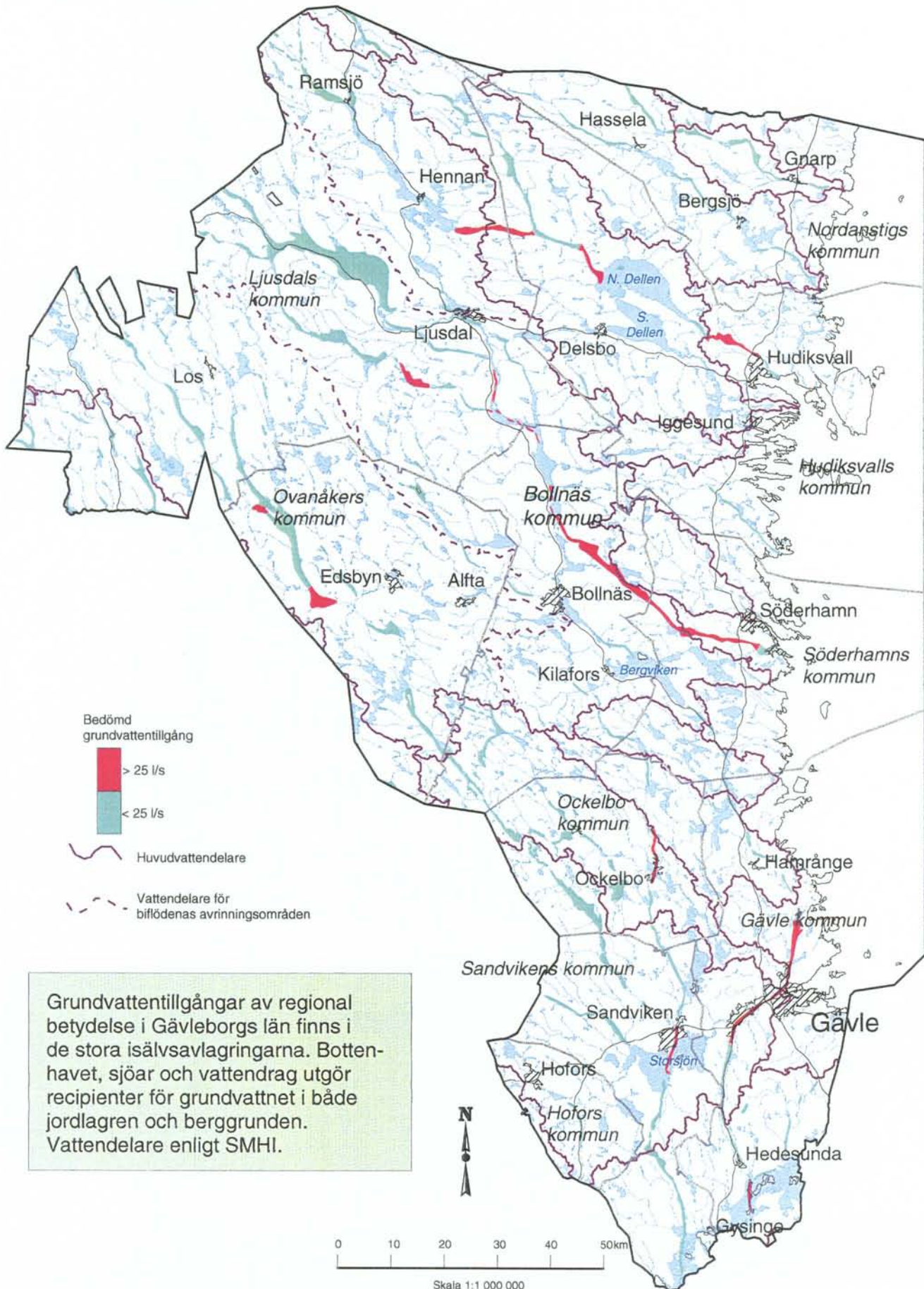
Berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Gävleborgs län har beräknats /49/ med hjälp av uppgifter om brunnsdjup, avsänkning och uttagskapacitet från ca 3800 brunnar i SGUs brunnsarkiv. Data från sedimentära bergarter har inte tagits med. Den beräknade hydrauliska konduktiviteten för brunnarna varierar i allmänhet mellan 10^{-6} och 10^{-8} m/s. Medianvärde för beräknat K är $4,9 \times 10^{-8}$ m/s. Vid beräkningen har brunnar med mindre djup än 20 m i den kristallina berggrunden samt brunnar med större totaldjup 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 genomsläpplighet i dessa områden. Beräknade värden bedöms vara representativa för berggrundens genomsläpplighet ned till ca 100 m djup.

Berggrundens hydrauliska konduktivitet har, baserat på en geostatistisk analys, interpolerats över länet, se Figur 23. Resultatet visar de regionala skillnaderna i genomsläpplighet. Lägst värden erhålls i de nordöstra delarna av länet. Lokalt kan dock variationerna vara stora, främst beroende på om vattenförande sprickzoner påträffats vid brunnsborrningen. Av figuren framgår därför även läget för samtliga registrerade brunnar i länet med en bedömd uttagskapacitet överstigande 10 000 l/tim (145 st).

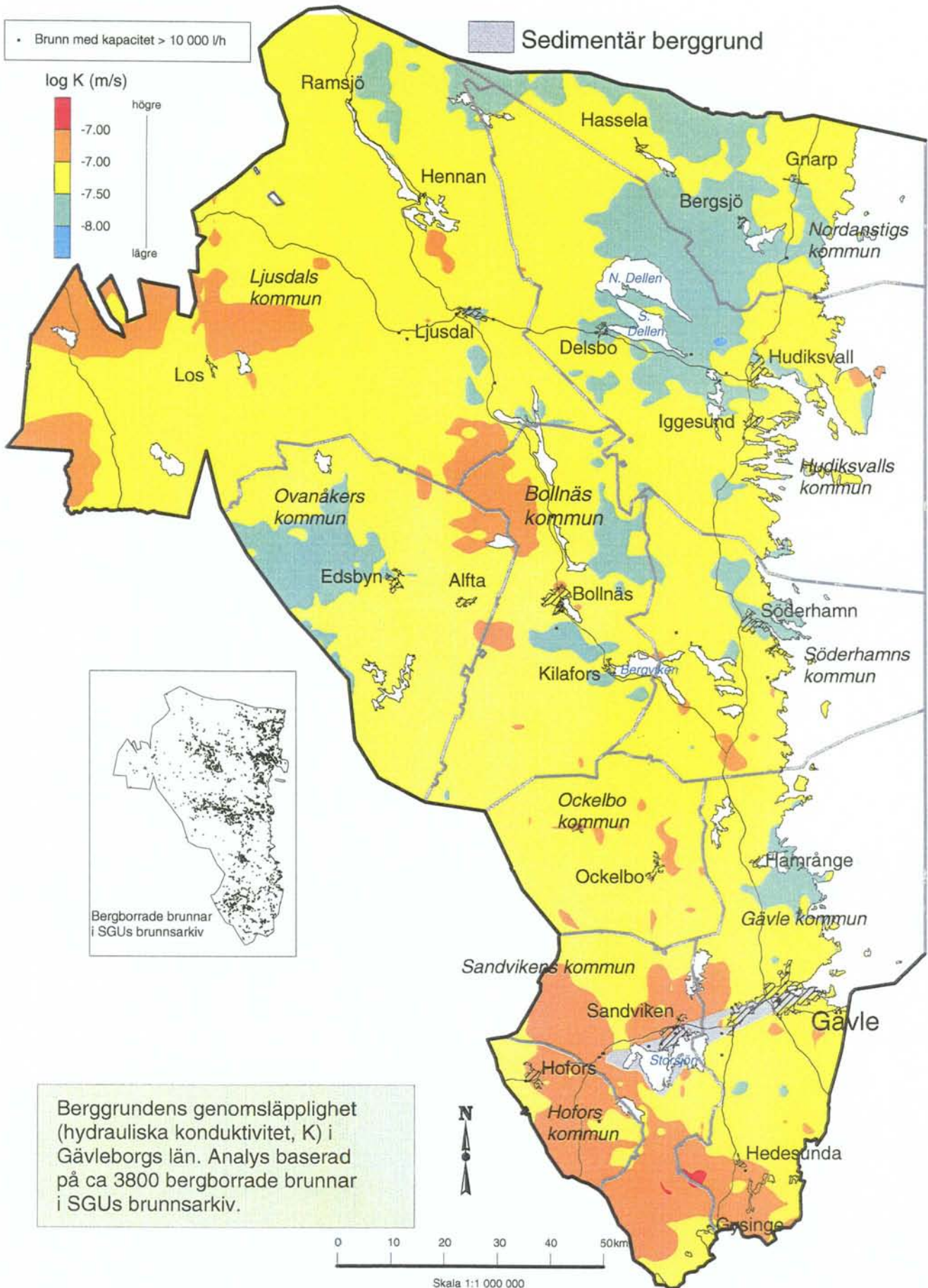
Erfarenheter från borrhålsundersökningar visar att genomsläppligheten i den kristallina berggrunden avtar med djupet /50/. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet mellan nivån 100 m och 500 m under markytan kan uppgå till flera tiopotenser, vilket har stor betydelse för grundvattnets uppehållstid och strömningsvägar. 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 genomsläpplighet än omgivande berggrund.

Grundvattnets kemi

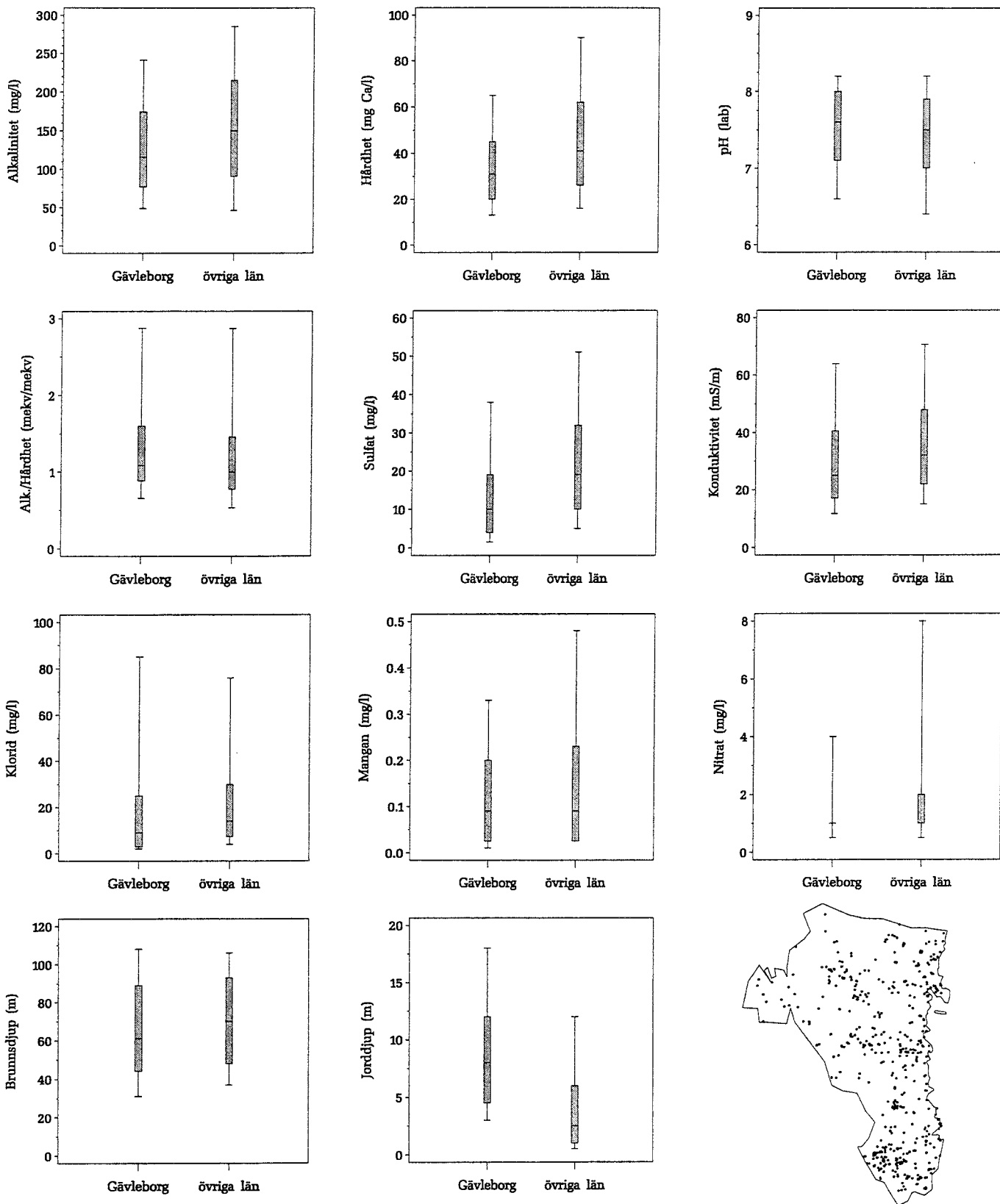
Beskrivningen av grundvattnets kemiska status baseras på en jämförelse mellan ca 500 bergbore brunnar i Gävleborgs län och ca 10 000 brunnar från övriga delen av landet /5/, se Figur 24. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. Den



Figur 22. Grundvattentillgångar och huvudvattendelare i Gävleborgs län



Figur 23. Berggrundens genomsläpplighet i Gävleborgs län (sammanställning juni 1997)



Antal analyser i Gävleborgs län och övriga delen av landet:

| | HCO ₃ | Hårdhet | pH | HCO ₃ /Hårdhet | SO ₄ | Konduktivitet | Cl | Mn | NO ₃ | Jorddjup | Brunnsdjup |
|------------|------------------|---------|-------|---------------------------|-----------------|---------------|-------|------|-----------------|----------|------------|
| Gävleborg | 558 | 553 | 558 | 553 | 522 | 436 | 539 | 374 | 347 | 335 | 559 |
| Övriga län | 11189 | 10515 | 11512 | 10496 | 6668 | 8830 | 10261 | 9044 | 8408 | 8059 | 11526 |

Figur 24. Grundvattnets kemi samt brunnsdjup och jorddjup för bergborrade brunnar i Gävleborgs 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.

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 totalhårdhet (Ca + Mg), alkalinitet och konduktivitet har något lägre värden i Gävleborgs län än i övriga landet medan pH är något högre. Kvoten mellan alkalinitet och totalhårdhet är högre än riksgenomsnittet 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. Liten försurningspåverkan kan vara en förklaring till de höga pH-värdena. Förhållandevis låga nitrathalter i länet kan förklaras av att tämligen små områden utgörs av jordbruksmark.

Kloridhalterna är något lägre än i övriga län (se även Figur 7 i inledningen). Låga kloridhalter är typiska för höglänta områden medan höga halter är typiska för låglänta områden under högsta kustlinjen (HK, se röd linje på Figur 7), där relict saltvatten är vanligt förekommande. Förhöjda kloridhalter vid uttag av grundvatten i kustnära områden kan också orsakas av inträngning av salt vatten i kustnära områden. Den högsta kloridhalten som uppmätts i bergborrade brunnar i länet uppgår till 2340 mg/l att jämföra med Östersjön och världshaven som har halter omkring 4000 respektive 20000 mg/l. Sannolikt styrs förekomsten av relict 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 lågområden, vilket påverkar takten av "ursköljning" av det salta vattnet med sött grundvatten. De topografiska förhållandena i Gävleborgs län varierar med flack terräng under högsta kustlinjen i de kustnära delarna och betydligt mer höglänt och kuperad terräng i övriga delar av länet.

Grundvattnet i länet bedöms i allmänhet ej vara aggressivt med hänsyn till höga pH-värden, hög totalhårdhet samt en tämligen hög alkalinitet i förhållande till sulfathalten.

Brunnsdjupet är något mindre än i övriga län vilket kan bidra till att förklara de lägre kloridhalterna.

Jorrdjupet är större än i övriga län vilket kan bidra till höga pH-värden. Jorrdjupen i länet borde också resultera i höga värden hos alkalinitet, totalhårdhet och konduktivitet vilket inte är fallet. Norra delen av Sverige har allmänt jonsvagt grundvatten vilket bl.a. kan vara ett resultat av kort omsättningstid hos grundvattnet och stor grundvattenbildning. Stora delar av länet befinner sig också över högsta kustlinjen vilket kan bidra till lägre jonstyrka hos grundvattnet.

9 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar

Sammanfattande slutsatser

Berggrunden i Gävleborgs län utgörs huvudsakligen av omvandlade äldre (ca 1890-1840 miljoner år) djupbergarter, s.k. metagranitoider. Detta gäller framför allt i de centrala delarna av länet. I de mer perifera delarna förekommer även metasedimentära bergarter och metavulkaniter (ca 1900-1870 miljoner år) samt yngre (ca 1800, 1700 och 1500 miljoner år) graniter. Även gångbergarter av diabas förekommer i dessa områden. De dominerande bergarterna är generellt sett gynnsamma ur säkerhets- och byggnadsteknisk synpunkt. Större massiv av yngre granit och metasedimentära bergarter kan utgöra en lämplig värdbergart för ett djup-

förvar medan metavulkaniska bergarter och diabasgångar är generellt sett olämpliga. Utöver ovan nämnda bergarter återfinns i länet vissa i Sverige mindre vanliga bergarter exempelvis yngre (ca 1800-1700 miljoner år) vulkaniter i väster och Jotnisk sandsten väster om Gävle. Nämnas kan också de bergarter som bildats vid ett meteoritnedslag vid Dellensjöarna.

Berggrundens homogenitet varierar och bergarterna är sällan helt homogena över större områden. Inhomogeniteter förekommer i form av t.ex. gångbergarter, inneslutningar och sprickor. Inhomogen berggrund kan framför allt förväntas i de södra och västra länsdelarna samt i de norra kustkommunerna.

Inom Gävleborgs län finns betydande områden med hög potential med avseende på *mineral- och bergartsresurser*. Detta gäller främst inom Gävle, Sandviken och Hofors kommuner samt i ett stråk från Hamrånge i sydost via Edsbyn till Los i nordväst. Den sydligaste delen av länet tillhör för övrigt Mellansveriges malmprovins och prospekteringsaktiviteten är hög. Malmerna utgörs av järnmalm, dels av en typ som är knuten till metavulkaniter och kristallin karbonatsten, dels av en titan- och vanadinrik typ som är knuten till basiska djupbergarter. Sulfidmalmer (kopparmalmer, komplexa malmer med varierande proportioner av koppar, zink, bly, silver och guld, kobolt-nickelmalmer m.m.) är i söder knutna till järnmalmerna men i väster även till metasedimentära bergarter. I Losområdet förekommer malmer i basiska metavulkaniter. I Enåsen, nordväst om Ramsjö, bröts en guldmalm fram till 1991. Av icke-metalliska mineralresurser finns i första hand grafit och en sådan fyndighet bryts vid Kringeltjärn VNV om Edsbyn. Nyttosten har tillvaratagits i måttlig omfattning.

Plastiska skjuvzoner med i huvudsak två riktningar, VNV och NO, uppträder i länet. Därutöver finns längst i väster två skjuvzoner med NNV-lig strykning. Den viktigaste av dessa, den s.k. Storjön-Edsbyn-zonen, går från området norr om Edsbyn mot NNV ut ur länet och sträcker sig upp till Storsjön i Jämtland. De VNV-liga plastiska skjuvzonerna söder om Gävle utgör den nordvästra förlängningen av Singö-skjuvzonen i Uppland som också är en av de mera betydande skjuvzonerna i Sverige. *Sprickzoner* uppträder i ett komplext mönster med dominerande riktningar VNV till NNV, ONO till O-V, NO samt, främst längs kusten, N-S. Större koncentrationer av sprickzoner återfinns söder om Ockelbo, väster om Söderhamn och vid Hennan. Vissa sprickzoner har varit aktiva senare än för ca 250 miljoner år sedan vilket i ett geologisk perspektiv är att betrakta som unga rörelser. De sprickzoner som genomkorsar bergarter bildade vid meteoritnedslaget i Dellenområdet är yngre än de ca 89 miljoner år som dessa bergarter daterats till.

Bland *jordarterna* har morän stor utbredning i länet. Isälvsediment i form av åsar och deltan är vanliga i de stora dalgångarna. I låglandet, under högsta kustlinjen, samt i de breda dalgångarna förekommer finkorniga sediment som silt och lera. Blottningsgraden är måttlig till hög i länets nordöstra del, annars måttlig till låg. Jordtäckets mäktighet är liten, mindre än 10 m, inom vissa områden längs kusten samt i Losområdet. Stora jorddjup, större än 20 m, är kända från länets centrala delar, från Hassela i norr till Sandviken i söder samt i ett stråk från Delsbo mot nordväst till Ramsjö. I övrigt är mäktigheten 10-20 m.

Gävleborgs län berörs av det bälte längs med norrlandskusten där *jordskalv* förekommer mer frekvent. I de östra och centrala (norr om Bollnäs) delarna av länet är frekvensen av registrerade jordskalv följaktligen något förhöjd. Bortsett från dessa jordskalv har i samband med SGUs geologiska kartläggning inga observationer gjorts som indikerar att några *sen- eller postglaciala rörelser* skett. De störningar som noterats i jordlagren har tolkats som orsakade av processer relaterade till inlandsisens avsmältning som inte beror på rörelser i jordskorpan. Emellertid har Bodagrottorna vid Iggesund tolkats av vissa forskare som orsakade av post-

glaciala rörelser. *Landhöjningen*, eller egentligen strandförskjutningen som betecknar samspillet mellan landets höjning och havsytans höjning eller sänkning, uppgår idag till 0,6 m per 100 år i söder och 0,75 m per 100 år i norr.

Ur *hydrogeologisk synvinkel* kan konstateras att berggrundens genomsläpplighet i Gävleborgs län visar på normala förhållanden, d.v.s. stora lokala variationer och mindre regionala skillnader. De lägsta värdena har erhållits i de nordöstra delarna av länet och de högsta värdena norr om Los samt söder om Sandviken. Grundvattnets djupa, långa strömbanor utbildas i höjdområdena i västra delen av länet. Utströmning sker i första hand till större vattendrag och sjöar samt till Bottenhavet. Stora höjdskillnader i länet medför att grundvattnets flödes hastighet ökar och att omsättningstiden blir jämförelsevis kort. Grundvattentillgångar av regional betydelse i länet återfinns i stråken med isälvsavlagringar. Grundvattnets kemiska sammansättning är i stort sett normal jämfört med övriga län. De avvikelser som påvisats indikerar att förurningspåverkan och inverkan från det tämligen begränsade jordbruket är liten.

Områden lämpliga för vidare undersökning

Ett område med potentiellt gynnsamma geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar av använt kärnbränsle karakteriseras 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- eller 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 iakttagas vid en lokalisering av ett djupförvar till ett seismiskt mer aktivt område.

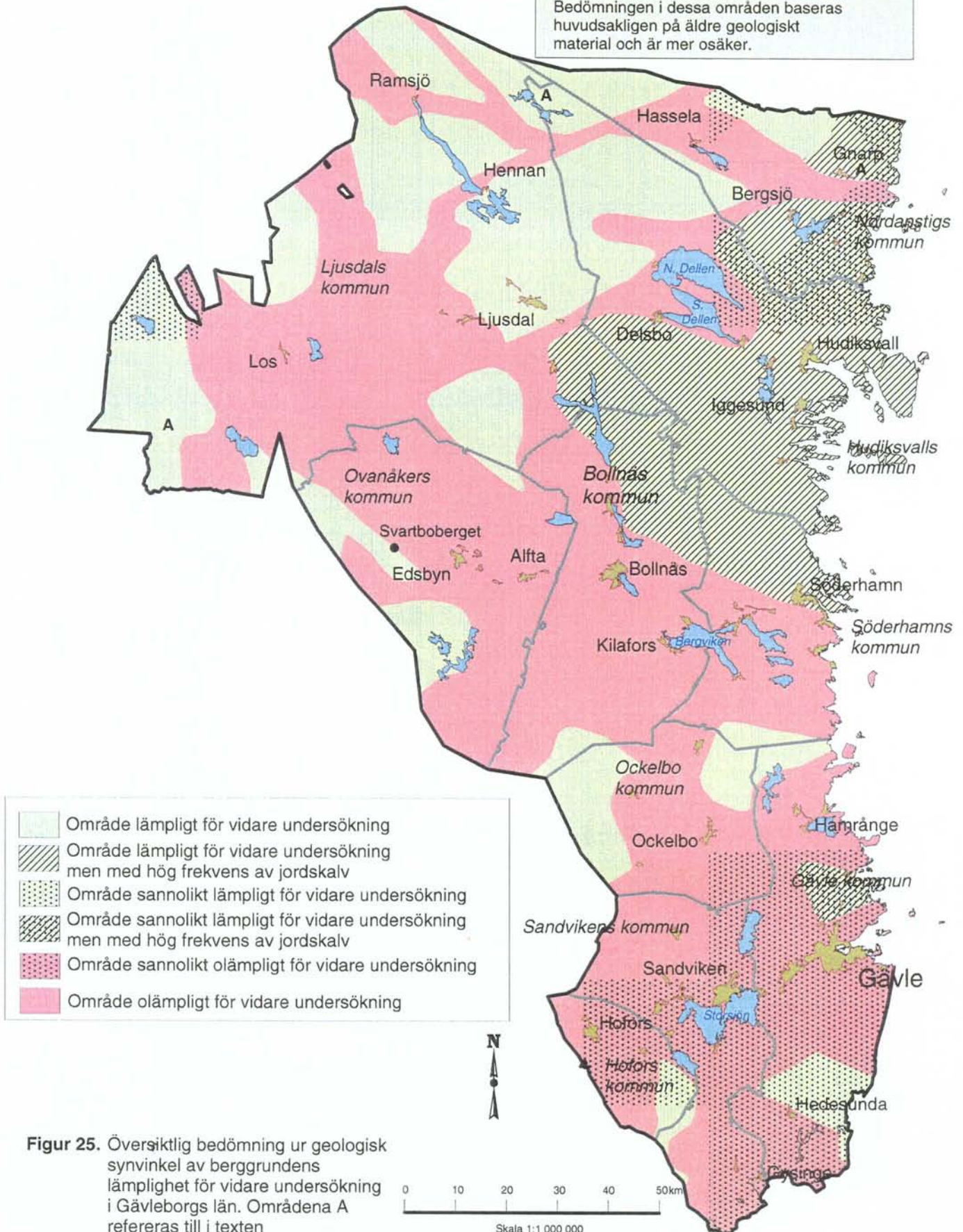
Områden som uppfyller dessa villkor återfinns inom stora domäner mellan de plastiska skjuvzonerna samt relativt opåverkade tektoniska linser inom de större skjuvzonerna. Dessa domäner och linser genomkorsas dock av uthålliga sprickzoner som också måste undvikas. Detta innebär att de mest gynnsamma områdena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

En första översiktlig bedömning av var sådana områden kan finnas ges i Figur 25. 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 slutgiltigt identifiera berggrundsblock som uppfyller ovannämnda förutsättningar och andra krav som ställs på ett djupförvar. Generellt kan konstateras att frekvensen jordskalv är förhöjd i de östra delarna av länet. Utöver dessa jordskalv har inga tecken på andra sen- eller postglaciala rörelser i berggrunden observerats vid SGUs kartläggning av länet. Dock hävdar vissa forskare att sådana rörelser har förekommit. Jordtäcket sammansättning och mäktighet samt

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

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.



Figur 25. Översiktlig bedömning ur geologisk synvinkel av berggrundens lämplighet för vidare undersökning i Gävleborgs län. Områdena A refereras till i texten

0 10 20 30 40 50km
Skala 1:1 000 000

de hydrogeologiska förhållandena har inte i denna skala legat till grund för att gradera områden med olika geologiska förutsättningar.

Gävleborgs län har, ur geologisk synvinkel, indelats i områden som bedöms olämpliga, sannolikt olämpliga, sannolikt lämpliga respektive lämpliga för vidare studier med syfte att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle, se Figur 25. Områden som har bedömts vara lämpliga eller sannolikt lämpliga för vidare studier men visar en förhöjd frekvens av registrerade jordskalv har också urskiljts, se Figur 25. I de 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 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. Någon rangordning mellan intressanta områden är inte möjlig på befintlig material.

De områden som ur geologisk synvinkel bedömts vara **olämpliga** eller **sannolikt olämpliga** för vidare undersökning är följande:

- Ett antal områden i södra, sydvästra och västra delen av länet som är eller kan förväntas bli aktuella för mineralprospektering och som innehåller stora volymer av äldre metavulkaniska bergarter. Plastiska skjuvzoner förekommer också i dessa områden.
- Flera relativt smala områden längs med plastiska skjuvzoner i norra delen av länet. Många av dessa områden är dessutom av intresse ur prospekteringssynpunkt.
- Området runt Dellensjöarna som enligt gängse tolkning är platsen för ett större meteoritnedslag för ca 89 miljoner år sedan.

Ett tiotal större områden som tillsammans dock utgör en mindre del av länets yta har tolkats som **lämpliga** eller **sannolikt lämpliga** för vidare undersökning. Områdena återfinns i länets norra del som domineras av metagranitoider, norr och nordväst om Los i yngre graniter, längst i väster i yngre vulkaniter och graniter samt i söder i metagranitoider, metasedimentära bergarter och yngre graniter. Regionalt betydande plastiska deformationszoner har inte kunnat påvisas i dessa områden och bergarterna är inte intressanta ur prospekteringssynpunkt. Som tidigare påpekats är det berggrundsblocken mellan de uthålliga sprickzonerna och stråken av isälvsavlagringar i dessa områden som kan bli aktuella för lokalisering av ett djupförvar

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

- Den relativt höga frekvensen av diabasgångar och lagergångar i de västra och norra delarna av länet (A i Figur 25) och de problem som detta kan medföra i form av inhomogen berggrund och ökad vattengenomsläpplighet längs kontakterna till dessa gångar.
- De stora höjdskillnaderna i länet i sin helhet som medför att grundvattnets flödes hastighet ökar och att omsättningstiden blir jämförelsevis kort.
- Berggrundens homogenitet bör noggrant studeras inom alla de områden som eventuellt blir föremål för fortsatta undersökningar.

- Slutligen bör, om vidare studier skulle bli aktuella i något av de områdena som visar en förhöjd frekvens av registrerade jordskalv, kompletterande studier göras avseende jordskalvens betydelse för ett djupförvar.

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. 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.

10 **Referenser**

- 1 **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.
- 2 **Stephens, M.B., Wahlgren, C.-H. & Weihed, P., 1994:** Karta över Sveriges berggrund, skala 1:3 000 000. Sveriges geologiska undersökning, Ba 51.
- 3 **Jonasson, C., 1996:** Landet. *I:* S. Helmfrid (red.), *Sveriges Geografi*. — Sveriges Nationalatlas, 16-41.
- 4 **Aastrup, M., Engqvist, P., Müllern, C.-F. & Söderholm, H., 1994:** Grundvattnet. *I:* C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 154-171.
- 5 **Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. & Berntell, A., 1995:** Grundvattnets kemi i Sverige. Naturvårdsverket, rapport 4415, 1-52.
- 6 **Lundqvist, T., Bygghammar, B., Stephens, M.B., Beckholmen, M. & Norling, E., 1994:** Sveriges berggrund i skala 1:1 250 000. *I:* C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas.
- 7 **Lundegårdh, P.H., 1967:** Berggrunden i Gävleborgs län. Sveriges geologiska undersökning, Ba 22, 1-303.
- 8 **Sjöblom, B., Lundqvist, T. & Aaro, S., 1987:** Berggrundskartorna 15 E Älvho, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 19-22.
- 9 **Delin, H., 1989:** Berggrundskartorna 16 G Ljusdal, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 33-36.
- 10 **Kresten, P., Aaro, S. & Karis, L., 1991:** Berggrundskartorna 14 F Rättvik, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 46-49.
- 11 **Delin, H. & Aaro, S., 1992:** Berggrundskartorna 16 F Kårböle, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 56-59.
- 12 **Delin, H. & Aaro, S., 1995:** Berggrundskartan 17F Ånge SO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 83.
- 13 **Delin, H. & Aaro, S., 1995:** Berggrundskartan 17F Ånge SV, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 82.
- 14 **Sukotjo, S., 1995:** Berggrundskartorna 14 H Söderhamn NV/NO och SV/SO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 27-28.
- 15 **Sukotjo, S., 1995:** Berggrundskartorna 15 H Hudiksvall NV, NO och SV/SO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 64-66.

- 16 **Asklund, B. & Sandegren, R., 1934:** Beskrivning till kartbladet Storvik. Sveriges geologiska undersökning, Aa 176, 1-150.
- 17 **Sandegren, R., Asklund, B. & Westergård, A.H., 1939:** Beskrivning till kartbladet Gävle. Sveriges geologiska undersökning, Aa 178, 1-143.
- 18 **Sandegren, R. & Asklund, B., 1943:** Beskrivning till kartbladet Horndal. Sveriges geologiska undersökning, Aa 185, 1-106.
- 19 **Sandegren, R. & Asklund, B., 1946:** Beskrivning till kartbladet Möklinta. Sveriges geologiska undersökning, Aa 186, 1-99.
- 20 **Sandegren, R. & Asklund, B., 1948:** Beskrivning till kartbladet Söderfors. Sveriges geologiska undersökning, Aa 190, 1-91.
- 21 **Sandegren, R. & Lundegårdh, P.H., 1949:** Beskrivning till kartbladet Untra. Sveriges geologiska undersökning, Aa 191, 1-106.
- 22 **Gorbatshev, R., 1967:** Petrology of the Jotnian rocks in the Gävle area, east central Sweden. Sveriges geologiska undersökning, C 621, 1-50.
- 23 **Lundqvist, T., 1968:** Precambrian geology of the Los-Hamra region, central Sweden. Sveriges geologiska undersökning, Ba 23, 1-255.
- 24 **Andersson, U.B., 1997:** The sub-Jotnian granite complex at Gävle, Sweden. GFF 119, 157-165.
- 25 **Deutsch, A., Buhl, D. & Langenhorst, F., 1992:** On the significance of crater ages: new ages for Dellen (Sweden) and Araguainha (Brazil). Tectonophysics 216, 205-218.
- 26 **Pettersson, E. & Neyman, T., 1980:** Berg och malm i Gävleborgs län. Statens industriverk PM 1980:19, 1-252.
- 27 **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.
- 28 **Snäll, S., 1994:** Inventering av krossberg i kustregionen i Gävleborgs län. Regionala inventeringar av grus m.m. Rapport 1996:1. Sveriges geologiska undersökning, 1-79.
- 29 **Frietsch, R. & Shaikh, N.A., 1979:** Malmer, industriella mineral och bergarter i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ba 29 (karta, 1:2 000 000).
- 30 **Hallberg, A., 1994:** The Enåsen gold deposit, central Sweden: 1. A Palaeoproterozoic high-sulphidation epithermal gold mineralization. Mineralium Deposita 29, 150-162.

- 31 **Bergman, S. & Sjöström, H., 1994:** The Storsjön-Edsbyn deformation zone, central Sweden. Opublicerad FoU-rapport (SGU), 1-46.
- 32 **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.
- 33 **Lidmar-Bergström, K., 1994:** Berggrundens ytformer. I: C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 44-54.
- 34 **Lundqvist, G., 1963:** Beskrivning till jordartskarta över Gävleborgs län. Sveriges geologiska undersökning, Ca 42, 1-181.
- 35 **Fredén, C., 1994:** Jordarterna. I: C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas, 104-119.
- 36 **Lundqvist, J., 1994:** Inlandsisens avsmältning. I: C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 124-135.
- 37 **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.
- 38 **Björnbom, S., 1979:** Clayey basal till in central and northern Sweden. A deposit from an old phase of the Würm glaciation. *Sveriges geologiska undersökning*, C 573, 1-62.
- 39 **Robertsson, A.-M., 1991:** The biostratigraphy of the Late Pleistocene in Sweden 150,000-15,000 B.P.-a. survey. *Striae* 34, 39-46.
- 40 **Lagerbäck, R., 1979:** Neotectonic structures in northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 263-269.
- 41 **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.
- 42 **Mörner, N.-A., 1978:** Faulting, fracturing, and seismicity as functions of glacioisostasy in Fennoscandia. *Geology* 6(1), 41-45.
- 43 **Mörner, N.-A., 1979:** Earth movements in Sweden, 20 000 BP to 20 000 AP. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 279-286.
- 44 **Mörner, N.-A., 1979:** The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence. *GeoJournal* 3.3, 287-318.
- 45 **Muir Wood, R., 1993:** A review of the seismotectonics of Sweden. SKB TR 93-13, 1-225.

- 46 **Sjöberg, R., 1994:** Bedrock caves and fractured rock surfaces in Sweden. Occurrence and origin. . Stockholm University, 110 s.
- 47 **SGU, 1994:** Grundvattnet i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ah 17 (karta, 1:1 miljon).
- 48 **SMHI, 1995:** Sveriges Vattensystem. I: B. Raab & H. Vedin (red.), *Klimat, sjöar och vattendrag*. — Sveriges Nationalatlas, 116-123.
- 49 **Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977:** Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock. *Nordic Hydrology* 8, 103-116.
- 50 **SKB, 1992:** SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten.

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 avvikelser.

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.

Finmör. 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 borrkärna erhålles (jfr diamantborrning). Det finkorniga material som bildas vid borrningen kallas borrkax. Kaxet kan studeras på olika sätt och ge information om berggrunden i borrhålet.

Klorit. Glimmerliknande, vanligen grönt, silikatmineral.

Koboltglans. Ett silvervitt kobolthaltigt sulfidmineral.

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.

Mikroclin. 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 orogenen

Pyroxen. Mineralgrupp med prismatisk kristallform.

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

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

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

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. förskiffning, sprickzon, bergartskontakt).

Stupning. Vinkel som en planstruktur (t.ex. förskiffning, 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 frigt material som sedan avsatts.

Syenit. Intermediär djupbergart som domineras av kalifältpat 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.