

Översiktsstudie av Västra Götalands län Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Johan Berglund*, Thomas Eliasson,
Jonas Gierup, Arne Hilldén, Lars-Kristian Stølen,
Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)
*GeoMap West

Juni 1999

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 västra Götalands län

Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Johan Berglund*, Thomas Eliasson,
Jonas Gierup, Arne Hilldén, Lars Kristian Stølen,
Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)
*GeoMap West

Juni 1999

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

i

1	Inledning	1
2	Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar	1
3	Västra Götalands län i ett regionalt geologiskt perspektiv	5
	Berggrundsgeologi	5
	Jordartsgeologi och jordskalv	7
	Hydrogeologi	7
4	Bergarter och berggrundens homogenitet	7
	Ytbergarter	7
	Djupbergarter	12
	Lagergång- och gångbergarter	17
	Berggrundens homogenitet	17
5	Mineral- och bergartsresurser	18
	Översikt över mineral- och bergartsresurser	18
	Metalliska mineralresurser	18
	Icke-metalliska mineralresurser	19
	Nyttosten	21
	Uran och oljeskiffer	21
	Pågående prospektering	22
	Potentiellt prospekteringsintressanta områden	22
6	Deformationszoner	22
	Definitioner och metodik	22
	Plastiska skjuvzoner	23
	Sprickzoner och förkastningar	28
	Deformationszoner i tid och rum	28
7	Jordarter, jorddjup samt sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan	29
	Isavsmältning och postglacial utveckling	29
	Jordartsfördelning och jorddjup	32
	Sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv	33
8	Hydrogeologi	38
	Grundvattnets bildning och strömning	38
	Grundvattentillgångar	40
	Berggrundens genomsläpplighet	40
	Grundvattnets kemi	43
9	Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar	45
	Sammanfattande slutsatser	45
	Områden lämpliga för vidare undersökning	46
10	Referenser	50

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 Västra Götalands län, se Figur 1.

Länsöversikten baseras på befintlig information i form av analoga eller digitala berggrundsgeologiska kartor, jordartskartor och tematiska kartor av olika slag samt beskrivningar till dessa kartor, se Figur 2, på andra publikationer och på opublicerat material. Digitala höjddata och flyggeofysisk information har använts framför allt för studier av deformationszoner, medan data från bland annat SGUs brunnarkiv nyttjats för studier av jordmäktighet, hydrogeologi och vattenkemi. I de följande kapitlen redovisas i detalj vilka data som använts för respektive delstudie. Flyggeofysiska data täcker större delen av länet medan modern berggrunds- och jordartsgeologisk information i skala 1:50 000 täcker mindre än hälften av området, se Figur 2. Omfattningen av länsöversikten har inte tillåtit hänsynstagande till detaljstudier i enskilda områden.

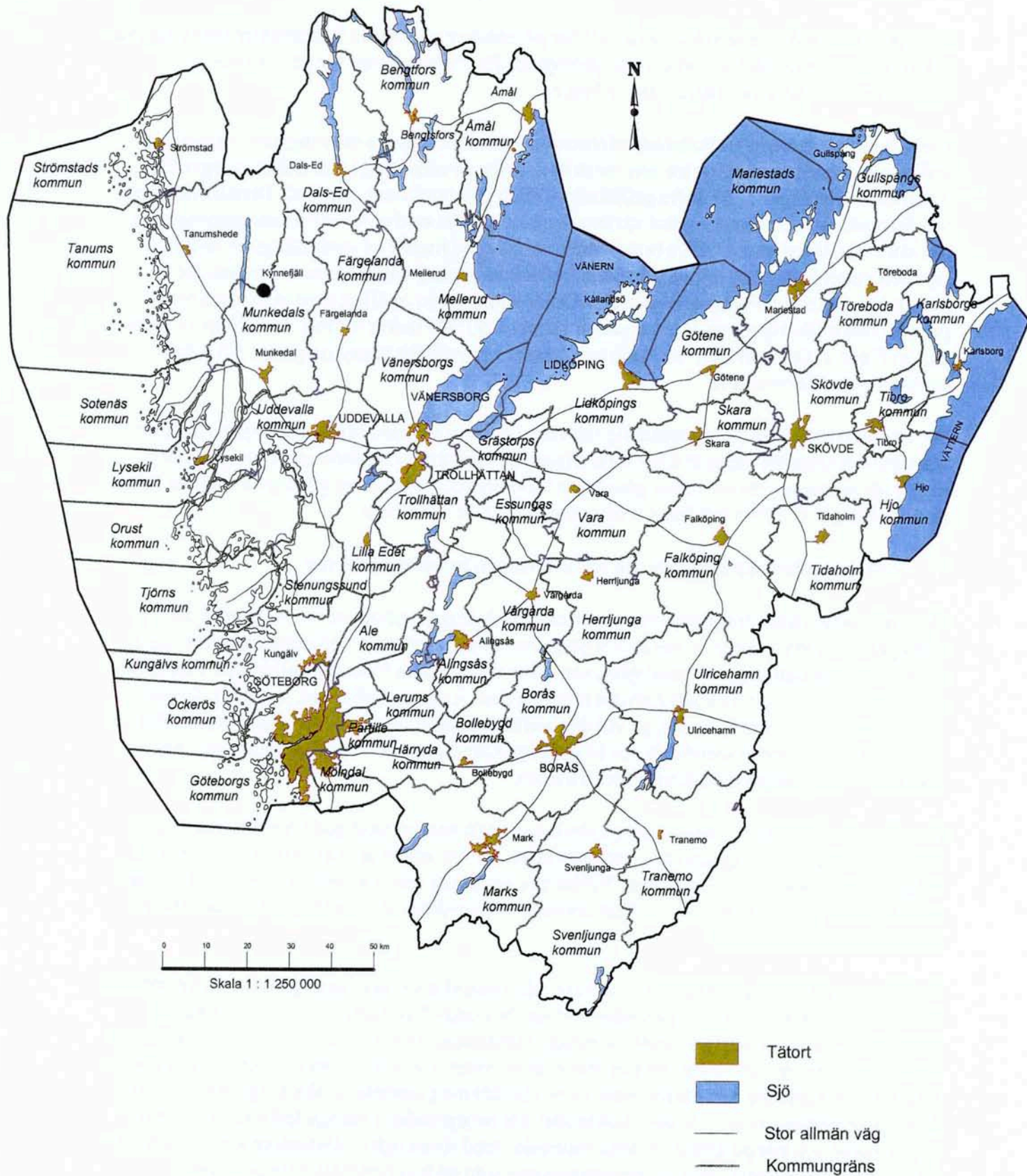
För att uppfylla kravet på vetenskaplig relevans kombinerad med rimlig förståelse för läsare utan geovetenskaplig bakgrund har förklaringar till facktermer inkluderats. Dels ges förklaringar till termerna i texten första gången de förekommer, dels har en geologisk ordlista bifogats, se Bilaga A. I flera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

2 Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar

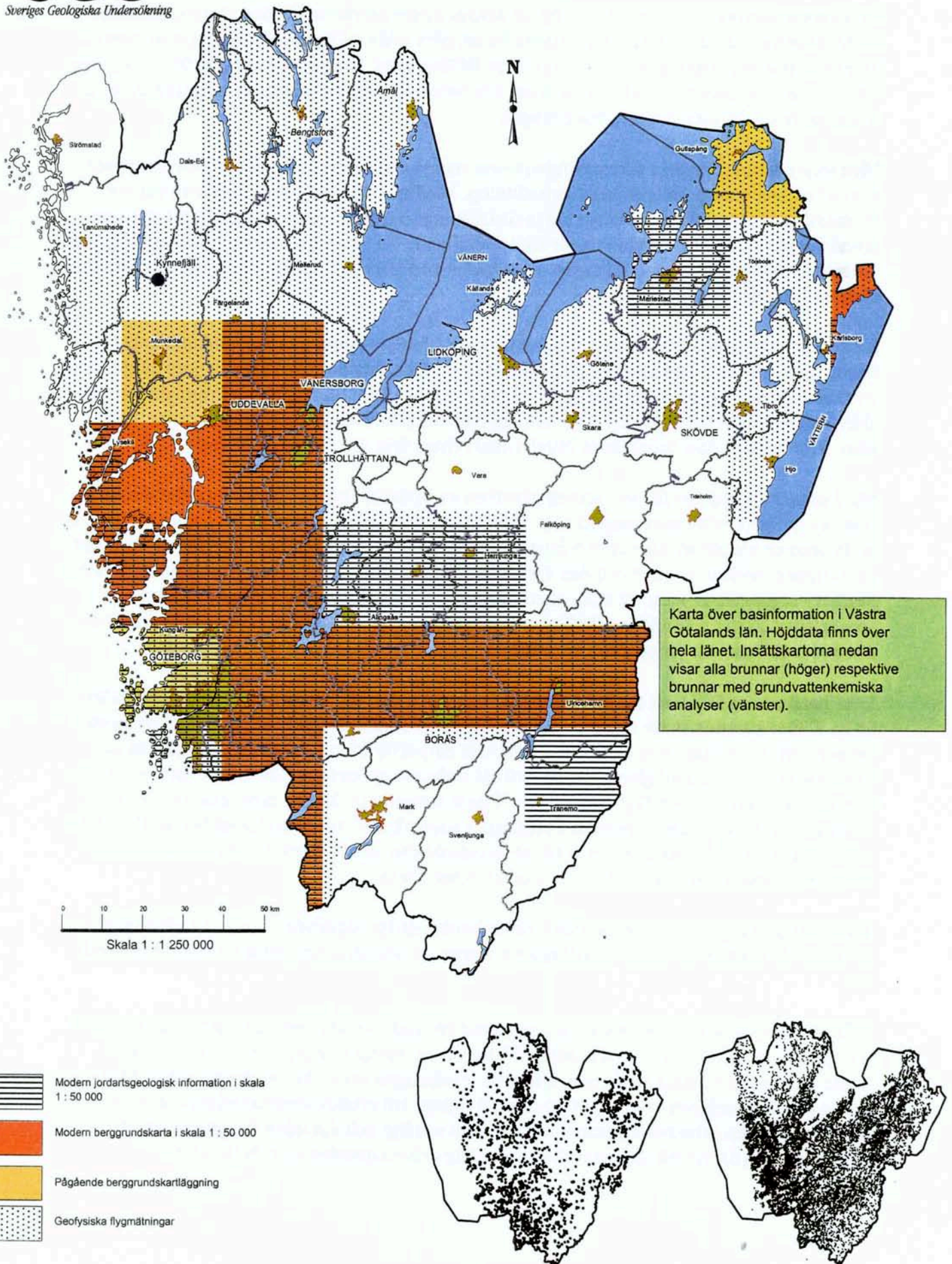
De geologiska lokaliseringsfaktorer som studerats är berggrundens sammansättning och homogenitet, förekomst av mineral och bergartsresurser, regionala deformationszoner, jordlagrens sammansättning och mäktighet, sen- eller postglaciala förkastningsrörelser i jordskorpan, landhöjning samt hydrogeologiska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

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

Uthålliga deformationszoner, som innefattar plastiska skjuvzoner samt spröda sprickzoner och förkastningar utefter vilka berggrunden rört sig, bör undvikas. Längs många zoner har de senaste rörelserna visserligen skett för många hundratals, ibland tiotals 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. Västra Götalands län med kommuner, tätorter, sjöar och större vägar. Typområde Kynnefjäll har markerats med en svart punkt.



Figur 2. Karta över basinformaion i Västra Götalands län

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

Jordskalv visar på förekomsten av momentana 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 innefattar 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 skalven sker är minst 100 m. Studier i andra länder visar att skalv med magnitud 6 eller större sker i kilometerlånga sprickzoner. Zoner med sådan uthållighet bör kunna identifieras vid platsundersökningar och därmed undvikas i ett djupförvars närområde.

Den databas som SGU har använt innehåller inga uppgifter om skalv med en magnitud större än ca 5. Om framtida skalv inte blir större än de skalv som inträffat i Sverige under historisk tid bör därför jordskalv inte ha någon avgörande betydelse för ett djupförvar. Samtidigt kan man inte bortse från möjligheten att en förhöjd frekvens av jordskalv även kan vara en indikation på förekomst av betydligt större skalv. Dessa större skalv kan ha skett med intervaller av många tusen år och därmed missats i tillgänglig statistik. En viss försiktighet bör därför iakttas 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 Västra Götalands län i ett regionalt geologiskt perspektiv

Berggrundsgeologi

Det kristallina urberget inom Västra Götalands län har bildats under en lång tidsperiod, för mellan ca 1900 och 900 miljoner år sedan, och är mycket varierande och komplext. Berggrunden tillhör den s.k. svekonorvegiska orogenen, se Figur 3 /2/, där bergskedjebildning med stark berggrundsomvandling, plastisk deformation och viss magmatisk aktivitet ägde rum för ca 1100 till 900 miljoner år sedan. Jordskorpan i Västsverige bildades och omvandlades, till stor del även förgnejsades, dock huvudsakligen för ca 1700–1590 miljoner år sedan i anslutning till den tidigare s.k. Gotiska bergskedjebildningen. Allra längst i öster förekommer bergarter som dominerar i den östra delen av Sverige och som bildats för ca 1900–1760 miljoner år sedan under den s.k. svekokarelska bergskedjebildningen, se Figur 3.

Större delen av länets berggrund utgörs av skilda typer av gnejser. Traditionellt har man därför benämnt urberget i sydvästra Sverige ”den sydvästsvenska gnejsregionen”. Berggrunden domineras av metagranitoider och ställvis metasedimentära och metavulkaniska bergarter. Prefixet ”meta“ betecknar att bergarten har genomgått stark omvandling (metamorfose). I den nordvästra delen av länet förekommer granit som är opåverkad av metamorfose och i den nordöstra delen olika djupbergarter vilka till största delen är massformiga eller måttligt förskiffrade. Djupbergarterna i den nordöstra delen av länet tillhör det s.k. Transskandinaviska magmatiska bältet som sträcker sig från sydöstra Sverige mot nordväst genom Småland, Värmland och Dalarna in i Norge, se Figur 3.

Längs Vätterns västra strand överlagras djupbergarterna av sedimentära bergarter som är ca 800–700 miljoner år gamla, den s.k. Visingsögruppen, se Figur 3. Västra Götalands karaktäristiska platåberg, se Figur 3, består av bevarade rester av ca 545–420 miljoner år gamla, fossilförande sedimentära bergarter samt underordnat, välbevarade magmatiska bergarter som är ca 280 miljoner år gamla.

Malmförekomster är huvudsakligen koncentrerade till den nordvästra delen (Dalsland) av länet som annars inte tillhör en av Sveriges malminressanta provinser. Däremot har brytning av nyttosten tidvis bedrivits i mycket stor omfattning i länet. Länets nordvästra del är idag det viktigaste kvartsitområdet i Sverige och ett antal fyndigheter utgör områden av riksintresse för landets materialförsörjning. Bohusgraniten samt de fanerozoiska bergarterna söder om Vänern har varit och är fortfarande av ekonomisk betydelse för utvinning av granit respektive kalksten.

Ett flertal plastiska skjuvzoner klipper länets berggrund i ungefärlig N-S-lig riktning och är av stor regional betydelse i sydvästra Sverige. De mest betydande zonerna eller system av zoner är från öster mot väster:

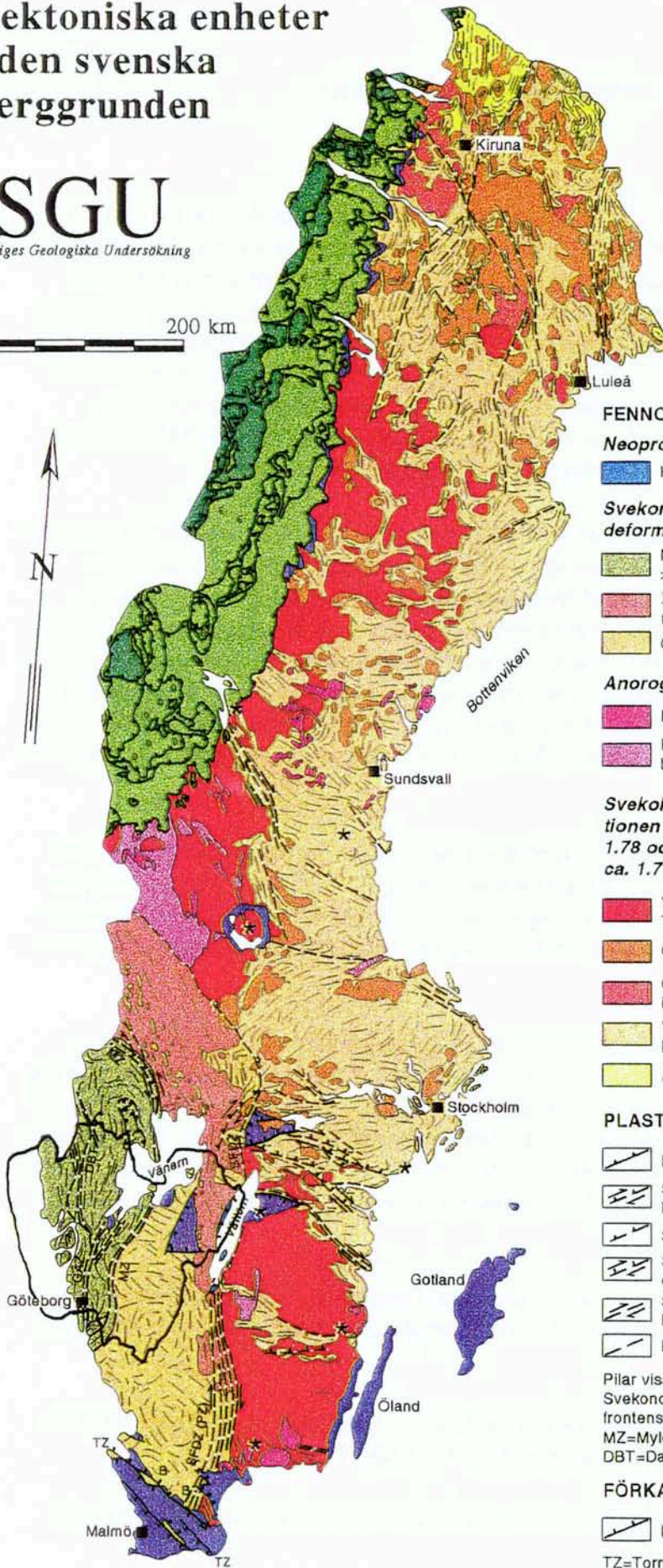
- flera smala zoner i ett bälte i den nordöstligaste delen av länet, den s.k. Svekonorvegiska frontens deformationszon eller Protoginzonen, SFDZ (PZ) i Figur 3.
- en bred zon i den centrala delen av länet, som löper från Vänern och vidare söderut, den s.k. Mylonitzonen, MZ i Figur 3.

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 basalkupper
- Underkambriskt alkalint magmatiskt komplex (Alnöen)
- Impaktstruktur

FENNOSKANDISKA SKÖLDEN

Neoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter

- Klastiska sedimentära bergarter

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

- Mellersta och västra segmentet (Inkluderande >ca. 1.56 Ga främmande 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 orogenen (senaste plastiska deformationen efter ca. 1.80 Ga i norra Sverige, mellan ca. 1.78 och 1.56 Ga i centrala södra Sverige, och mellan ca. 1.77 och 1.40 Ga i sydöstligaste Sverige)

- Vulkaniska och intrusiva bergarter tillhörande TMB* och Revsund-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)
- Arkeiska bergarter

PLASTISKA STRUKTURER

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

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

FÖRKASTNINGAR

- Normalförkastning
- TZ=Tornquistzonen

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

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

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

- ett komplext bälte av förgrenade zoner i den västra delen av länet som inkluderar de s.k. Göta Älv- och Dalslandszonerna, GÄZ respektive DBT i Figur 3.

Spröda deformationszoner (sprickzoner och förkastningar) följer ibland de plastiska zonerna, s.k. reaktivering, men bildar också egna system och korsar över äldre strukturer.

Jordartsgeologi och jordskalv

Västra Götalands län kan ur jordartsgeologisk synvinkel indelas i tre regioner, se Figur 4 /3/. Den västra delen av länet utgör ett sprickdalslandskap med kalt berg och tunna jordtäckten. Vänerområdet är flackt och har tämligen mäktiga sedimentlager. Israndbildningar utgör där ett markant inslag. De södra och östra delarna av länet domineras av morän. Västra Götalands län ligger inom ett bälte där jordskalv förekommer mer frekvent, se Figur 5.

Hydrogeologi

Landets grundvattentillgångar i jord och berg framgår av Figur 6 /4/ och kloridhalten i berggrundsvatten för hela Sverige redovisas i Figur 7 /5/. Grundvattenförhållandena styrs av de hydrologiska, topografiska och geologiska förhållandena. Västra Götalands län kännetecknas av en varierande topografi. De låglänta områdena söder om Väneren har en förhållandevis utslätad topografi med inslag av mäktiga leror. De andra delarna av länet har en mer kuperad landskapsbild med morän som dominerande jordarter i inlandet och tunt jordlager/kalt berg närmare kusten. Grundvattentillgångar för allmän vattenförsörjning återfinns i de stora sand- och grusavlagringarna. Berggrundsvattnet utgör en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

4 Bergarter och berggrundens homogenitet

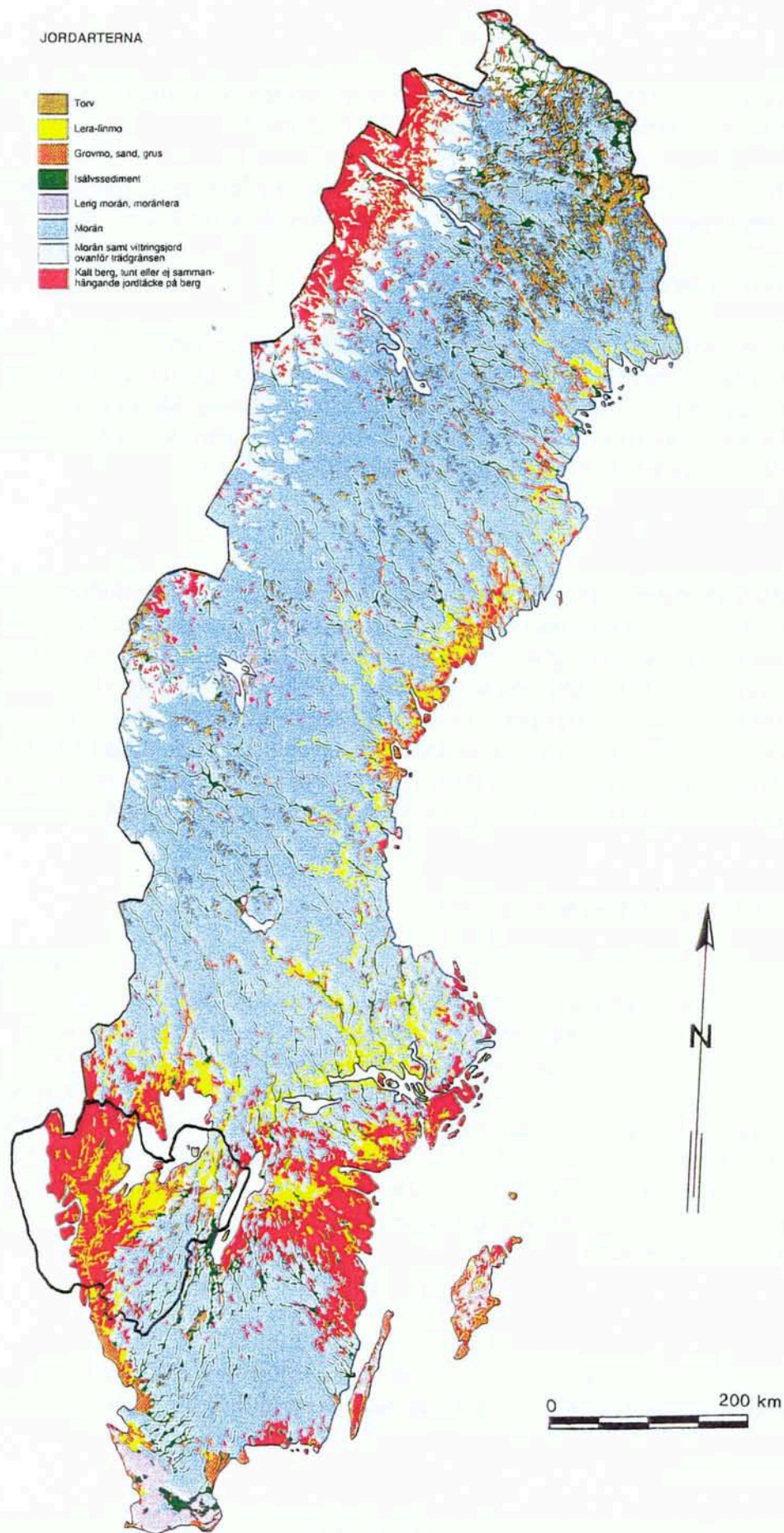
Berggrunden inom Västra Götalands län redovisas översiktligt på kartan i Figur 8 som är ett modifierat utdrag ur berggrundskartan presenterad av Lundqvist m.fl. /6/. Den följande beskrivningen bygger på information hämtad från de provisoriska översiktliga berggrundskartorna i skala 1:250 00, Borås /7/, Jönköping /8/, Uddevalla /9/ och Karlstad (pågående arbete av J. Berglund m.fl.) samt en översikt över malmer och industriella mineral och bergarter i Älvsborgs län /10/. Moderna berggrundskartor i skala 1:50 000 täcker delvis områden öster och norr om Göteborg /11, 12, 13, 14, 15, 16, 17/ samt pågående arbete av I. Lundqvist/, ett bälte åt öster mot Jönköping /18, 19, 20, 21/ samt ett område i den nordöstra delen av länet /22, 23/ samt pågående arbete av C.-H. Wahlgren/, se Figur 2. Fotografier på några av länets vanligaste bergarter visas i Figur 9.

Ytbergarter

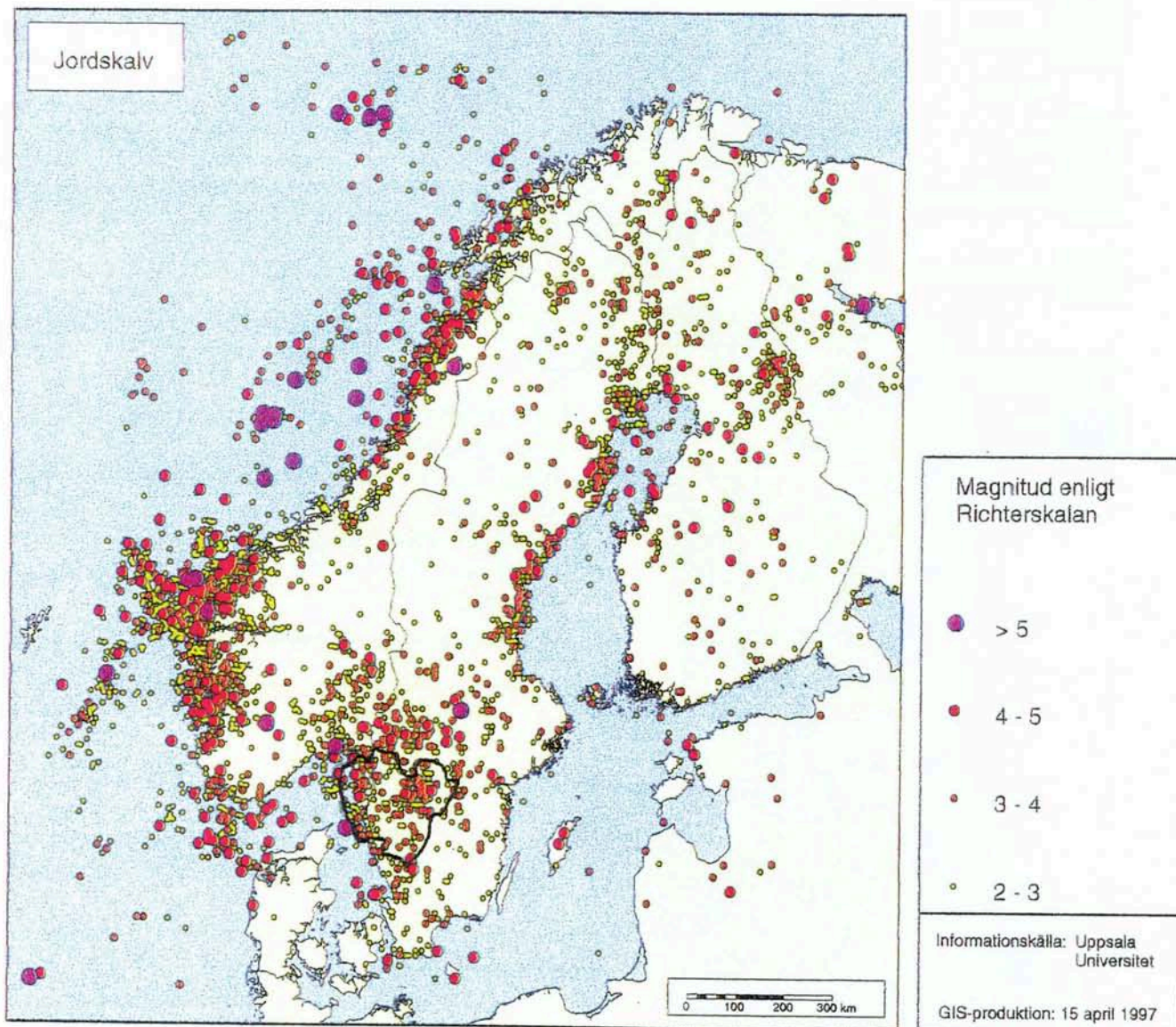
Ytbergarter från sex olika tidsperioder finns bevarade inom länet. Fem av dessa är prekambriskas avsättningar. Som framgår av Figur 8 är dock deras utbredning kraftigt varierande.

Prekambriskas ytbergarter

De äldsta ytbergarterna i länet påträffas i några små områden i det Transskandinaviska magmatiska bältet i den nordöstra delen av länet. Dessa består dels av ca 1900 miljoner år gamla

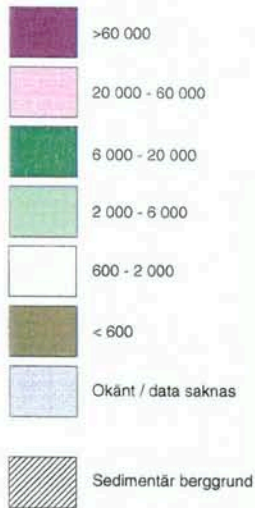


Figur 4. Jordartskarta över Sverige. Västra Götalands län är markerat med en svart linje

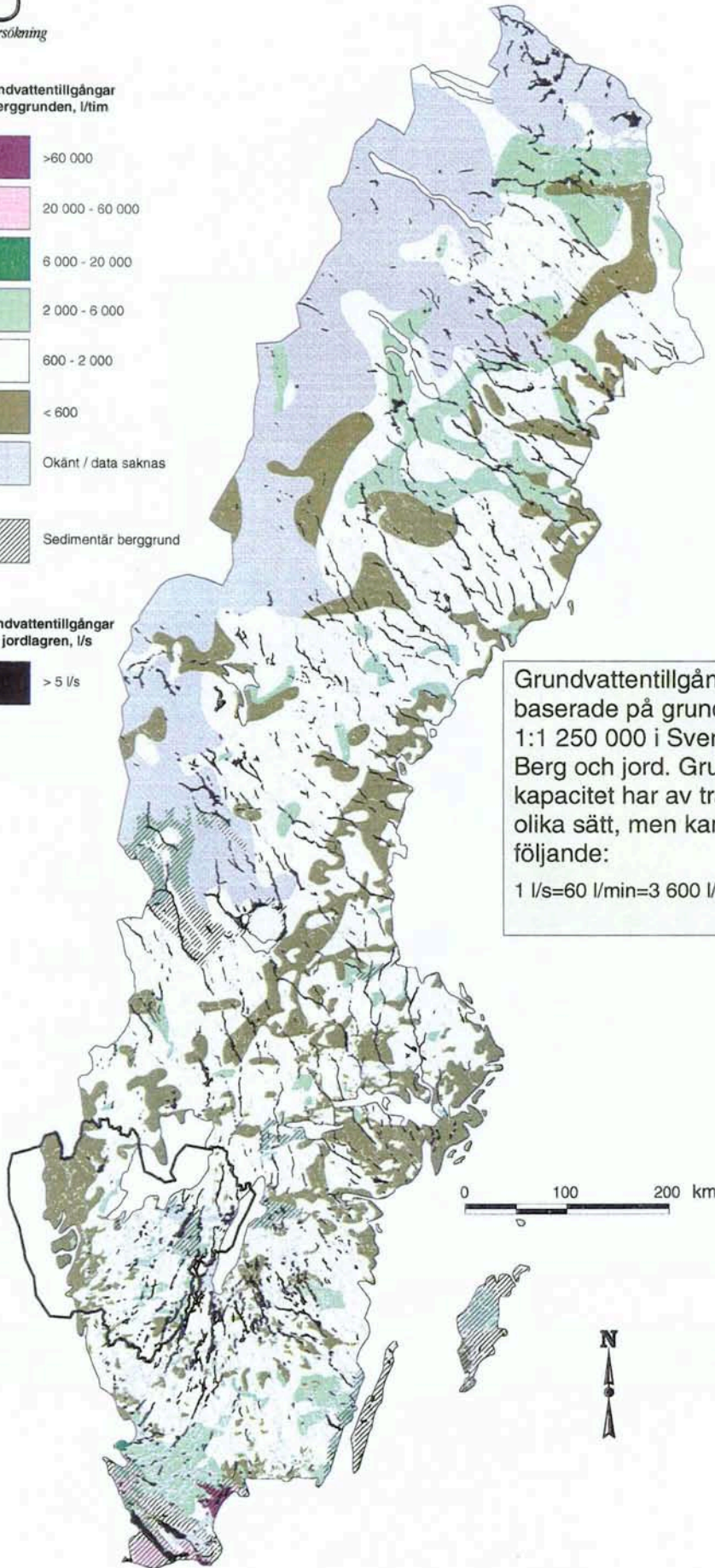


Figur 5. Registrerade jordskalv i Nordeuropa fram till 1993. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet. Västra Götalands län är markerat med en svart linje

Grundvattentillgångar
i berggrunden, l/tim



Grundvattentillgångar
i jordlagren, l/s

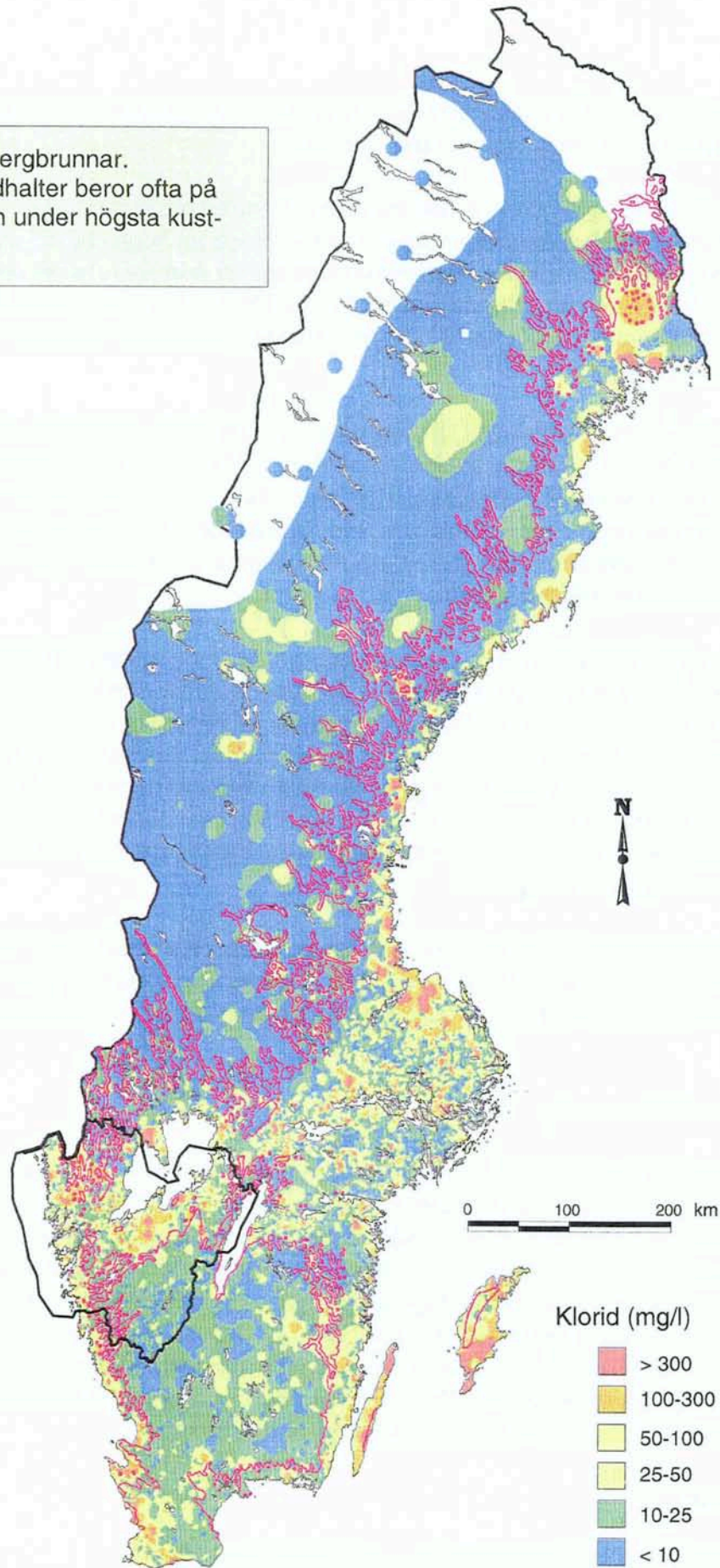


Grundvattentillgångar i jord och berg, baserade på grundvattenkartan i skala 1:1 250 000 i Sveriges Nationalatlas, Berg och jord. Grundvattentillgång och kapacitet har av tradition angivits på olika sätt, men kan lätt omräknas enligt följande:

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

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

finkorniga, förskiffrade basiska metavulkaniska bergarter (ljusgrön färg i Figur 8), dels av metasedimentära bergarter (ljusblå färg i Figur 8).

Den ca 1610 miljoner år gamla Åmålsgruppen /24/ väster om Vänern utgörs av sura och underordnat, basiska vulkaniska bergarter samt sedimentära bergarter till stor del i form av sandiga avlagringar. Den låga metamorfosgraden gör att primära texturer och strukturer är väl bevarade. Dessa bergarter, tillsammans med de ca 1660 miljoner år gamla, finådrade, veckade och omkristalliserade ytbergarterna i Horred-området, sydost om Göteborg, har markerats med gul färg på Figur 8.

Området väster om Uddevalla täcks till stor del av starkt omvandlade ytbergarter med N-S-lig utsträckning (Stora Le-Marstrandsgruppen, blå färg i Figur 8). Dessa bergarter avsattes för ca 1600 miljoner år sedan /25/. Gnejserna i gruppen växlar i utseende och har mestadels sitt ursprung i orena sandstenar med omväxlande sandiga och leriga lager, s.k. gråvackor. Som inlagringar i de metasedimentära leden ingår ofta mörka amfiboliter vilka bildats ur basiska asklager, lavar eller tillförselkanaler.

Veckade och förkastade skiffrar, kvartsiter och omvandlade basiska vulkaniter som är ca 1100 miljoner år gamla vilar diskordant på de äldre mer eller mindre förgnejsade bergarterna i den nordvästra delen av länet (Dalslandsgruppen, mörkblå färg i Figur 8). Gruppens mäktighet är 1500–2000 m och dess uppbyggnad varierar något mellan olika delar. Underst i lagerföljden ligger en arkos och konglomerat samt kvartsitisk sandsten. Därpå följer en delvis kalkhaltig lerskiffer med lager av omvandlade basiska lavar. Därefter följer en ställvis mer än 500 m mäktig kvartsit (kvartsitformationen) och överst en formation med skiffer och gråvacka, den s.k. Lianeskiffen /10/.

Djupbergarterna i det Transskandinaviska magmatiska bältet överlagras i Vätternsänkan av ca 800–700 miljoner år gamla fluviala och marina sedimentära bergarter /26/. Dessa bildar en ca 1000 m mäktig lagerföljd av sandstenar, arkoser och skiffrar (Visingsögruppen, blågrå färg i Figur 8).

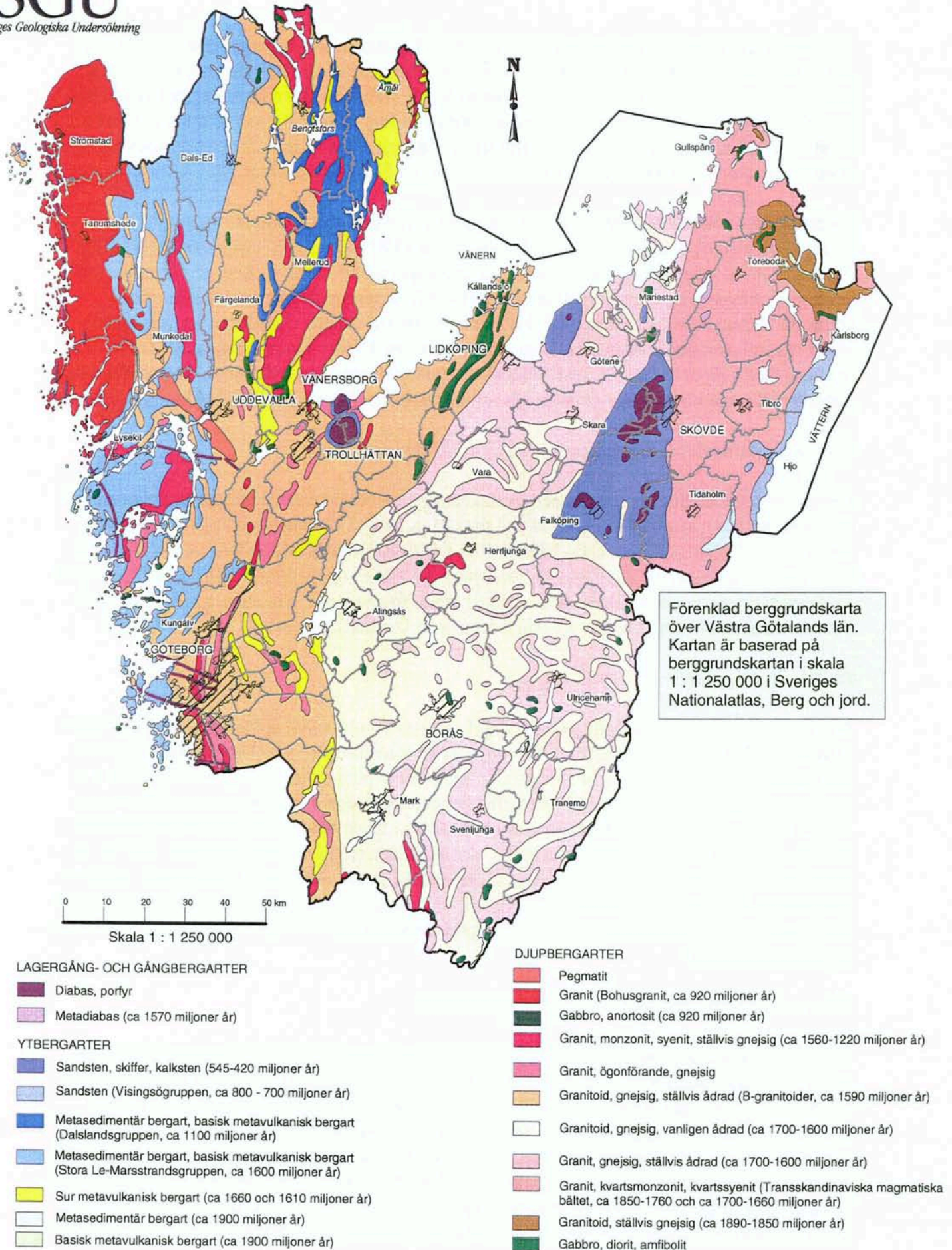
Fanerozoiska ytbergarter

Platåbergen söder om Vänern, d.v.s. Billingen väster om Skövde, Kinnekulle strax nordväst om Götene samt Halle- och Hunneberg norr om Trollhättan, se Figur 8, består av ca 545–420 miljoner år gammal, fossilförande sandsten, skiffer, lersten och kalksten (mörk blågrå färg i Figur 8), som avsattes på den genom vittring och erosion avjämnade urbergsytan (peneplanet). Yngre, magmatiska lagergångbergarter (se nedan) ligger delvis kvar som hårda skyddande täcken på platåbergen. Lagerföljden i Billingenområdet är ca 200 m mäktig och bergarterna är bevarade i en förkastningsbetingad urbergssänka. Lagerföljderna i Kinnekulle och Halle- och Hunneberg är ca 250 respektive 100 m mäktiga och bergarterna i dessa områden ligger som en tunn, ostörd platå på det kristallina urberget.

Djupbergarter

Sura och intermediära djupbergarter, ca 1890-1590 miljoner år

De äldsta djupbergarterna (ca 1890-1850 miljoner år) förekommer i den nordöstra delen av länet, nordost och norr om Töreboda och Karlsborg. Dessa utgörs av medelkorniga, mer eller



Figur 8. Förenklad berggrundskarta över Västra Götalands län

mindre gnejsiga granitoider (brun färg på Figur 8). I övrigt utgörs urberget öster om en linje som sträcker sig genom Lidköping och väster om Alingsås dels av massformig till måttligt förskiffrad granit och kvartsmonzonit tillhörande det Transskandinaviska magmatiska bältet (ca 1850–1760 och 1700–1660 miljoner år, mörkrosa färg i Figur 8), se Figur 9a, dels av ca 1700 till 1600 miljoner år gamla /27/, granitiska (ljusrosa färg i Figur 8) och vanligen ådrade, granodioritiska till tonalitiska gnejser (ljusbeige färg i Figur 8), se Figur 9b.

Djupbergarter väster om linjen genom Lidköping och Alingsås domineras av granitoider (granit, granodiorit och tonalit) som bildades för ca 1590 miljoner år sedan (mörkbeige färg i Figur 8). Dessa bergarter är massformiga till gnejsiga och är ibland ådrade, se Figur 9c. Sviten brukar vanligen benämnas B-granitoider /14, 17/, även om begreppet "Göteborgs-batoliten" också använts /se t.ex. 28/. En svit med röd till rödgrå, ögonförande, gnejsig till ådrad granit intruderade strax efter B-granitoiderna i ett NNO-ligt stråk längs Göta älv (rödrosa färg i Figur 8). De flesta av dessa intrusioner håller höga halter av uran och den höga gammastrålningen från dessa graniter gör att de benämns RA-granit (RadioAktiv granit).

Sura och intermediära djupbergarter, ca 1560-1220 miljoner år

Under perioden mellan de gotiska och svekonorvegiska bergskedjebildningarna intruderade ett antal graniter, monzoniter och syeniter som är ca 1560-1220 miljoner år gamla (mörk vinröd färg i Figur 8). Dessa blev deformerade i varierande grad under den svekonorvegiska bergskedjebildningen, se Figur 9d. Till denna grupp hör de ögonförande och förskiffrade men vanligen homogena Hästefjords- och Ursandgraniterna, norr om Vänersborg /29/, Vårgårda kvartsmonzonit vid Herrljunga /30/ och Torpa- och Öxabäcksgraniterna i söder /31, 32/.

Basiska djupbergarter

Förskiffrade och ställvis ådrade basiska djupbergarter av olika åldrar förekommer i hela länet (grön färg i Figur 8). De äldre (ca 1590 miljoner år och äldre) basiska bergarterna uppträder huvudsakligen som lager av olika mäktighet inom ytbergartsgnejserna och som intrusiv i de övriga gnejserna. Lokalt är de medveckade i berggrunden och uppträder som avslitna linser. Äldre basiska djupbergarter förekommer också tillsammans med granit och kvartsmonzonit i det Transskandinaviska magmatiska bältet och är likåldriga med dessa bergarter. Ställvis bildas hybridbergarter vilka är resultatet av magmablandningar mellan de basiska och sura komponenterna. De yngre (ca 1560-1220 miljoner år) basiska bergarterna, som endast drabbats av metamorfos under den svekonorvegiska bergskedjebildningsperioden, är ställvis massformiga och bättre bevarade.

Bohusgraniten (ca 920 miljoner år) och pegmatiter

Den magmatiska aktiviteten i länet upphörde i stort sett med kristallisationen av Bohusgraniten (röd färg i Figur 8) och mindre kroppar av gabbro och anortosit (mörkgrön färg i Figur 8) för ca 920 miljoner år sedan /33/. Graniten bildar ett större sammanhängande massiv i länets nordvästra del men innehåller ställvis stora brottstycken av äldre gnejser, se Figur 9e, och flera gångar och sliror av pegmatit. Granitiska pegmatiter finns spridda över i stort sett hela Sydvästsverige /7, 34/, dels som mer oregelbundna intrusiv av mycket varierande storlek (orange färg i Figur 8), dels som mindre gångar. Dessa har bildats vid flera tillfällen i den geologiska utvecklingen av Sydvästsverige men till övervägande del under slutskedet av den



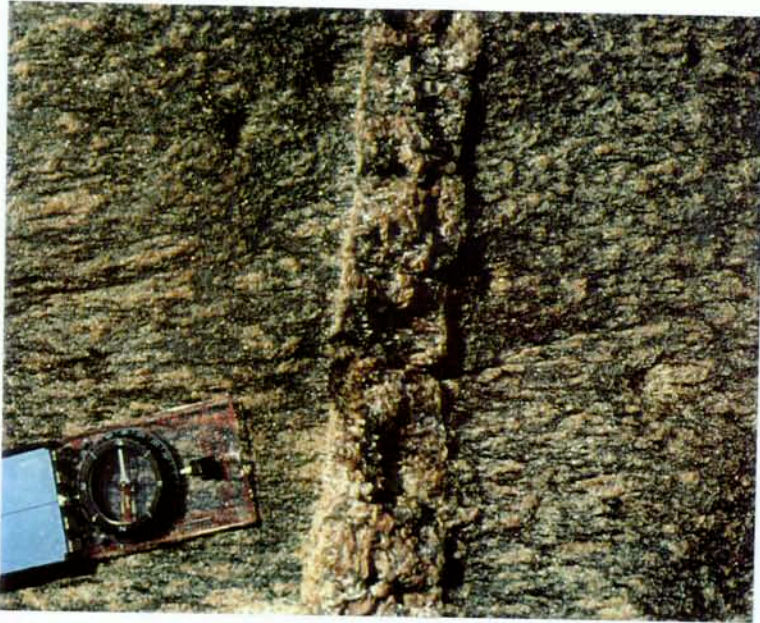
Figur 9. Exempel på bergarter i Västra Götalands län. a) Porfyrisk granit från det Transkandinaviska magmatiska bältet stax söder om Tidaholm i den östligaste delen av länet. Foto Johan Berglund.



b) Ådrad granitisk gnejs representativ för gnejserna i de östra delen av länet. Foto Johan Berglund.



c) Gnejsig granodiorit. Denna typ av bergart dominerar i området mellan Mylonitzonen och Göta Älvzonen. Foto Johan Berglund.



d) Deformerad och omvandlad, 1220 miljoner år gammal kvartsmonzonit, sydväst om Herrljunga. Bergarten genomslås av en odeformerad pegmatit. Foto Johan Berglund.



e) Massformig Bohusgranit med brottstycke av ådrad ytbergartsgnejs från Stora Le-Marstrandsgruppen. Foto Thomas Eliasson.



f) Permisk diabasgång i Bohusgranit. Foto Gunnar Gustafsson.

Svekonorvegiska bergskedjebildningen /se t.ex. 35/. Många av dessa pegmatiter har brutits för utvinning av kvarts, fältspat och till viss del också glimmer (se nedan).

Lagergång- och gångbergarter

Metadiabas

I det Transskandinaviska magmatiska bältet öster om Mariestad uppträder ett antal mindre, ca 1570 miljoner år gamla, omvandlade svarta diabaser /36/ med ortopyroxen och karakteristisk mörk plagioklas (ljuslila färg i Figur 8).

På ett antal öar väster om Bohusgraniten, t.ex. Kosteröarna 10 km VSV om Strömstad, klipps gnejserna av en mäktig, ca 1460 miljoner år gammal, deformerad och omvandlad gångsvärm av diabas, de s.k. Kostergångarna /37/ samt pågående arbete av K.-I. Åhäll/.

Diabas och porfyr

Sent under den Svekonorvegiska bergskedjebildningen i Sydvästsverige, för ca 900–800 miljoner år sedan, intruderade ett antal VNV-ligt orienterade diabasgångar. I sydvästra delen av länet benämns dessa bergarter Tuvegångar. Senare, i samband med bildandet av Oslogravsänkan, utsattes jordskorpan för dragspänningar som gav rum för en svärm av NNV-ligt orienterade gångar längs länets kustområde, se Figur 9f. Detta skedde för ca 300–270 miljoner år sedan /38/. Gångarna består huvudsakligen av porfyriska monzoniter, s.k. rombporfyr, och underordnat diabas samt ultramafiska bergarter. De sedimentära bergarterna söder om Väneren är intruderade av flacka, upp till 100 m mäktiga diabaslagergångar /39/ av samma ålder. Alla dessa bergarter visas med mörklila färg i Figur 8.

Berggrundens homogenitet

Berggrunden är sällan helt homogen över större områden i länet. Inhomogeniteter kan förekomma i form av bergartsvariationer, t.ex. gångbergarter och inneslutningar av främmande bergarter. Till detta kommer att berggrunden är deformerad och omvandlad i varierande grad vid ett flertal tillfällen.

Gnejserna öster om linjen genom Lidköping och Alingsås är starkt heterogena med variationer i sammansättning och deformationsgrad. Andra heterogeniteter är variation i åderbildningen och vanligt förekommande gångar av basiska och sura bergarter. Det finns dock mindre områden som är mer homogena än normalt. De granitiska gnejserna är generellt mer homogena än de granodioritiska till tonalitiska gnejserna. Berggrunden i det Transskandinaviska magmatiska bältet är generellt sett relativt homogen och variationerna över ett hållområde vanligen obetydliga.

Väster om linjen genom Lidköping och Alingsås är djupbergartsgnejserna vanligen homogena än i den östra delen av länet. Det varierar dock kraftigt från område till område. Bohusgraniten är det enda större området i länet med i stort sett massformig och homogen berggrund. Vanligt är dock en diffus magmatisk foliation och lagring. Det bör noteras att graniten ställvis innehåller stora mängder brottstycken av äldre gnejser /40/. I området kring och öster om Strömstad är förekomsten av brottstycken så stor att graniten blir underordnad.

Stora Le-Marstrandsgruppens ytbergarter är i hållskala mycket heterogena p.g.a. primära variationer i gråvackornas sammansättning i höjd- och sidled. Det är också vanligt med inlagringar av basiska vulkaniter och lokalt förekommer rikligt med pegmatiter

5 Mineral- och bergartsresurser

Mineral- och bergartsresurser omfattar metalliska mineral (malmer), icke-metalliska mineral (industriella mineral) och nyttosten (bergarter för byggnads-, prydnads- och industriella ändamål och bergarter för ballastframställning, s.k. krossberg). Begreppet malm är enligt en allmänt spridd uppfattning en metallfyndighet i största allmänhet, definitionsmässigt är dock en malm 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 djup- som ytbergarter.

Information om länets mineraliseringar och bergtäkter har huvudsakligen hämtats från SGUs databas över malm- och mineralfyndigheter samt SGUs register över täkter för grus- och nyttosten som är baserat på uppgifter från länsstyrelsen. Undersöknings- och bearbetnings-tillstånd för metalliska mineral är hämtade från Bergmästarämbetet via SGUs Mineralkontor i Malå. Information om tidigare exploaterade mineral- och bergartsresurser har också inhämtats från en rad andra källor vilka refereras till i texten. Malm- eller industrimineralförekomster samt nyttostensförekomster visas med en svart cirkel respektive svart triangel i Figur 10.

Översikt över mineral- och bergartsresurser

Berggrunden i sydvästra Sverige saknar till stora delar betydande malmer och mineraliseringar. I den nordvästra delen av länet (Dalsland) finns dock ett flertal koppar- och silverförande sulfidmineraliseringar och ett antal smärre mangan-järnmineraliseringar, se Figur 10. Den enda större fyndigheterna av metaller utanför Dalsland finns i Böletområdet norr om Karlsborg, se Figur 10. Pegmatiterna i länet, främst i den nordvästra delen, har tidigare under 1900-talet utgjort betydelsefulla fyndigheter av mineralen kvarts och fältspat.

Nyttostensindustrin har inom delar av Västra Götalands län haft en stor betydelse, se Figur 10. Dalsland är idag det viktigaste området för kvartsitbrytning i Sverige och ett antal fyndigheter utgör områden av riksintresse för landets materialförsörjning. Den nordvästra delen av länet samt Kinnekulle och Billingen söder om Vänern har varit viktiga producentområden för granit respektive kalksten.

Alunskiffer i den fanerozoiska sedimentära bergarterna sydväst om Skövde och på Kinnekulle har brutits för uran respektive råoljeutvinning.

Metalliska mineralresurser

Sulfidmineraliseringarna i Dalsland kan delas in i två huvudtyper, dels stratabundna kopparmineraliseringar i Dalslandsgruppens bottenbildning, dels sulfidförande kvartsgångar /10, 41, 42/. Vissa av sulfidmineraliseringarna innehåller också uran /10/.

De stratabundna kopparmineraliseringarna uppträder vanligen som impregnationer i kontaktzonen mellan sandsten och överlagrande lerskiffer i den undre delen av Dalslandsgruppen. Koppar-silvermineraliseringarna i Dingelvik-Hennevikstråken 10 km söder om Bengtsfors utgör, trots låga halter, en betydande malmpotential /10/. En preliminär malMBERÄKNING på Dingelvikfyndigheten ger ca 5 miljoner ton malm med 1,1 % koppar och 30 gram silver per ton (Svenska Koppar AB, bokslutskommuniké för helåret 1997). Hennevik är inte lika väl undersökt men har uppskattats hålla ungefär samma tonnage och halter. De mindre fyndigheterna i Stora Strand "kopparskifferstråk", 15–20 km sydväst om Åmål, är kända sedan tidigt 1700-tal och bröts bl.a. under tidigt 1900-tal.

De sulfidmineraliserade kvartsgångarna i Dalsland förekommer främst längs Vänerstranden i Mellerud och Åmål kommuner. Förekomsten av dessa ställvis guldförande, bly-, koppar- och silvermineraliserade kvartsgångar fortsätter vidare åt nordväst i ett malmförande bälte, det s.k. Mjøsa-Vänern-bältet /43/, över Värmland upp till Mjøsa i Norge.

De brantstående och relativt små gångarna klipper både Dalslandsgruppen och de äldre gnejserna. Gångarna är, liksom mangan-järnmineraliseringar (se nedan), knutna till 1000–900 miljoner år gamla, sprick- och förkastningszoner av varierande riktning /se t.ex. 44, 45, 46/. Ett 20-tal av förekomsterna har i mindre skala brutits vid upprepade tillfällen fram till 1920-talet. I Vassviksgruvan, belägen mellan Åmål och Mellerud, har brytning ägt rum ner till ca 40 m djup. En fyndighet i kvartsgångar vid Harnäs, strax norr om länsgränsen, bröts på guld under åren 1993 till 1995.

Mangan-järnmineraliseringarna i Dalsland uppträder i N-S-liga förskiffrings- och brecciezoner som klipper de äldre gnejserna liksom den yngre Dalslandsgruppen. Ett antal av dessa fyndigheter bröts i liten skala under 1800-talet, men det var först under första världskriget som brytning i större skala ägde rum. Fyndigheterna kring Kesebol i Åmål kommun bröts också i mindre skala under krigsåren 1942 till 1945 /41, 42/.

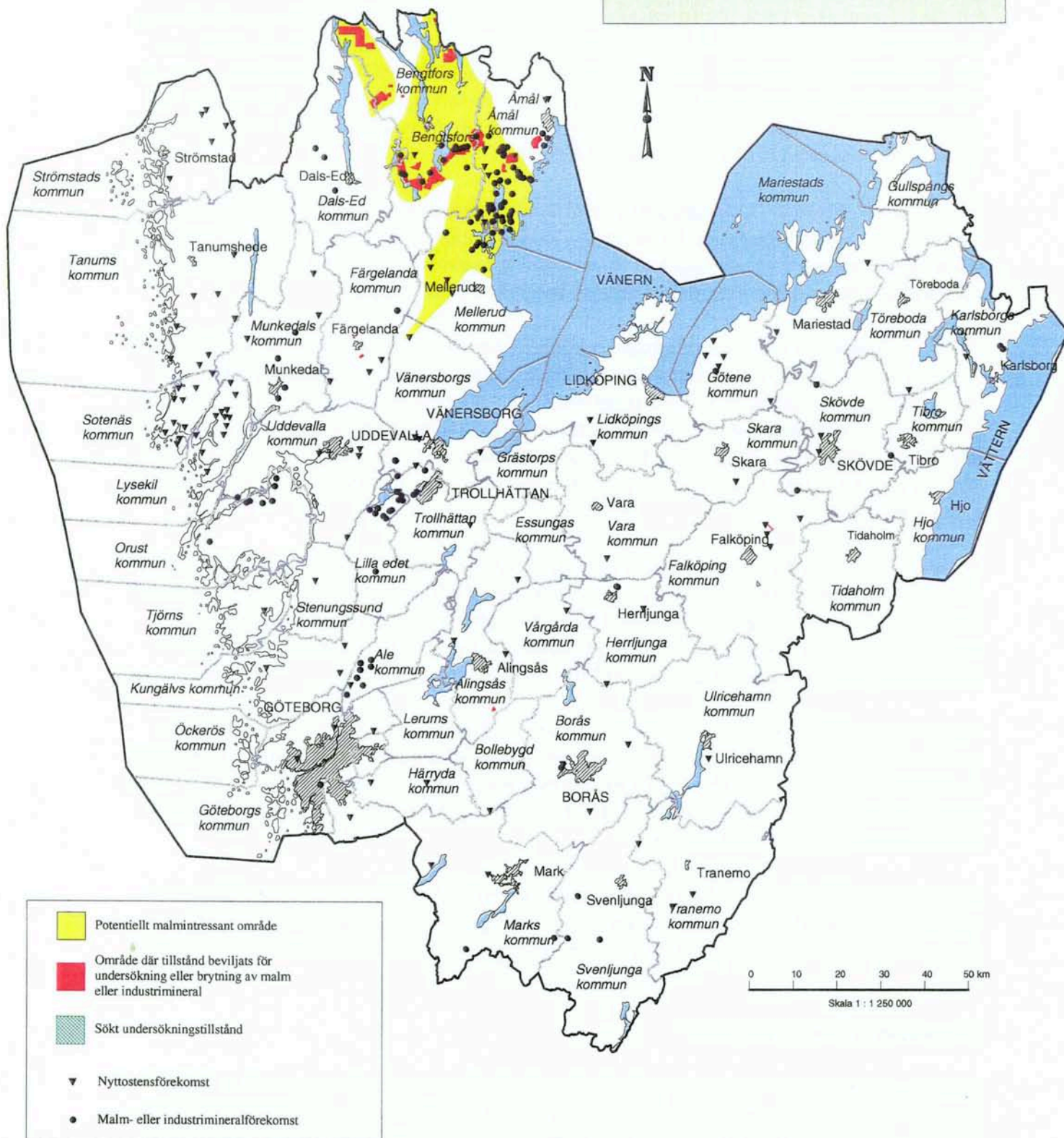
Manganfyndigheter i Böletområdet norr om Karlsborg uppträder i N-S-liga, brantstående sprick- och krosszoner vilka har tolkats vara relaterade till de stora förkastningar som begränsar Vätternsänkan /se t.ex. 45/. I Bölet bröts tidvis manganmalm under 1800-talet men främst under första och andra världskriget /41, 42/. I den största malmen (Vretgruvan) bröts totalt 50 000 ton malm ner till 145 m djup.

Mellan sjöarna Stora Le och Lelång i Bengtsfors kommun förekommer relativt rikligt med mafiska till ultramafiska bergarter inlagrade i Stora Le-Marstrandsgruppens ytbergarts-gnejser. I ett antal av dessa har mindre skärpningar gjorts för utvinning av *koppar och nickel* /10/.

Icke-metalliska mineralresurser

Fältspat, kvarts och till viss del också glimmer har brutits ur ett flertal pegmatiter i länet. Storskalig brytning har endast skett i norra delen av Orust kommun och i trakten av Munke-dal i den nordvästra delen av länet. I flera av gruvorna har brytningen ägt rum under 1950-talet och i ett antal av dessa har brytning skett ner till 40–60 m djup /47/.

Mineral- och bergartsresurskarta över Västra Götalands län. Informationen är hämtad från SGUs kartor, beskrivningar och register över landets bergtäkter samt diverse publikationer. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästarämbetet via SGUs mineralkontor i Malå.



Figur 10. Mineral- och bergartsresurskarta över Västra Götalands län (sammanställning januari 1998)

Nyttosten

Dalslandsgruppens *kvartsit* är det viktigaste området för kvartsitbrytning i Sverige. Den ekonomiskt mest betydelsefulla kvartsiten tillhör den övre delen av Dalslandsgruppen (kvartsitformationen). Den totala produktionen av kvartsit låg 1992 runt 700 000 ton varav ca 70 % är av prima kvalitet och går i första hand till legeringsindustrin och högelfasta produkter /48/. Kvartsit bryts idag huvudsakligen inom två områden i Dalsland. Det ena ligger ca 5 km nordost om Håverud, på gränsen mellan Mellerud och Åmål kommuner, och innefattar bl.a. fyndigheterna Livarebo, Ullerud, Käsby och Valön. Det andra området ligger runt och nordväst om Fröskog, 15–20 km sydväst om Åmål.

Främst i den nordvästra delen av länet samt på Kinnekulle och i Billingen väster om Skövde har stenindustrin haft en stor omfattning. *Granit* för byggnads- och prydnadssten bryts idag i större skala huvudsakligen i Bohusgraniten i den nordvästra delen av länet. Historiskt har också den i Sverige ojämförligt största granitproduktionen, då främst för gat- och kantsten, ägt rum i detta område. Totalt finns idag ett tjugotal stenbrott i drift. Numera bryts huvudsakligen blocksten vilken till stor del exporteras till Europa för vidare förädling. Stora volymer skrotsten tillvaratas idag också för att användas som vattenbyggnadssten och till krossning. I de västra delarna av länet är naturgrus en bristvara. Som ersättningsmaterial för ballastproduktion bryts stora mängder *granit* och olika typer av *gnejs* i ett flertal bergtäkter, bl.a. i Göteborgsområdet.

Brytningen av *kalksten* och *sandsten* i platåbergen på urberglätten söder om Vänern har mycket gamla anor. Idag bryts prydnadssten och jordbruksskalk i ett antal täkter i Götene, Skövde och Falköpings kommuner. I Billingens östkant, strax väster om Skövde, ligger Cementas kalkstensbrott och cementfabrik. Under 1997 bröts här ca 1 miljon ton kalksten för cementtillverkning. I ett stenbrott i nordvästra delen av Skövde har även den fanerozoiska diabasen brutits, främst för tillverkning av isolermaterialet stenull (rockwool).

Skifferförekomster i Dalslandsgruppen, bl.a. i Dalskogsområdet ca 12 km VNV om Mellerud, har brutits i relativt stor skala från senare delen av 1700-talet fram till 1984. De huvudsakliga användningsområdena har varit takbeläggning och plattsättning. Förekomster av glimmerskiffer i den sydvästra delen av länet har också brutits som nyttosten.

Täljsten har brutits i en rad mer eller mindre talkomvandlade mafiska och ultramafiska bergarter, främst i norra Dalsland /10/.

Uran och oljeskiffer

Alunskiffern i platåbergen söder om Vänern innehåller ställvis stora koncentrationer av bl.a. uran, vanadin, svavelkis och bitumen (olika typer av kolväten) /49/. Den största koncentrationen av uran har påträffats i Ranstad ca 10 km sydväst om Skövde. Under åren 1965–1969 producerades vid försöksdrift 200 ton uran i Ranstad. I Kinne Kleva på Kinnekulle har bitumenrik skiffer också brutits för råoljeutvinning och i viss mån också som bränsle vid kalkbränning. Brytningen av skiffer och driften av skifferoljeverket upphörde omkring år 1950 och ersattes då av produktionen i det betydligt större Kvarntorpsverket i Närke /50/.

Pågående prospektering

Någon systematisk prospektering efter mineralförekomster i Västra Götalands län har ej utförts. Ett antal relativt begränsade områden är dock, eller har varit, föremål för undersökningar, se Figur 10 (områden med röd och grön färg). Norra Dalsland har varit föremål för prospekteringsaktiviteter under skilda perioder ända sedan 1600-talet /10/. Under 1980- och 1990-talet har de stratabundna kopparmineraliseringarna liksom de ställvis guldförande, sulfidmineraliserade kvartsgångarna i Dalsland varit föremål för prospektering. I nordvästra delen av Bengtsfors kommun pågår också viss prospektering efter bl.a. nickel i de metabasiska inlagringarna i Stora Le-Marstrandsgruppens ytbergarter.

Potentiellt prospekteringsintressanta områden

Framtida prospekteringsintressen kan förutses främst i Dalslandsgruppens ytbergarter med dess stratabundna koppar-silvermineraliseringar samt i den nordvästra delen av Bengtsfors kommun med sin potential för bl.a. nickel i metabasiska bergarter. Inom dessa områden förekommer ett stort antal mineraliseringar. De flesta av dessa har aldrig varit av någon större ekonomisk betydelse, men visar att malmbildande processer har varit aktiva i området. Det är därmed möjligt att hittills icke kända fyndigheter kan finnas och att även andra metaller kan ha anrikats i berggrunden. På grund av detta har dessa områden klassificerats som potentiellt malmintressanta (gul färg i Figur 10). Kvarsiten i Dalslandsgruppen är också ett värdefullt material av stor ekonomisk betydelse. Utanför Dalslandsgruppen finns inte några större brytvärda kvantiteter av motsvarande kvalitet. Detta framhäver områdets betydelse för landets naturresursförsörjning.

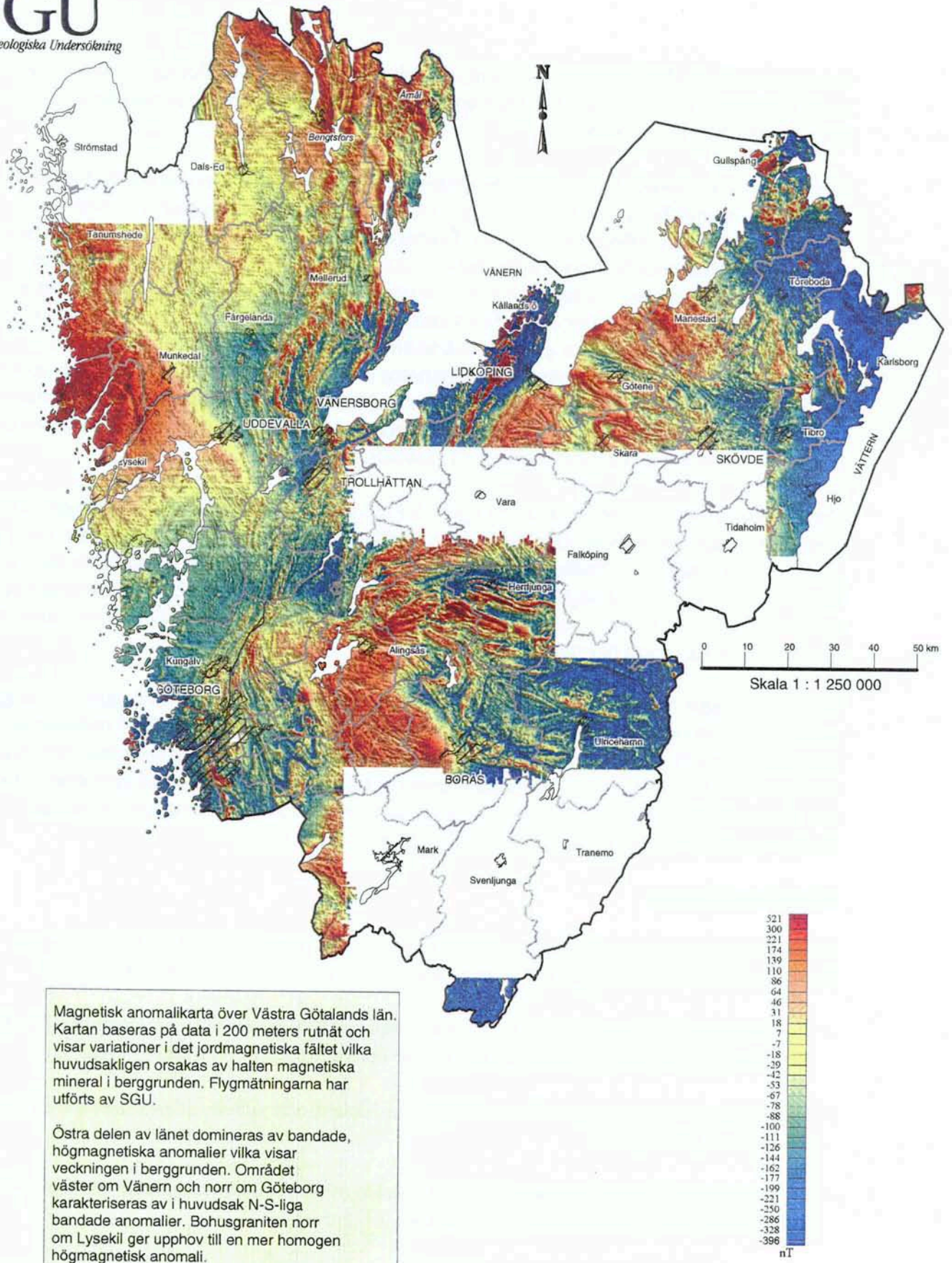
Förekomsten av ställvis guldförande, sulfidmineraliserade kvartsgångarna och mangan-järnmineraliseringar längs deformationszoner betonar den potentiella betydelsen av sådana zoner för malmprospektering.

6 Deformationszoner

Definitioner och metodik

En *deformationszon* är en svaghetszon i jordskorpan av varierande bredd, i vilken berggrunden varit utsatt för deformation som inte alls, eller endast i mindre grad, drabbat omgivande berggrund. Berggrundsblocken på ömse sidor av zonen har rört sig i förhållande till varandra vid en eller flera tillfällen. Sker deformationen på stora djup under varma förhållanden deformerar 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 allmänt spröd deformationszon eller *sprickzon*. Om rörelsen har skett parallellt med sprickzonen talar man om en *förkastning*.

En *formlinje* markerar planstrukturernas skärning med markplanet. Planstrukturerna bildades under varma, plastiska förhållanden och är vanligen förskifring och/eller bergartsbandning. Dess orientering har sammanställts genom interpolation av fältmätningar hämtade från SGUs äldre, publicerade berggrundskartor i skala 1:50 000 /39, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64/, från SGUs moderna, publicerade berggrundskartor i skala 1:50 000 och 1:250 000 (se referenser tidigare) samt från SGUs pågående arbeten (J. Berglund m.fl., I.



Figur 11. Magnetisk anomalikarta över Västra Götalands län

Lundqvist och C.-H. Wahlgren). Formlinjer har kompletterats med tolkning av bandade anomalimönster på den flygmagnetiska kartan, se Figur 11, s.k. *magnetiska konnektioner*. Flygmätningarna har utförts av SGU.

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 emellan skjuvzonerna kan utgöra 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 eller där stråkvis kraftigare deformerade bergarter förekommer. Dessa zoner är lokalt utmärkt av att planstrukturerna i den omgivande berggrunden är inböjda parallellt med skjuvzonerna. Förekomsten av starkt förskiffrade bergarter och myloniter är karakteristiskt för plastiska skjuvzoner och sådana bergarter har ställvis dokumenterats i de zoner som markerats i länet. Vid identifieringen och begränsningen av plastiska skjuvzoner har också flygmagnetiska data, se Figur 11, använts.

Sprickzoner är sällan blottade utan vanligen täckta av glaciala-postglaciala avlagringar och utgör moss- och myrmarker eller vattendrag, varför direkta observationer mera sällan kan göras. Sprickzoner har i första hand tolkats med hjälp av höjddata från Lantmäteriverket, se Figur 12, och utifrån flygmagnetiska data, se Figur 11. På flygmagnetiska kartor framträder spröda deformationszoner i regel som smala, distinkta, lågmagnetiska stråk. Endast zoner med en längd över ca 10 km har markerats.

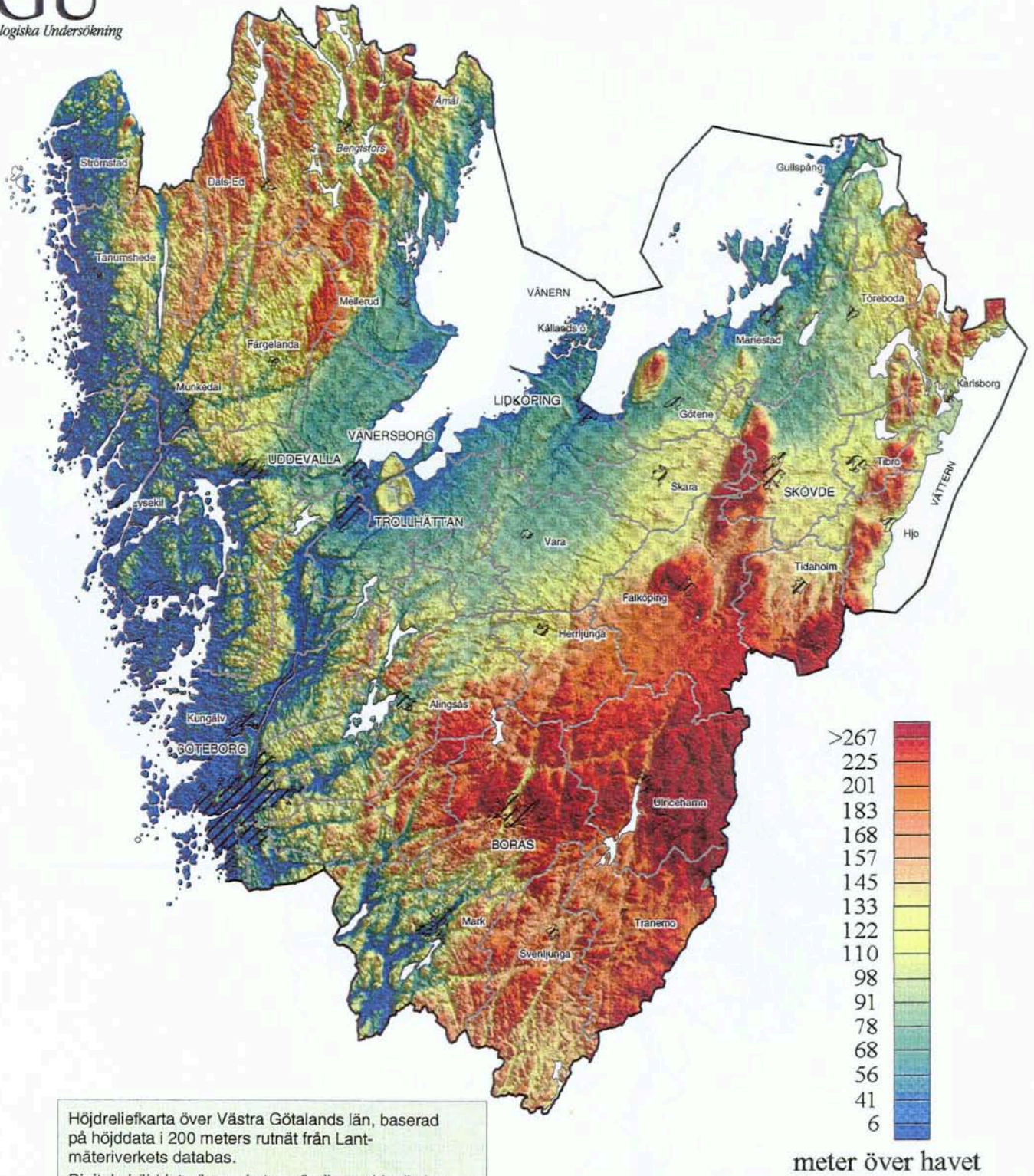
På kartan i Figur 13 visas tolkade sprickzoner och plastiska skjuvzoner, formlinjer och magnetiska konnektioner. Vidare visas bergarterna i länet som är yngre än ca 1000 miljoner år och som är, i stort sett, påverkade bara av spröd deformation. Flera deformationszoner eller delar av zoner är väl belagda (se nedan) medan andra är tolkade endast i samband med denna studie. Dessa behöver kontrolleras i fält innan deras existens och utbredning kan fastställas. Kartans innehåll bör därför tills vidare betraktas med försiktighet.

Plastiska skjuvzoner

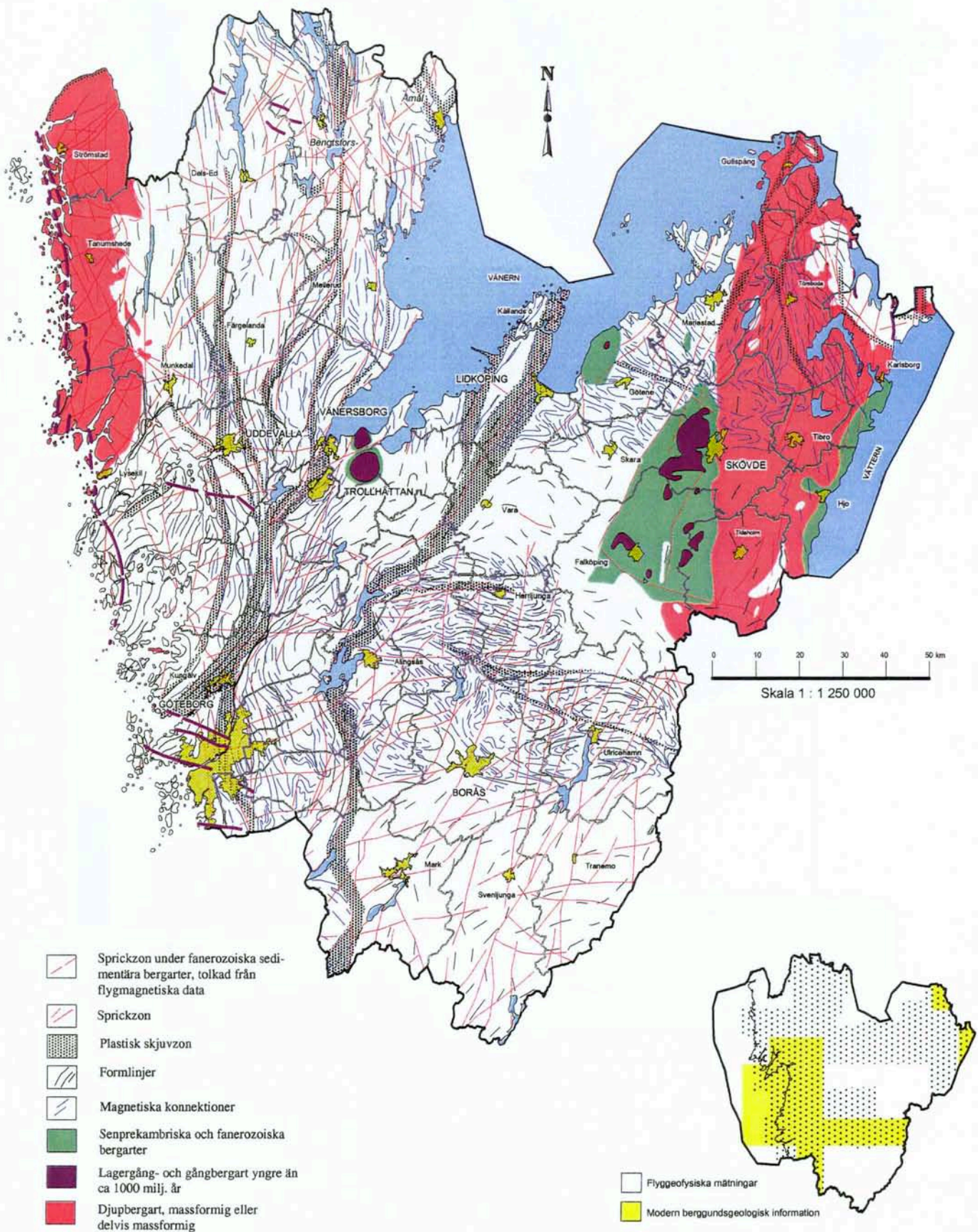
De större plastiska skjuvzonerna i sydvästra Sverige har en ungefärlig N-S-lig riktning, se Figur 13. De tre mest betydande zonerna eller system av zoner är från öster mot väster:

- flera smala plastiska skjuvzoner i ett bälte i den nordöstligaste delen av länet (den s.k. Svekonorvegiska frontens deformationszon eller Protoginonen, SFDZ(PZ) i Figur 3)
- en bred zon i den centrala delen av länet, från Väneren och vidare söderut (den s.k. Mylonitzonen, MZ i Figur 3)
- ett system av förgrenade zoner i den västra delen av länet (inkluderande de s.k. Göta Älv- och Dalslandszonerna, GÄZ respektive DBT i Figur 3).

Graden av deformation är högst varierande i bältet i den nordöstligaste delen av länet. Inom bältet finns stora områden där förskiffringen inte har en tydlig skjuvzonskaraktär, där förskiffringens riktning också varierar kraftigt och där ställvis närmast odeformerade bergarter förekommer. Denna typ av berggrund är inramad av ett stort antal NV- till NNO-liga, smala plastiska skjuvzoner där berggrunden är mylonitisk /23, 65 samt pågående arbete av C.-H.



Figur 12. Höjdreliëfkarta över Västra Götalands län



Figur 13. Deformationszonskarta över Västra Götalands län

Wahlgren/. Det finns en rad mindre zoner utöver de som markerats i Figur 13. Begränsning och karaktär av dessa enskilda skjuvzoner, som tillsammans definierar större delen av den s.k. *Svekonorvegiska frontens deformationszon (Protoginzonen)*, är inte välbelagda i form av fältobservationer, framför allt beroende på den låga blottningsgraden i området

Mylonitzonen är 5-10 km bred på Kållandsö i norr och 2-5 km i söder. Till skillnad mot den Svekonorvegiska frontens deformationszon är Mylonitzonen vanligen tydligt avgränsad mot omgivande berggrund /30, 66, 67/. Detta gäller framförallt delen från Kållandsö till centrala delen av Essunga kommun där finbandade, vanligen starkt förskiffrade myloniter dominerar. Söder därom varierar zonen något i O-V-lig led. Dels finns myloniter av samma karaktär som i den nordliga delen, dels finns också mindre deformerade bergarter, s.k. protomyloniter.

I området mellan Protogin- och Mylonitzonen har förskiffring och bergartskontakter vanligen en O-V- till OSO-lig riktning, se Figur 13. Berggrunden är storskaligt veckad och har en förskiffring som vanligen stupar medelbrant till brant. I veckbenen på dessa storskaliga veck har på flera platser plastiska skjuvzoner utbildats /30, 68/. Några av de större skjuvzonerna har markerats på kartan, främst med hjälp av tolkningen av de flygmagnetiska data. Zonerna har endast dokumenterats på några få platser i fält. Deformationen som skapade dessa plastiska skjuvzoner skedde under högt tryck och hög temperatur vilket bland annat resulterat i att bergarterna i zonerna vanligen är jämn- och finkorniga.

Området väster om Mylonitzonen är genomsatt av många N-S-liga plastiska skjuvzoner av varierande karaktär, inkluderande *Göta Älv- och Dalslandszonerna*. Dessa N-S-liga zoner omringar stora tektoniska linser. Endast delar av zonerna och övriga, icke namngivna zoner har undersökts eller dokumenterats i fält. Göta Älvzonen i söder, från Kungsbacka, genom Göteborg och vidare upp genom Göta älvdal, stupar medelbrant till brant mot väster, se t.ex. SGUs kartbladsbeskrivningar samt Park m.fl. /66/ och Berglund /30/. Vanligen finner man en lineation i zonen som stupar mot nordväst, vilket indikerar relativa rörelser mellan berggrunden på ömse sidor i denna riktning. Den senaste plastiska skjuvningen i denna södra del av zonen bildades under extension av jordskorpan, vilket kan vara en bidragande orsak till att jordskorpan blir successivt tunnare mot väster i denna del av länet.

I nordvästra delen av länet har Park m.fl. /66, 69/ beskrivit några av de zoner som finns markerade på Figur 13. Zonen som länkar samman Göta Älv- och Dalslandszonerna, stupar i norr mot öster, mot söder brantare och sedan successivt flackt mot väster. Denna variation i stupning tolkades av Park m.fl. /66/ som en veckning av en tidigare fas i skjuvzonens historia, vilken involverade överskjutning av berggrunden väster om zonen mot sydost. Från norr löper en bred plastisk skjuvzon söderut in i länet. Zonen har i Norge behandlats av Berthelsen m.fl. /70/, där den konstaterats vara ett resultat av överskjutning av berggrunden i väster över den i öster. I länet finns inga fältbeskrivningar ifrån denna zon, men däremot framträder den på den flygmagnetiska kartan och är indikerad på Figur 13.

Ytterligare plastiska skjuvzoner finns markerade från centrala delen av Dalsland (Dals-Ed kommun och Bengtsfors kommun) söderut mot Uddevalla-Vänerns borg vidare mot Göta Älvdalen, se Figur 13. Flera av dessa utgör gränser mellan helt olika berggrundsområden. Mest tydligt är detta norr om Uddevalla där gränsen mellan metasedimentära bergarter och djupbergarter är kraftigt skjuvad utmed den veckade zonen som beskrevs ovan. Faktiska förkastningsbelopp kan sällan fastläggas i plastiska skjuvzoner, men graden av deformation indikerar att det vanligen är fråga om ansenliga förskjutningar mellan berggrunden på ömse sidor. Det

är troligt att lokaliseringen av plastiska skjuvzonerna till bergartsgränser beror på skillnaden i bergmekaniska egenskaper mellan de olika bergarterna.

Deformationsgraden i bergarterna i västra delen av länet varierar kraftigt. Detta gäller både de äldsta metagranitoiderna (ca. 1590 miljoner år gamla) och de yngre intrusionerna (ca 1560 miljoner år och yngre). Gränsen mellan plastisk skjuvzon och icke plastisk skjuvzon är ofta gradvis och diffus, men däremellan finns också stora områden av endast måttligt deformerade bergarter. Även Bohusgranitens östgräns mot äldre gnejser är påverkad av mindre plastisk skjuvning och i norr, vid norska gränsen, finns en plastisk skjuvzon utmed vilken berggrunden på norska sidan av gränsen glidit åt väster i förhållande till graniten i länet /71/.

Sprickzoner och förkastningar

Spröda deformationszoner utgörs vanligen av kraftigt uppsprucket och delvis krossat berg vilket gör dem lättroderade. De uppträder därför vanligen som långsmala sänkor i terrängen. Bredden kan vara upp till flera hundra meter. Sprickorna i dessa zoner kan vara öppna och oläkta eller läkta och cementerade av t.ex. kvarts eller kalcit. En sprickzons stupning är i regel svår att bestämma, men antas i de flesta fall vara brant. Flacka sprickzoner är generellt sett svåra att upptäcka med hjälp av höjddata och flygmagnetiska data. I håll kan dock små, flacka sprickzoner påträffas.

I Figur 13 har större sprickzoner markerats utifrån tolkning av höjddata och flygmagnetiska data. Områden där endast få zoner är markerade (t.ex. i Vara, Falköpings och Tidaholms kommuner) saknar flygmagnetiska data och har en topografi som inte avspeglar berggrundens överyta. Det är troligt att dessa områden har ungefär samma frekvens av sprickzoner som närliggande delar av länet. Under de fanerozoiska platåbergen har enbart flygmagnetisk information använts vid tolkning av strukturer i urberget.

Tidigare studier av förkastningar och sprickzoner i länet innefattar ett par arbeten där man använt sig av gamla erosionsytor som referens för att lokalisera förkastningar /72, 73/. De flesta av dessa förkastningar sammanfaller med markerade sprickzoner på Figur 13, men några är endast indikerade i refererade studier. De är således inte belagda genom fältobservationer.

De enskilt mest framträdande systemen av sprickzoner stryker i NV- till N-S-lig riktning i den nordvästra delen av länet och i NNO-lig riktning öster om Mylonitzonen. De förra förkastar berggrunden markant i Dalsland medan de senare sprickzonerna förkastar de fanerozoiska bergarterna i platåbergen söder om Vänern.

Vätternsänkan begränsas av parallella höjdryggar på ömse sidor om sin utsträckning. Dessa är till stor del skapade genom förkastningar längs N-S- till NNO-ligt strykande plan /74/. Samma grupp av NNO-liga förkastningar som begränsar Vätternsänkan är också frekvent förekommande i en stor del av det övriga länet och förkastar bland annat de fanerozoiska bergarterna i Billingen, väster om Skövde.

Deformationszoner i tid och rum

De äldsta bergarterna som påverkas av plastiska skjuvzoner i länet tillhör det Transskandinaviska magmatiska bältet. Bältet med frekventa plastiska skjuvzoner i länets nordöstra del tros

vara anlagt redan för ca 1600 miljoner år sedan /75/. Zonerna har dock blivit reaktiverade vid ett flertal tillfällen och erhöll troligen sina huvuddrag för mellan 1100 och 900 miljoner år sedan under den svekonorvegiska bergskjedjebildningen, då också de övriga plastiska skjuvzonerna som finns markerade i Figur 13 bildades.

Som framgår av Figur 13 är flera sprickzoner lokaliserade till plastiska skjuvzoner, vilket tyder på att dessa har fungerat som svaghetsplan i jordskorpan även när bergarterna låg högre upp i jordskorpan och påverkades av spröd deformation, s.k. reaktivering. Flera andra zoner, t.ex. de som stryker i NNO-lig riktning i den östra delen av länet, löper emellertid obrutet över de äldre strukturerna som beskrivits ovan.

En geologisk särställning i länet intar Bohusgraniten samt de huvudsakligen sedimentära bergarterna som är yngre än 800 miljoner år, i och med att de har bildats efter det att den plastiska deformation i stort sett upphört. Den plastiska skjuvzonen vid norska gränsen måste dock ha tillkommit efter Bohusgranitens bildning, för ca 920 miljoner år sedan. Bergmekaniskt verkar Bohusgraniten också ha uppträtt annorlunda än gnejserna i länet i samband med yngre spröd deformation. Detta kan utläsas av det mer rätvinkliga spricksystemet som uppträder i graniten i jämförelse med det mer regellösa eller rombformade sprickzonsmönstret i länets övriga bergarter. Anledningen till skillnaden kan vara de plastiska deformationsstrukturer som existerade i berggrunden i övriga delar av länet när spricksystemen bildades. Sådana strukturer gör berggrunden anisotrop, med varierande hållfasthet i olika riktningar. Detta missgynnar i sin tur bildningen av sprickzoner i vissa riktningar.

Eftersom de markanta NNO-liga sprickzonerna öster om Mylonitzonen förkastar fanerozoiska bergarter, troligtvis även de diabaser som ligger överst på platåbergen, så vet man att zonerna varit aktiva efter dessa bergarters tillkomst, senare än för ca 280 miljoner år sedan. Denna sprickzonsgrupp kan emellertid ursprungligen ha bildats redan i samband med Vätternsänkans bildning, för bortåt 800 miljoner år sedan, strax efter det att den plastiska deformationen i området upphört.

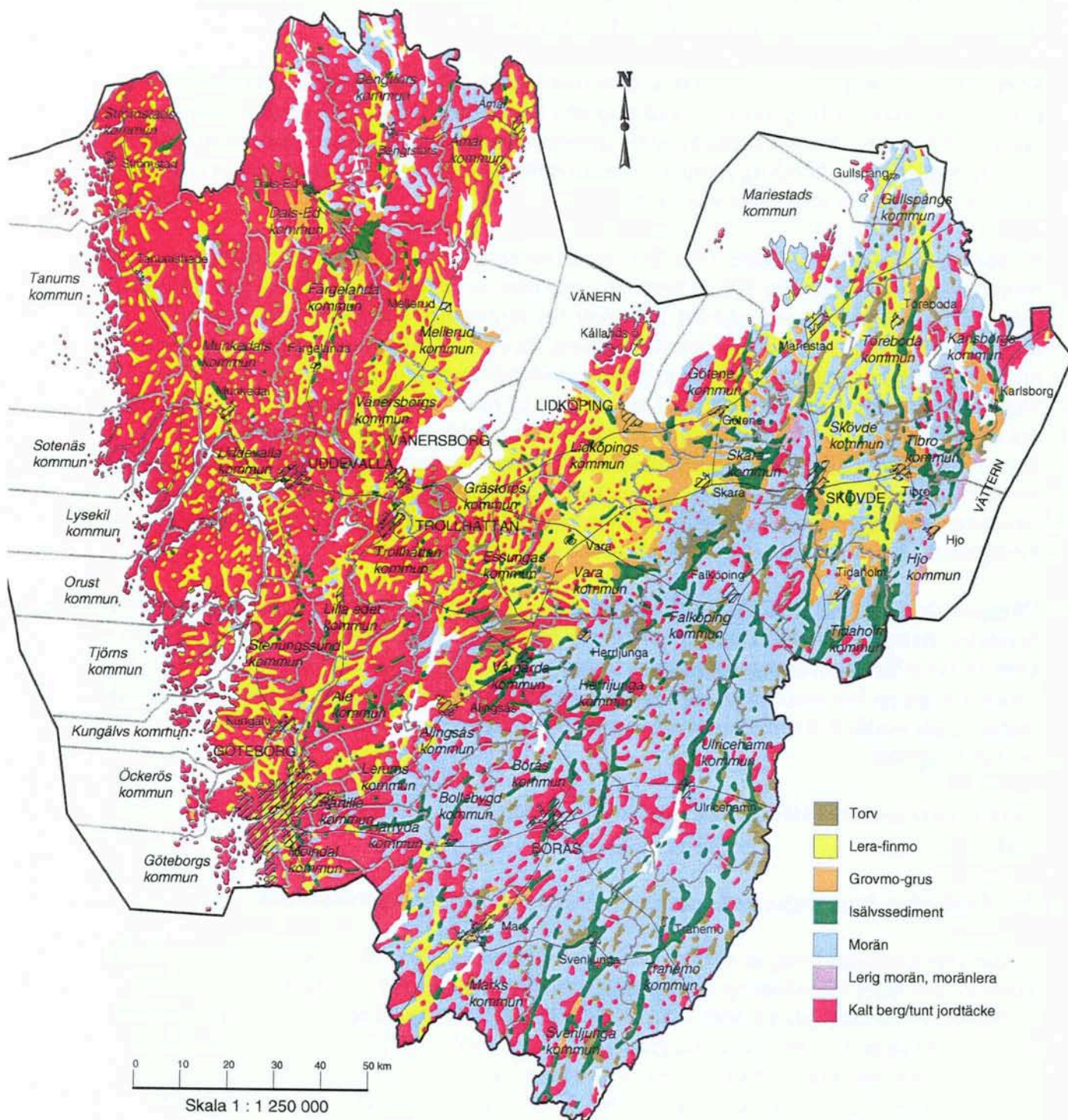
I kapitlet om jordarter behandlas sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan, inklusive jordskalv.

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

Jordartsfördelningen framgår av översiktskartan, se Figur 14 /76/. Denna karta bygger på både modernt och äldre kartunderlag samt på pågående kartläggning (M. Engdahl, A. Hilldén och T. Pässe). Moderna jordartskartor i skala 1:50 000, SGU Ser Ae, täcker stora delar av området mellan Ulricehamn, länets sydvästra gräns och Uddevalla /77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90/. För nordöstra delen av länet finns äldre kartor i skala 1:50 000, SGU Ser. Aa utgivna 1862–1974. Övriga delar av länet täcks av geologiska kartor i skala 1:100 000 (Ser. Ac) och 1:200 000 (Ser. Ab) utgivna i slutet av 1800-talet och början av 1900-talet.

Isavsmältning och postglacial utveckling

Den senaste inlandsisen avsmälte från länet för ca 13 000–10 000 år sedan, se Figur 15. Avsmältningen av inlandsisens front skedde mot nordost. Under isavsmältningen inträffade flera kallperioder vilket innebar temporära uppehåll av landisens reträtt. Iskanten stod stilla eller gjorde små framstötter, varvid morän avsattes ovanpå isälvsediment, se Figur 16a.



Jordarter inom Västra Götalands län. Kartan är ett utsnitt ur jordartskartan i Sveriges Nationalatlas, Berg och jord, och redovisar huvuddragen av länets jordartsgeologi. Kartans skala har medfört kraftig generalisering och för att kunna redovisas har storleken på vissa jordartsförekomster överdrivits - detta gäller t.ex. för isälvs-sedimenten i många av åsarna.

Figur 14. Översiktskarta visande berg i dagen och jordartsfördelningen i Västra Götalands län

Framför iskanten bildades israndbildningar, kännetecknade av stora ändmoräner (randmoräner) och isälvsdeltan. Randbildningarna utgörs av morän, sand och grus, som bildat en eller flera ryggar inom en begränsad zon framför iskanten. Även lerlager kan ingå. Stora och relativt sammanhängande ändmoräner avsattes under ett längre stillestånd av iskanten. Dateringen av dessa är viktig för att fastställa isavsmältningsförloppet i Västsverige.

Den tunga inlandsisen tryckte ner jordskorpan minst 800 m i förhållande till det nuvarande läget. Mycket vatten var bundet i inlandisarna och världshavets yta stod minst 100 m lägre än nu. När inlandsisen smälte strävade jordytan efter att återta sitt ursprungliga läge – landet höjde sig. Stora delar av den nedpressade jordskorpan intogs också av havet. De högst belägna strandmärkena, högsta kustlinjen (HK), ligger olika högt i skilda delar av landet beroende på hur mycket jordskorpan varit nedtryckt, vid vilken tidpunkt området frilades från inlandsisen och hur mycket havsytan hunnit höjas. I södra delen av länet ligger HK på nivån ca 90 m.ö.h., i den nordvästra drygt 170 m.ö.h. och i den nordöstra drygt 150 m.ö.h. I början var landhöjningen intensiv och stranden försköts snabbt mot allt lägre nivåer. Med en avklingande landhöjningsintensitet kom strandförskjutningen att gå allt långsammare.

Där landisens front retirerade från högre terräng till lägre, kunde issjöar dämmas mellan isen och den isfria terrängen. Isdämda sjöar har förekommit på höglandet i länets sydöstra del. Genom att havsytan stod lågt vid tiden för inlandsisens avsmältning var Öresund och Bälten torrlagda. En issjö, Baltiska issjön, dämades upp i Östersjösänkan. Baltiska issjön kom att täcka hela södra Östersjöområdet ända tills iskanten lämnade Billingen. Då öppnades förbindelsen med världshavet och issjön sänktes dramatiskt till havsnivån.

I större delen av länet har landhöjningen hela tiden varit större än havsytans stigning. Under tidsavsnittet 9000–7000 år sedan steg havsytans nivå snabbare än landhöjningen i länets sydvästra del och låglänta områden intogs ånyo av havet. Nuvarande landhöjning är i länets södra del ca 10 cm/100 år och i den norra ca 30 cm /100 år.

Jordartsfördelning och jorddjup

Jordartsfördelning och bergblottningsgrad inom länet framgår av översiktskartan, se Figur 14 /76/. Från jordartsgeologisk synpunkt kan Västra Götalands län indelas i tre delområden med olika karaktär.

Västra delen av länet kännetecknas av ett sprickdalslandskap med stor utbredning av kalt berg. Morän förekommer dels som ett tunt, endast ca 0,5 m tjockt täcke inom vissa bergområden, dels i randbildningar och som stöt- och läsidemoräner. Isälvsavlagringar, framför allt i form av deltan, finns främst i dalgångarna som tväras av inlandisens randstråk. Lerorna på Västkusten domineras av grå till gråblå, vanligen styv glacial lera. Den överlagras i kustnära partier av en snarlik postglacial lera. Lerorna innehåller ofta skal av marina mollusker. Den sammanlagda mäktigheten är i många fall stor, i breda dalgångar 50-100 m. Lerområdena präglas i stor utsträckning av skredärr och raviner. Svallsediment i form av grus och sand förekommer i anslutning till morän- och isälvsavlagringar.

Vänerområdet ligger under högsta kustlinjen och är relativt flackt med stora lerslätter, t.ex. Varaslätten och Dalboslätten, som är mycket plana och kännetecknas av sand underlagrad av lera, se Figur 16b. Israndbildningar och rullstensåsar utgör markanta inslag i landskapsbilden.

En mindre typ av moränrygg, De Geermorän, förekommer i svärmar i norra delen. De finkorniga sedimenten domineras av rödbrun glacial lera med växlande sammansättning. Lerorna i Törebodatrakten är bland de styvaste i landet.

De södra och östra delarna av länet ligger till den helt övervägande delen över HK. Moränen har stor utbredning. Där finns också områden som endast täcks av ett mycket tunt moräntäcke, se Figur 16c. Moränytorna är mestadels normalblockiga och jämna, ibland småkulliga. Stora drumlinoida bildningar med jorddjup på 50 m är särskilt frekventa inom detta delområde, se Figur 16d. Isälvsedimenten och torvmarker har också tämligen stor utbredning. Isälvsstråk med åsar, kames och deltan är lokaliserade till de större dalgångarna och Hökensås söder om Hjo. Torven, som oftast är mellan 3 och 6 m, underlagras på många ställen av ca 0,5 m gyttja och kalkgyttja. Dessa torvmarker har sålunda bildats genom igenväxning. De välvda högmossar, som är så karaktäristiska för Västra Götaland, har emellertid huvudsakligen bildats genom försumpning, se Figur 16e.

Jorddjupen i länet bygger på uppgifter från SGUs brunnarsarkiv, se Figur 17. Antalet registrerade brunnar med ett jorddjup <10 m uppgår till ca 22 000. De största jorddjupen finns i dalgångarna. I Göta älvs dalgång finns lermäktigheter på upp till 100 m. Upprepade isframstötter och mäktiga isälvsavlagringar i Vätternsänkan avspeglas i de stora jorddjupen längs Vätterns västra strand. Den mellansvenska randmoränzonen med dess stora jorddjup framgår också tydligt.

Sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv

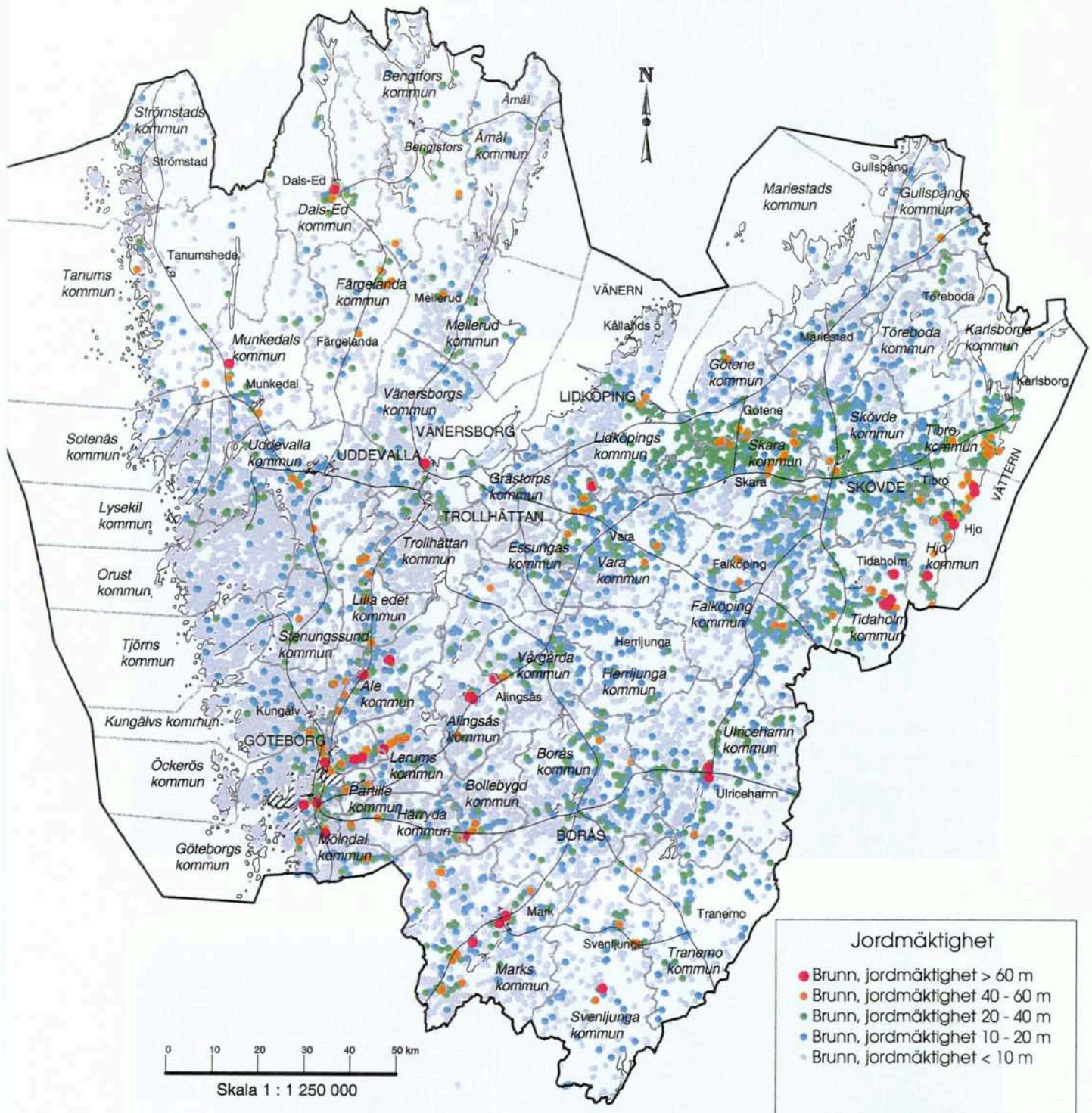
Sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan, som ger sig tillkänna som sprickbildningar, förkastningar och seismisk aktivitet, har dokumenterats från norra Sverige /se t.ex. 91, 92/. Mörner /93, 94, 95/ anser att sådana rörelser förekommit också i andra delar av landet, huvudsakligen beroende på den snabba landhöjningen. En granskning och sammanfattning av denna typ av rörelser i Sverige har gjorts av Muir Wood /96/. En möjlig indikation på större jordskalv än de som har förekommit under historisk tid (se nedan) är skredärret från det s.k. Mariedalsskredet söder om Götene. Skredområdet är >50 ha stort och ligger vid kanten av Lundsbrunnsdeltat. I övrigt har, i samband med SGUs karteringsarbeten, inga tecken på sen- eller postglaciala rörelser dokumenterats.

En sammanställning av registrerade jordskalv i Nordeuropa fram till 1993 visar att länet har en tämligen hög seismisk aktivitet och ligger i ett bälte inom vilket många jordskalv har registrerats, se Figur 5. Bältet sträcker sig från sydvästra Sverige mot nordost till södra norrlandskusten och vidare norrut längs kusten. Enligt uppgifter från samma databas har jordskalv rapporterats från ca 180 platser i länet, se Figur 18. De registrerade skalven fördelar sig tämligen jämnt över länet med en viss övervikt för Västgötaslätten och norra delen av Vänerområdet. Många skalv är registrerade med magnituden 3–4. De kraftigaste skalvet, magnitud 4,5, skedde 1986 nordost om Skövde. Muir Wood /96/ anser att den nuvarande seismiciteten i Sverige är en effekt av den postglaciala landhöjningen.



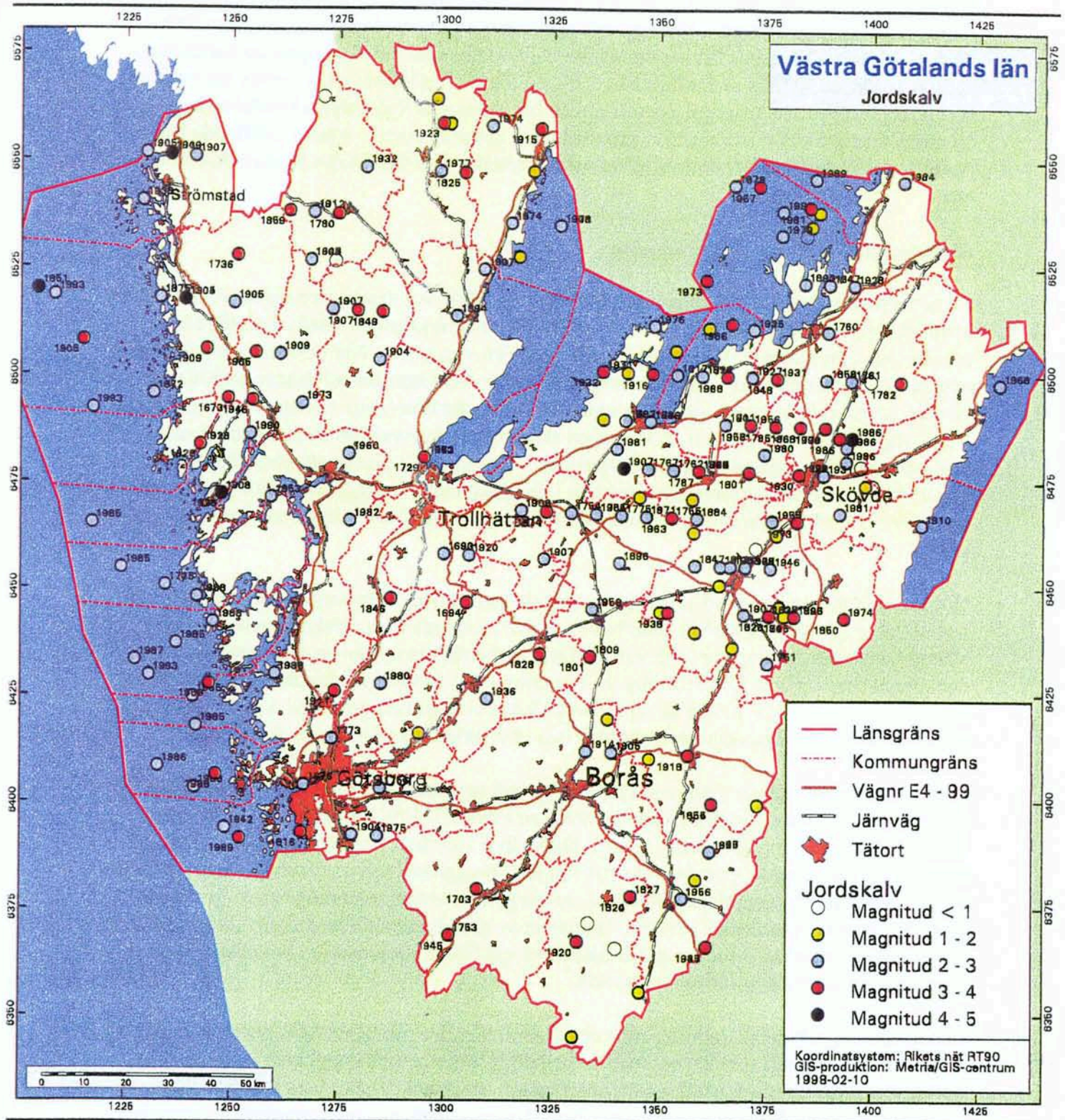
Figur 16. Jordarter i Västra Götalands län. a) Vid Annelund, söder om Falköping, överlagras isälvssedimenten av morän. Foto A. Hilldén. b) Västgötaslätten gör ofta skäl för namnet. Där finns stora plana ytor med uppstickande bergholmar. Jordarterna utgörs till största delen av lera, ofta överlagrad av postglacial, marin sand. Varaslätten nordost om Eling. Foto C. Fredén. c) Stora delar av Västsveriges berggrund täcks av ett konformt tunt moräntäcke. Bilden visar ett område väster om Borås med ca 0,5-1 m morän på berg. Foto A. Hilldén. d) Vängadrumlinen, nordost om Borås, är en limpformad moränavlagring som ligger utsträckt i isrörelseriktning. Största uppmätta jorddjup är 26 m. Foto A. Hilldén. e) Det stora Komossekomplexet på gränsen mellan Västergötland och Småland bildades huvudsakligen genom försumpning av en moränplatå ca 350 m.ö.h. Foto A. Hilldén.





Jordmäktigheten i ca 26 000 brunnar. Data från SGUs brunnarsarkiv. Brunnarna med det största jorddjupet (>60m) har lagts överst i kartbilden, samt därefter skiktvis med avtagande jorddjup. Brunnar med <10 m jorddjup uppgår till ca 22 000

Figur 17. Jordmäktighet i Västra Götalands län (sammanställning februari 1998)



Figur 18. Registrerade jordskalv i Västra Götalands län fram till 1993. Årtal då skalvet inträffade finns angivet på kartan. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet

8 Hydrogeologi

I grundvattenkartorna med beskrivningar över Skaraborgs län /97/, Göteborgs- och Bohus län /98/ och Älvsborgs län /99/ redovisas bl.a. grundvattentillgångar, grundvattnets kvalitet, hydrogeologi och vattenförsörjning. I föreliggande sammanställning av de hydrogeologiska förhållandena i Västra Götalands län 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 Västra Götalands län jämfört med övriga landet har även grundvattenkemiska data från SGUs brunnsarkiv bearbetats

Grundvattnets bildning och strömning

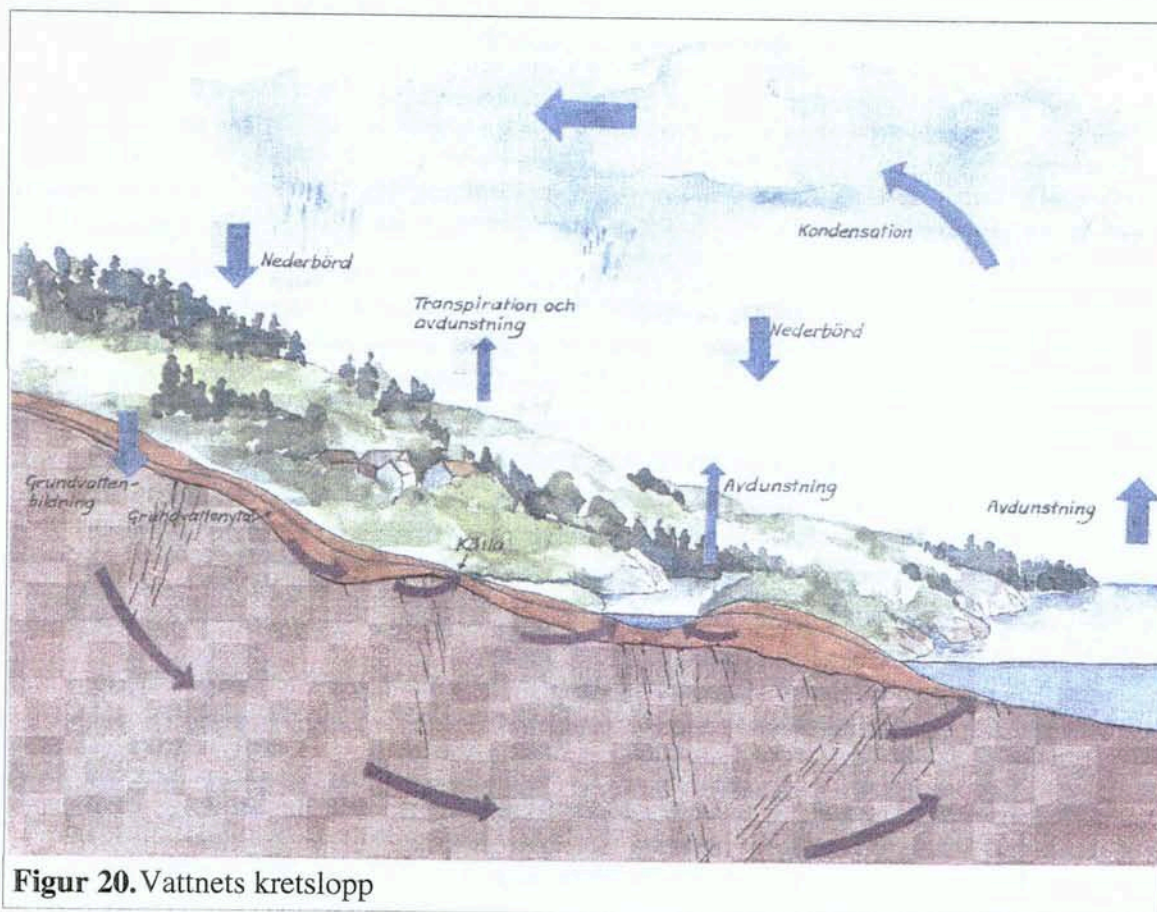
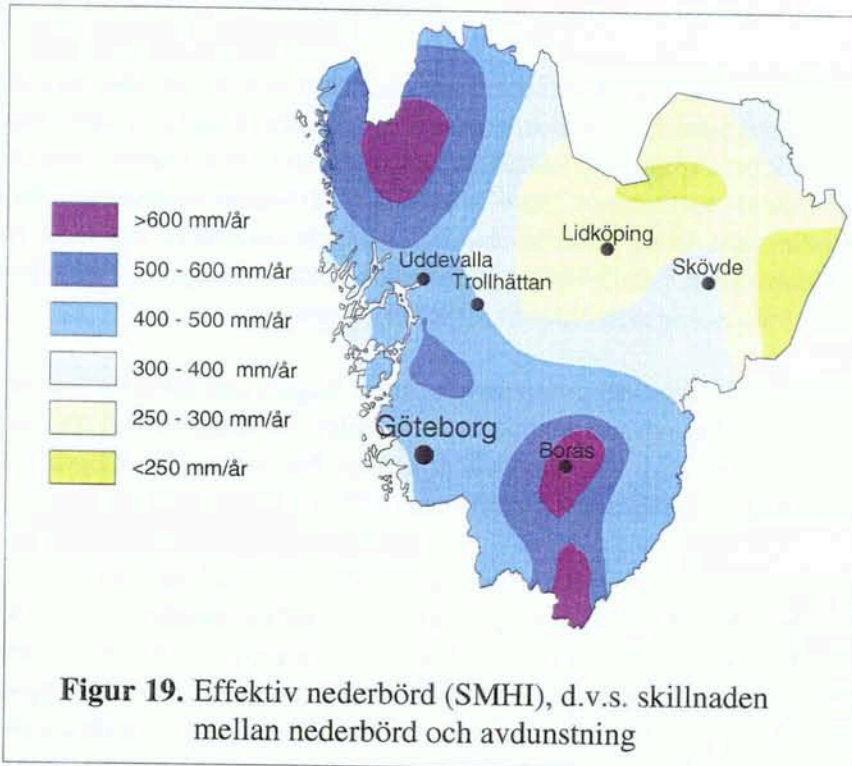
Grundvattnet ingår i det hydrologiska kretsloppet /4, 100/. Av den nederbörd som faller i länet avdunstar drygt hälften /97, 98, 99/. Återstoden tillförs grundvattnet, med undantag för en mindre del, som rinner av från markytan till sjöar och vattendrag. När de övre marklagren har nått en viss vattenmättnad, 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.

Grundvattenbildningens storlek bestäms av markens infiltrationskapacitet och den effektiva nederbörden (skillnaden mellan nederbörd och avdunstning). Den effektiva nederbörden i Västra Götalands län framgår av Figur 19. Den har beräknats utifrån en vidareutveckling av den metod som använts för beräkning av avrinning /101/. Endast en mindre del av det vatten som infiltreras i marken tillförs berggrunden. Detta beror på berggrundens, i jämförelse med jordlagrens, mycket låga genomsläpplighet och obetydliga magasinande förmåga.

Den ytliga grundvattenströmningen i jordlagren och berggrundens övre delar styrs till största delen av de lokala topografiska förhållandena, se Figur 20 /100/. 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. 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 Västra Götalands län (inklusive de delarna som täcks av sedimentära bergarter) är tämligen stora med en högsta marknivå 362 m.ö.h., se också Figur 12. Stora



höjdskillnader medför att grundvattnets flödes hastighet ökar och att omsättningstiden blir jämförelsevis kort. Höjdområdena i de nordvästra och sydöstra 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 i de centrala delarna av länet och mot kusten där de långväga strömbanorna i stället blir uppåtriktade. Utströmningen av grundvatten sker i första hand till större vattendrag och Vänern samt till Skagerrak.

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. Nuvarande landhöjning är i länets södra del ca 10 cm/100 år och i den norra ca 30 cm /100 år.

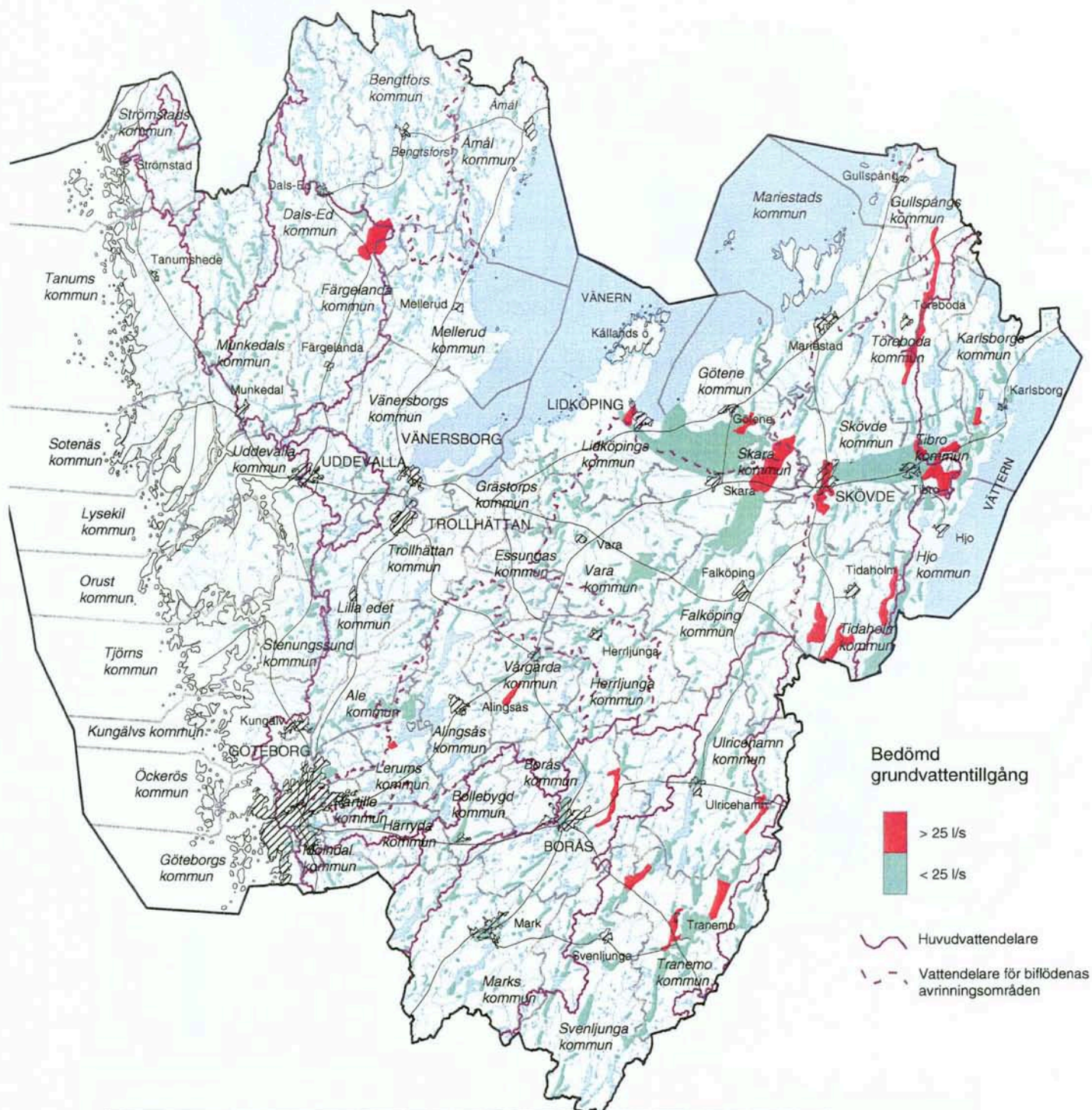
Sjöar, vattendrag och avrinningsområden med tillhörande vattendelare i länet framgår av Figur 21 /101/. Avrinningsområdena delas in i huvudavrinningsområden och biflödenas avrinningsområden. Huvudavrinningsområden har sin utloppspunkt i havet och är större än 200 km². Biflödenas avrinningsområden är större än 1000 km² och har sin utloppspunkt i ett större vattendrag. Av Figur 21 framgår att i Västra Götalands län sker ytvattnets avrinning huvudsakligen via Göta älv. Närmare kusten och i länets södra del sker avrinningen även via ett antal åar. De östligaste delarna ingår i Motala ströms avrinningsområde. Grundvattnets lokala och regionala strömning följer i huvudsak ytvattnets avrinningsvägar. Det kan dock inte uteslutas att grundvatten som bildas i höjdområden inom eller utanför länet, även utbildar djupa, långa strömbanor som avviker från det regionala avrinningsmönstret.

Grundvattentillgångar

Grundvattentillgångar av regional betydelse i Västra Götalands län återfinns i de stora stråken med isälvsavlagringar, t.ex. Boråsåsen, Rångedalaåsen, Lokaåsen, Flobyåsen och Holmestadsåsen /97, 98, 99/. Genom att stora grundvattenmängder kan lagras och transporteras i isälvsavlagringarna, har dessa fått stor betydelse för den kommunala vattenförsörjningen i länet. I Figur 21 redovisas bedömda grundvattentillgångar i åsarna enligt SGUs grundvattenkartor över Skaraborgs län /97/, Göteborgs- och Bohus län /98/ och Älvsborgs län /99/. 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.

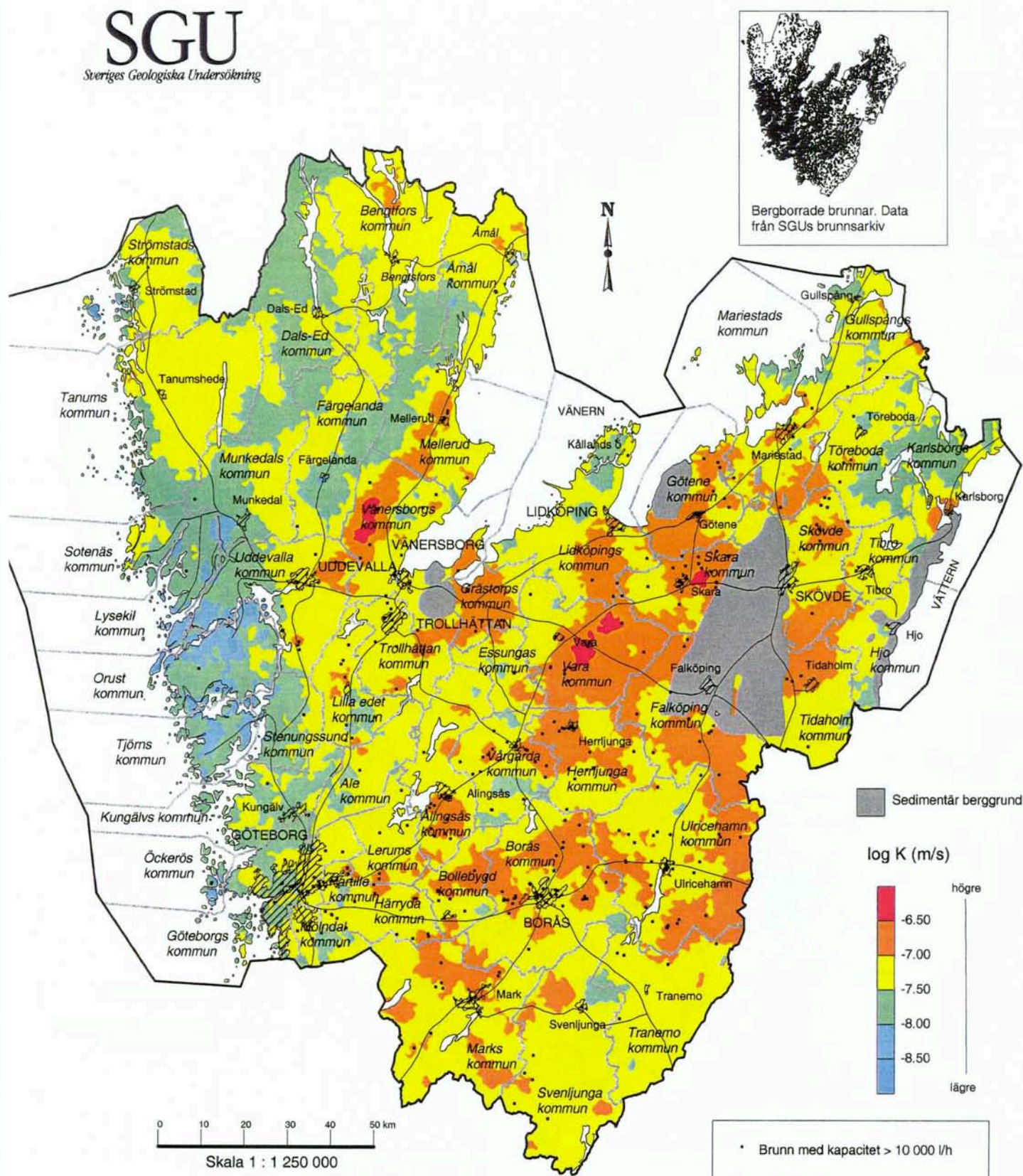
Berggrundens genomsläpplighet

Berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Västra Götalands län (exklusive de delarna som täcks av sedimentära bergarter) har beräknats /102/ med hjälp av uppgifter om brunnsdjup, avsänkning och uttagskapacitet från ca 21 000 brunnar i SGUs brunnarsarkiv. Den beräknade hydrauliska konduktiviteten för brunnarna varierar i allmänhet mellan 10⁻⁶ och 10⁻⁹ m/s. Medianvärde för beräknat K är 4,2x10⁻⁸ m/s. Vid beräkningen har brunnar med mindre djup än 20 m i den kristallina berggrunden samt brunnar med större



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

Figur 21. Grundvattentillgångar och vattendelare i Västra Götalands län



Berggrundens genomsläplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Västra Götalands län. Analys baserad på data i SGUs brunnarkiv (ca 21000 bergborrade brunnar).

Figur 22. Berggrundens genomsläplighet i Västra Götalands län (sammanställning januari 1998)

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 22. Resultatet visar de regionala skillnaderna i genomsläpplighet. De centrala delarna av länet har i allmänhet högre genomsläpplighet, medan kustområdet norr om Göteborg har lägre genomsläpplighet. Lokalt kan dock variationerna vara stora, främst beroende på om vattenförande sprickzoner påträffats vid brunnborrningen. Av figuren framgår därför även läget för samtliga registrerade brunnar i länet med en bedömd uttagskapacitet överstigande 10 000 l/tim (583 st).

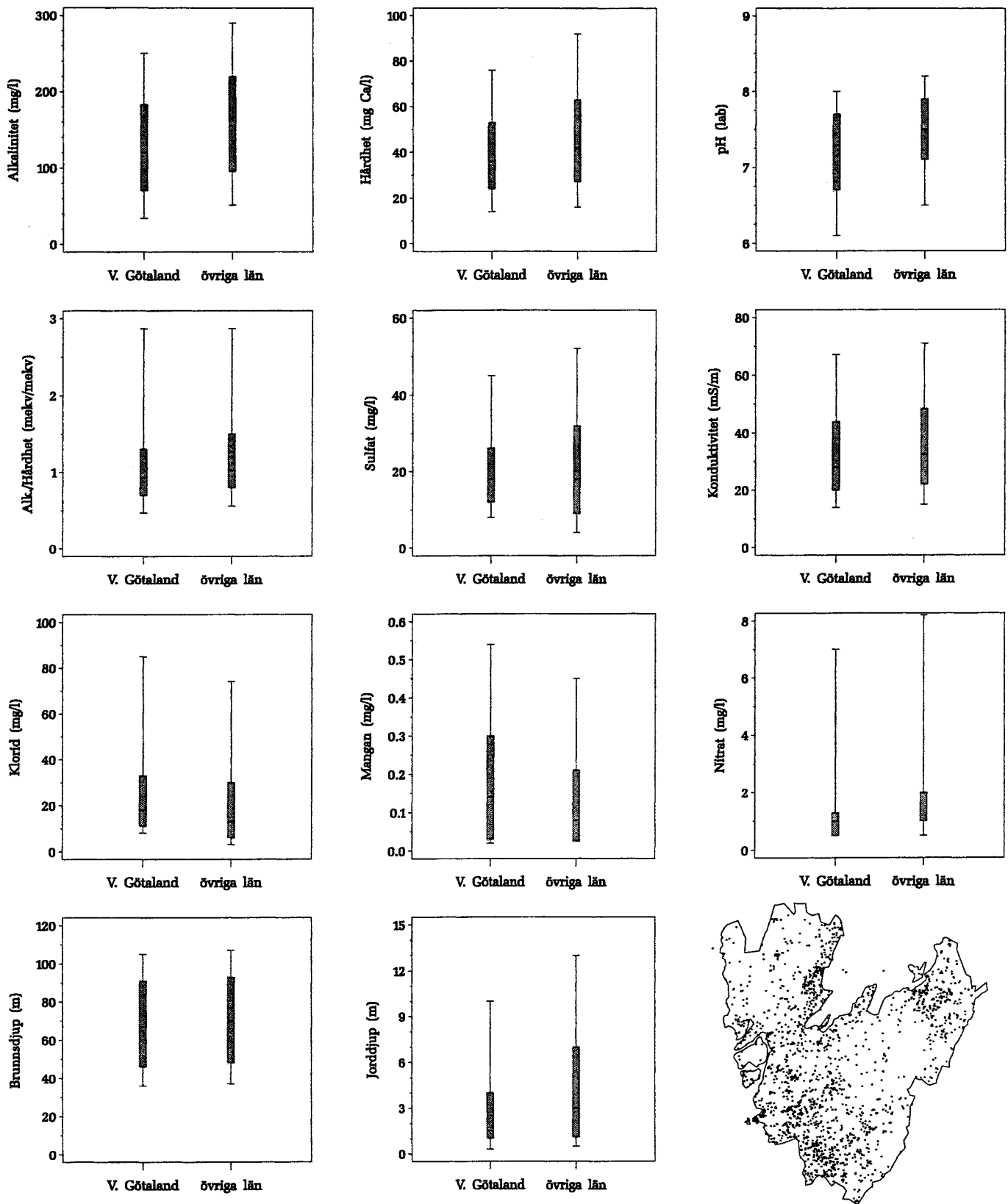
Erfarenheter från borrhålsundersökningar visar att genomsläppligheten i den kristallina berggrunden avtar med djupet /103/. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet mellan nivån 100 m och 500 m under markytan kan uppgå till flera tiopotenser, vilket har stor betydelse för grundvattnets uppehållstid och strömningsvägar. 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 2 000 bergborrade brunnar i Västra Götalands län och ca 9 000 brunnar från övriga delen av landet /5/, se Figur 23. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. Den grafiska presentationen utgörs av så kallade "box-plottar" där den undre och övre kanten på varje "box" visar undre respektive övre kvartilen. Den horisontella markeringen inom varje "box" visar medianvärdet. Den understa och översta markeringen visar 10- respektive 90-percentilen.

Vittringsberoende variabler som alkalinitet, totalhårdhet, pH och konduktivitet har lägre värden i Västra Götalands län än i övriga landet. Kvoten mellan alkalinitet och totalhårdhet är något lägre än riksgenomsnittet vilket tyder på att antropogen påverkan av starka syror från nederbörden är relativt stor. Under "naturliga" förhållanden är kvoten nära 1, d.v.s. alkaliniteten och totalhårdheten är ungefär lika. Försuningspåverkan kan vara en bidragande förklaring till de något lägre pH-värdena. Nitrathalten är något lägre än i övriga delar av landet.

Kloridhaltens medianvärde är högre jämfört med övriga län (se även Figur 7 i inledningen). Höga kloridhalter är typiska för låglänta områden under högsta kustlinjen (HK, se röd linje på Figur 7), där relict saltvatten kan förekomma. Förhöjda kloridhalter vid uttag av grundvatten i kustnära områden kan också orsakas av inträngning av salt vatten från Skagerrak. En annan bidragande orsak till förhöjda kloridhalter kan vara det marina inflytandet med förhöjda kloridhalter i nederbörden. Den högsta kloridhalten som uppmätts i bergborrade brunnar i länet uppgår till 5 800 mg/l att jämföra med Östersjön och världshaven som har halter omkring 4 000 respektive 20 000 mg/l. Sannolikt styrs förekomsten av relict saltvatten under HK till stor del av de topografiska betingelserna. I kuperad och höglänt terräng är grundvattnets omsättning generellt sett snabbare än i flacka och låglänta områden, vilket påverkar takten av



Antal analyser i Västra Götalands län och övriga delen av landet:

	HCO ₃	Härdhet	pH	HCO ₃ /Härdhet	SO ₄	Konduktivitet	Cl	Mn	NO ₃	Jorddjup	Brunnsdjup
Västra Götaland	2307	2094	2590	2090	1107	1795	1896	1799	1642	1596	2592
Övriga län	9440	8974	9480	8959	6083	7471	8904	7619	7113	6798	9493

Figur 23. Grundvattnets kemi samt brunnsdjup och jorddjup för bergborrade brunnar i Västra Götalands 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 har sammanställts från brunnsarkivets kemiarkiv och visas i insättskartan. Sammanställningen gjordes i januari 1998.

”ursköljning” av det salta vattnet med sött grundvatten. Stora delar av Västra Götalands län har flack terräng jämfört vilket därmed kan bidra till höga kloridhalter.

Grundvattnet i länet bedöms i allmänhet ej vara aggressivt med hänsyn till höga pH-värden samt en tämligen hög alkalinitet i förhållande till sulfathalten. Brunnsdjupen är ungefär lika stora som i övriga län medan jorddjupen är mindre än i övriga län vilket kan bidra till något lägre alkalinitet, totalhårdhet, pH och konduktivitet.

9 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar

Sammanfattande slutsatser

Berggrunden inom Västra Götalands län domineras av gnejser och urberget i sydvästra Sverige har traditionellt benämnts ”den sydvästsvenska gnejsregionen”. Gnejserna består till övervägande del av omvandlade granitoider men, i mindre omfattning, även av omvandlade sedimentära och vulkaniska bergarter. Därutöver förekommer bergarter, exempelvis Bohusgraniten i nordväst, som inte genomgått någon omvandling (metamorfos). Längs Vätterns västra strand och i de s.k. platåbergen (Billingen, Kinnekulle, Halleberg och Hunneberg) överlagras urberget av yngre sedimentära bergarter. I västra delen av länet förekommer diabasgångar. Granitoider är generellt sett gynnsamma ur säkerhets- och byggnadsteknisk synpunkt. Även metasedimentära bergarter kan i vissa fall vara gynnsamma medan metavulkaniter och gångbergarter är generellt sett olämpliga i detta sammanhang.

Beträffande *berggrundens homogenitet* kan konstateras att berggrunden sällan är helt homogen över större områden. Inhomogeniteter förekommer i form av t.ex. gnejsig bandning, gångbergarter och inneslutningar av främmande bergarter. Gnejserna öster om en linje genom Lidköping och Alingsås är ofta starkt heterogena men även mer homogena områden förekommer. Berggrunden i det Transskandinaviska magmatiska bältet längst i öster är relativt homogen. Väster om linjen Lidköping-Alingsås är djupbergarterna generellt sett mer homogena än i öster men stora lokala variationer förekommer. Bohusgraniten i nordväst är i stort sett massformig och homogen. Stora Le-Marstrandsgruppens ytbergarter är i hållskala mycket heterogena.

Med undantag av ett område i den nordvästra delen (Dalsland) saknas *malmer och mineraliseringar* av betydelse. De mineraliseringar som finns i Dalsland utgörs huvudsakligen av koppar- och silverförande sulfidmineraliseringar. *Nyttostensindustrin* har däremot haft stor betydelse. Dalsland är idag Sveriges viktigaste område för kvartsitbrytning och i nordväst bryts Bohusgranit samt på Kinnekulle och Billingen kalksten. Ur alunskiffrar sydväst om Skövde och på Kinnekulle har utvunnits uran respektive råolja.

Ett flertal *plastiska skjuvzoner* klipper länets berggrund i ungefärlig N-S-lig riktning och är av stor regional betydelse i sydvästra Sverige. De mest betydande zonerna eller system av zoner är den s.k. Svekonorvegiska frontens deformationszon (Protoginzonen), Mylonitzonen samt ett komplext bälte av förgrenade zoner i den västra delen av länet som inkluderar de s.k. Göta Älv- och Dalslandszonerna. *Spröda deformationszoner* (sprickzoner och förkastningar) följer ibland de plastiska zonerna, s.k. reaktivering, men bildar också egna system och korsar över äldre strukturer. De markanta NNO-liga spröda deformationszonerna öster om Mylonitzonen förkastar fanerozoiska bergarter vilket innebär att zonerna varit aktiva senare än för ca 280 miljoner år sedan. Zonerna kan dock ursprungligen ha utbildats långt tidigare.

Västra Götalands län kan från *jordartsgeologisk synpunkt* indelas i tre regioner. Den västra delen av länet utgör ett sprickdalslandskap med stor utbredning av kalt berg. Vänerområdet är flackt och har tämligen mäktiga sedimentlager. Israndbildningar utgör där ett markant inslag. De södra och östra delarna av länet domineras av morän. Jorddjupen i länet är vanligen måttliga, mindre än 10 m, i väster tunt, ca 0,5 m eller obefintligt. De största jorddjupen, upp till 100 m finns i dalgångarna samt exempelvis längs Vättern. Nuvarande *landhöjning* är i länets södra del ca 10 cm/100 år och i den norra ca 30 cm /100 år. Länet ligger inom ett bälte där *jordskalv* under historisk tid förekommer mer frekvent. En möjlig indikation på en större, äldre jordskalv i samband med *sen- eller postglacial rörelse* har noterats, d.v.s. skredärret från det s.k. Mariedalsskredet.

Ur *hydrogeologisk synvinkel* kan konstateras att berggrundens genomsläpplighet är jämförelsevis hög i de centrala delarna av länet medan kustområdet norr om Göteborg uppvisar lägre värden. Emellertid är de lokala variationerna stora. Grundvattnets djupa, långa strömbanor utbildas i höjdområdena i de nordvästra och sydöstra delarna av länet och utströmning sker till större vattendrag, Väneren samt till Skagerrak. Grundvattentillgångar av betydelse för den kommunala vattenförsörjningen finns i de stora stråken med isälvsavlagringar. Berggrundsvatten utnyttjas också för kommunal vattenförsörjning men är framför allt en viktig tillgång för den enskilda försörjningen.

Grundvattnets kemiska sammansättning visar att påverkan av syror från nederbörden är något större än riksgenomsnittet. Något lägre pH-värden än genomsnittet tyder på viss allmän föroreningspåverkan. Kloridhalten i brunnarna är förhöjd vilket kan förklaras med förekomst av relik saltvatten i låglänta områden under HK. En annan bidragande orsak kan vara inträngning av salt vatten från Skagerrak till kustnära brunnar.

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 rörelser.

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

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

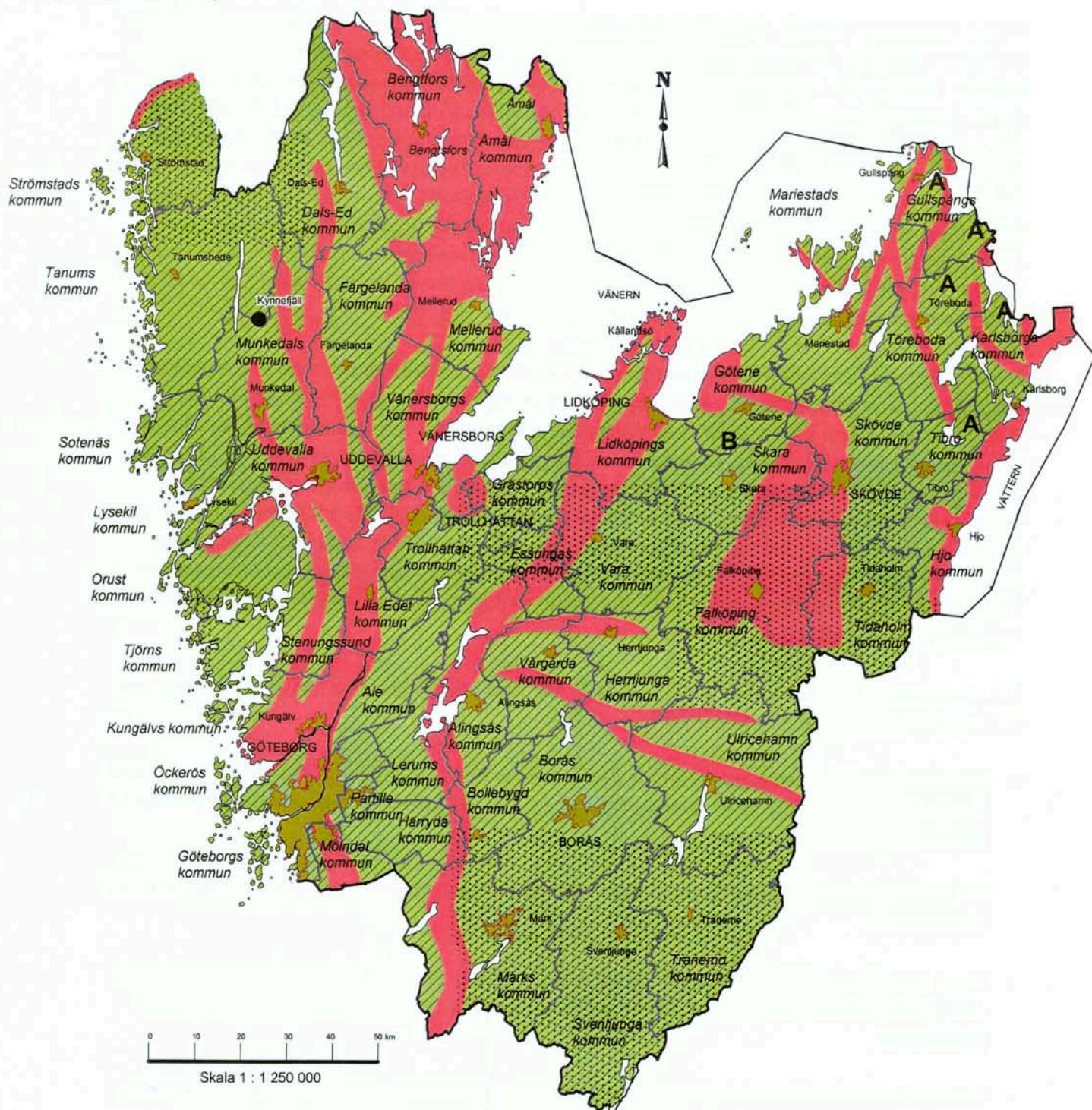
Västra Götalands län har, ur geologisk synvinkel, indelats i områden som bedöms olämpliga respektive lämpliga för vidare studier med syfte att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle, se Figur 24. I de områden där bedömningen sannolikt olämpligt och sannolikt lämpligt har gjorts saknas såväl modern berggrundsgeologisk information i skala 1:50 000 som flyggeofysisk information. Modern jordartsgeologisk information i skala 1:50 000 saknas också i stort sett i dessa områden och i dessa fall baseras bedömningen huvudsakligen på äldre geologiskt material och är mer osäker. Områden som bedömts som 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 grundval av befintligt material. I gränsområdet mot Värmlands och Örebro län har resultaten av motsvarande undersökningar av dessa län beaktats.

Bedömningen i länet baseras på undersökningsområdets förutsättningar med avseende på berggrundens sammansättning, framtida prospekteringsintresse och tolkade deformationszoner. Generellt kan konstateras att frekvensen jordskalv som har registrerats under historisk tid är förhöjd inom länet men på endast en lokal, i Götene kommun, har en möjlig indikation av större, postglaciala rörelser orsakade av äldre jordskalv dokumenterades. Jordtäckets sammansättning och mäktighet samt de hydrogeologiska förhållandena har i denna skala inte legat till grund för att gradera områden med olika geologiska förutsättningar. Detaljerade undersökningar, exempelvis förstudier av enskilda kommuner och platsundersökningar, krävs för att slutgiltigt identifiera berggrundsblock som uppfyller ovannämnda förutsättningar och andra krav som ställs på ett djupförvar.

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

- Ett område i den nordvästra delen av länet i Melleruds kommun, Bengtsfors kommun och Åmåls kommun vilket är av intresse för mineralprospektering. I detta område uppträder också några plastiska skjuvzoner.
- Ett brett bälte i den västra delen av länet där ett system av förgrenade plastiska skjuvzoner förekommer.
- Flera plastiska skjuvzoner med N-S- till NNO-lig samt med O-V-lig riktning i de centrala och nordöstra delarna av länet. De O-V-liga zonerna bildades under högt tryck och hög temperatur.
- Områden bestående av senprekambriska och fanerozoiska bergarter som överlagrar äldre prekambriska bergarter (urberget) vid Vättern och inom de tre platåbergen söder om Vänern. Lagerfölden ovanpå urberget i dessa områden är 100 m (eller mer) mäktig. De överlagrande bergarterna visar en förhöjd vattengenomsläpplighet jämfört med urberget och bergarterna mellan Skövde och Falköping ligger i en förkastningsbetingade urbergs-sänka. Förkastningarna i detta område har varit aktiva efter för ca 280 miljoner år sedan, d.v.s. är i ett geologiskt perspektiv relativt unga.

Områden vilka tolkats som **lämpliga** eller **sannolikt lämpliga** för vidare undersökning utgör större delen av länet. Berggrunden inom dessa områden består av skilda typer av gnejser samt



- Område lämpligt för vidare undersökning men med hög frekvens av jordskalv
- Område sannolikt lämpligt för vidare undersökning men med hög frekvens av jordskalv
- Område sannolikt olämpligt för vidare undersökning
- Område olämpligt för vidare undersökning

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 på äldre geologiskt material och är mer osäker.

Figur 24. Översiktlig bedömning ur geologisk synvinkel av berggrundens lämplighet för vidare undersökning i Västra Götalands län. Områdena A och B refereras till i texten.

i de nordöstra och nordvästra delarna av länet mindre omvandlade respektive icke omvandlade graniter och associerade djupbergarter. Inom de områden som tolkats som lämpliga eller sannolikt lämpliga har regionalt betydande plastiska deformationszoner inte kunnat påvisas och bergarterna är inte intressanta ur prospekteringssynpunkt. Som tidigare påpekats är det berggrundsblocken vilka ligger mellan de uthålliga sprickzonerna och stråken av isälvsavlagringar som kan bli aktuella för lokalisering av ett djupförvar. Det är viktigt att notera koncentrationen av isälvsavlagringar som utgör grundvattentillgångar av regional betydelse i de södra och östra delarna av länet.

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

- Förekomsten av flera mindre plastiska skjuvzoner i den nordöstligaste delen av länet (A i Figur 24) vilka inte har markerats i denna översiktliga studie.
- Möjlig förekomst av förkastningszoner söder om Götene (B i Figur 24), längs vilka större jordskalv har skett efter senaste istiden. Kompletterande studier att bekräfta förekomsten och betydelsen av dessa zoner bör utföras.
- En tendens för den prekambrisk berggrunden att visa högre vattengenomsläpplighet inom de centrala delarna av länet.
- Berggrundens homogenitet inom alla de områden som eventuellt blir föremål för fortsatta undersökningar bör noggrant studeras. Det gäller speciellt gnejsområdet öster om en linje genom Lidköping och Alingsås samt ytbergarterna i Stora Le-Marstrandsgruppen i den västra delen av länet.
- Slutligen bör, på grund av den förhöjda frekvensen av registrerade jordskalv i länet, 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 **Samuelsson, L., Larson, S.-Å., Åhäll, K.I., Lundqvist, I., Brouzell, J. & Berglund, J., 1988:** Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan Borås. Sveriges geologiska undersökning, Ba 41, 1-32.
- 8 **Persson, L. & Wikman, H., 1986:** Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan Jönköping. Sveriges geologiska undersökning, Ba 39, 1-25.
- 9 **Samuelsson, L., 1995:** Provisoriska översiktliga berggrundskartan Uddevalla. Sveriges geologiska undersökning, Ba 50.
- 10 **Shaikh, N.A., Samuelsson, L., Sundberg, A. & Wik, N.-G., 1986:** Malmer, industriella mineral och bergarter i Älvsborgs län. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden 45, 1-191.
- 11 **Samuelsson, L., 1978:** Beskrivning till berggrundskartan Göteborg SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 117, 1-85.
- 12 **Samuelsson, L., 1982:** Beskrivning till berggrundskartan Kungsbacka NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 124, 1-100.
- 13 **Samuelsson, L., 1985:** Beskrivning till berggrundskartan Göteborg NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 136, 1-101.
- 14 **Samuelsson, L. & Åhäll, K.-I., 1985:** Berggrundskartan 7A Marstrand NO/7B Göteborg NV. Sveriges geologiska undersökning, Af 146.

- 15 **Gorbatshev, R., 1987:** Berggrundskartan Vänersborg NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 156.
- 16 **Samuelsson, L. & Åhäll, K.-I., 1990:** Berggrundskartan 8A Lysekil SO/8B Vänersborg SV. Sveriges geologiska undersökning, Af 173.
- 17 **Lundqvist, I., 1997:** Beskrivning till berggrundskartan Vänersborg SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 160, 1-104.
- 18 **Ahlin, S., 1980:** Beskrivning till berggrundskartan Borås SV. Sveriges geologiska undersökning, Af 130, 1-114.
- 19 **Ahlin, S., 1983:** Beskrivning till berggrundskartan Borås SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 143, 1-92.
- 20 **Larson, S.-Å., 1988:** Berggrundskartan Ulricehamn SV. Sveriges geologiska undersökning, Af 159.
- 21 **Larson, S.-Å. & Berglund, J., 1995:** Berggrundskartan Ulricehamn SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 178.
- 22 **Wikman, H., Bruun, Å., Dahlman, B. & Vidal, G., 1982:** Beskrivning till berggrundskartan Hjo NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 120, 1-112.
- 23 **Wikström, A. & Karis, L., 1997:** Berggrundskartan 9E Askersund SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 195.
- 24 **Lundqvist, I. & Skiöld, T., 1993:** U-Pb zircon dating of volcanic rocks of the Åmål Group, western Sweden. *I:* T. Lundqvist (red.), *Radiometric datings results*. — Sveriges geologiska undersökning, C 823, 24-31.
- 25 **Åhäll, K.-I., Cornell, D.H. & Armstrong, R., 1998:** Ion probe zircon dating of metasedimentary units across the Skagerrak: new constraints for early Mesoproterozoic growth of the Baltic Shield. *Precambrian Research* 87, 117-134.
- 26 **Vidal, G., 1985:** Biostratigraphic correlation of the Upper Proterozoic and Lower Cambrian of the Fennoscandian Shield and the Caledonides of East Greenland and Svalbard. *I:* D.G. Gee & B.A. Sturt (red.), *The Caledonide orogeny - Scandinavia and related areas*. — John Wiley & Sons Ltd., 331-338.
- 27 **Connelly, J.N., Berglund, J. & Larson, S.Å., 1996:** Thermotectonic evolution of the Eastern Segment of southwestern Sweden: tectonic constraints from U-Pb geochronology. *I:* T.S. Brewer (red.), *Precambrian Crustal Evolution in the North Atlantic Region*. — Geological Society Special Publication 112, 297-313.
- 28 **Åhäll, K.-I. & Gower, C.F., 1997:** The Gothian and Labradorian orogens: variations in accretionary tectonism along a late Paleoproterozoic Laurentia-Baltica margin. *GFF* 119, 181-191.

- 29 **Holme, K. & Lindh, A., 1991:** The chemical composition of the Ursand granite, SW Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 113, 131-137.
- 30 **Berglund, J., 1997:** Mid-Proterozoic evolution in south-western Sweden. Doktorsavhandling A15. Institutionen för geovetenskaper, Geovetarcentrum, Göteborgs universitet, 1-17.
- 31 **Andersson, J., 1996:** Sveconorwegian influence on the ca. 1.36 Ga old Tjärnesjö granite, and associated pyroxene-bearing quartz-monzonites in southwestern Sweden. *GFF Jubilee Issue* 118, A7-A8.
- 32 **Åhäll, K.-I., Samuelsson, L. & Persson, P.-O., 1997:** Geochronology and structural setting of the 1.38 Ga Torpa granite; implications for charnockite formation in SW Sweden. *GFF* 119, 37-43.
- 33 **Eliasson, T. & Schöberg, H., 1991:** U-Pb dating of the post-kinematic Sveconorwegian (Grenvillian) Bohus granite, SW Sweden: evidence of restitic zircon. *Precambrian Research* 51, 337-350.
- 34 **Brotzen, O., 1961:** On Some Age Relations in the Pre-Cambrian of South-western Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 83, 227-252.
- 35 **Romer, L.R. & Smeds, S.-A., 1996:** U-Pb columbite ages of pegmatites from Sveconorwegian terranes in southwestern Sweden. *Precambrian Research* 76, 15-30.
- 36 **Wahlgren, C.H., Heaman, L.M., Kamo, S. & Ingvald, E., 1996:** U-Pb baddeleyite dating of dolerites dykes in the eastern part of the Sveconorwegian orogen, south-central Sweden. *Precambrian Research* 79, 227-237.
- 37 **Asklund, B., 1950:** Kosteröarna, ett nyckelområde för västra Sveriges prekambrisk geologi. *Sveriges geologiska undersökning, C* 517, 1-56.
- 38 **Sundvoll, B. & Larsen, B.T., 1993:** Rb-Sr and Sm-Nd relationships in dyke and sill intrusions in the Oslo Rift and related areas. *Norges geologiske undersøkelse, Bulletin* 425, 25-42.
- 39 **Sidenbladh, E., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Wenersborg". *Sveriges geologiska undersökning, Aa* 40, 1-111.
- 40 **Asklund, B., 1947:** Svenska stenindustriområden I—II. Gatsten och kantsten. *Sveriges geologiska undersökning, C* 479, 1-187.
- 41 **Tegengren, F.R., m.fl., 1924:** Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning, Ca* 17, 1-406.

- 42 **Magnusson, N.H., 1973:** Malm i Sverige. 1. Mellersta och södra Sverige. Almqvist & Wiksell, 320 s.
- 43 **Alm, E., Broman, C. & Sundblad, K., 1996:** Fluid inclusions in the Harnäset gold quartz veins, southwestern Sweden. GFF Jubilee Issue 118, A43.
- 44 **Johansson, Å., 1985:** The Dalslandian sulphide-bearing quartz veins of Dalsland and Värmskog southwest Sweden. Sveriges geologiska undersökning, C 809, 1-48.
- 45 **Andréasson, P.G., Solyom, Z. & Johansson, I., 1987:** Geotectonic significance of Mn-Fe-Cu-Ag mineralizations along the Sveconorwegian-Grenvillian front in Scandinavia. Economic Geology 82, 201-207.
- 46 **Alm, E., Broman, C., Wahlgren, C.-H. & Sundblad, K., 1998:** Structural features and fluid inclusions in the Harnäs area, SW Sweden - clues to the evolution of the gold-bearing Mjølisa-Vänern Belt. Abstracts 23rd Nordic Geological Winter Meeting, Århus, 13-16 January 1998, 16.
- 47 **Sundius, N., 1952:** Kvarts, fältspat och glimmer samt förekomster därav i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, C 520, 1-231.
- 48 **Länsstyrelsen i Älvsborgs län, 1995:** Kvartsithushållningsplan för Dalsland. Beslut med bilagor. Länsstyrelsen Älvsborgs län, Miljö och planenheten Dnr 233-16862-93.
- 49 **Andersson, A., Dahlman, B. & Gee, D.G., 1983:** Kerogen and uranium resources in the Cambrian alum shales of the Billingen-Falbygden and Närke areas, Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 104, 197-209.
- 50 **Lundegårdh, P.H., 1971:** Nyttosten i Sverige. Almqvist & Wiksell, 271 s.
- 51 **Fries, J.O., 1866:** Några ord till upplysning om bladet "Wårgårda". Sveriges geologiska undersökning, Aa 20, 1-57.
- 52 **Fries, J.O., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Wiskafors". Sveriges geologiska undersökning, Aa 41, 1-32.
- 53 **Törnebohm, A.E., 1866:** Några ord till upplysning om bladet "Ulricehamn". Sveriges geologiska undersökning, Aa 21, 1-47.
- 54 **Törnebohm, A.E., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Upperud". Sveriges geologiska undersökning, Aa 37, 1-90.
- 55 **Törnebohm, A.E., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Wingershamn". Sveriges geologiska undersökning, Aa 36, 1-14.

- 56 **Törnebohm, A.E., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Åmål". Sveriges geologiska undersökning, Aa 34, 1-65.
- 57 **Stolpe, M., 1868:** Några ord till upplysning om bladet "Borås". Sveriges geologiska undersökning, Aa 28, 1-44.
- 58 **Hummel, D. & Erdmann, E., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Baldersnäs". Sveriges geologiska undersökning, Aa 35, 1-118.
- 59 **Karlsson, V., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Svenljunga". Sveriges geologiska undersökning, Aa 33, 1-36.
- 60 **Karlsson, V., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Degeberg". Sveriges geologiska undersökning, Aa 38, 1-19.
- 61 **Karlsson, V. & Wahlqvist, A.H., 1870:** Några ord till upplysning om bladet "Rådanefors". Sveriges geologiska undersökning, Aa 39, 1-45.
- 62 **Magnusson, N.H. & von Post, L., 1929:** Beskrivning till kartbladet Säffle. Sveriges geologiska undersökning, Aa 167, 1-96.
- 63 **Larsson, W. & Sandegren, R., 1956:** Beskrivning till kartbladet Vårvik. Sveriges geologiska undersökning, Aa 187, 1-166.
- 64 **Mohrén, E. & Larsson, W., 1974:** Beskrivning till kartbladet Levene. Sveriges geologiska undersökning, Aa 201, 1-156.
- 65 **Björklund, L. & Weihed, P., 1997:** Geochemistry and tectonic setting of the Orvar Hill mafic volcanic rocks of the Tiveden area, south-central Sweden. GFF 119, 127-134.
- 66 **Park, R.G., Åhäll, K.I. & Boland, M.P., 1991:** The Sveconorwegian shear-zone network of SW Sweden in relation to Mid-Proterozoic plate movements. Precambrian Research 49, 245-260.
- 67 **Åhäll, K.-I., 1995:** Crustal units and the role of the Mylonite Zone system in the Varberg-Horred region, SW Sweden. GFF 117, 185-198.
- 68 **Berglund, J., Larson, S.Å. & Vinnefors, A., 1997:** Sveconorwegian extension-parallel deformation; example from the Hammarö Shear Zone, SW Sweden. GFF 119, 169-180.
- 69 **Park, R.G., Åhäll, K.-I., Crane, A. & Daly, J.S., 1987:** The structure and kinematic evolution of the Lysekil-Marstrand area, Östfold-Marstrand belt, southwestern Sweden. Sveriges geologiska undersökning, C 816, 1-42.
- 70 **Berthelsen, A., 1980:** Towards a palinspastic analysis of the Baltic shield. International Geological Congress, Colloquium C6, Paris, 5-21.

- 71 **Larsson, W., 1938:** Die Svinesund-Kosterfjord Überschiebung. Sveriges geologiska undersökning, C 411, 1-32.
- 72 **Ahlin, S., 1987:** Phanerozoic faults in the Västergötland basin area, SW Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 109, 221-227.
- 73 **Lidmar-Bergström, K., 1993:** Denudation surfaces and tectonics in the southernmost part of the Baltic Shield. Precambrian Research 64, 337-345.
- 74 **Månsson, A.G.M., 1996:** Brittle reactivation of ductile basement structures; a tectonic model for the Lake Vättern basin, SW Sweden. GFF Jubilee Issue 118, A19.
- 75 **Larson, S.Å., Berglund, J., Stigh, J. & Tullborg, E.-L., 1990:** The Protopine Zone, southwest Sweden: a new model – an old issue. I: C.F. Gower, T. Rivers & B. Ryan (red.), *Mid-Proterozoic Laurentia-Baltica*. — Geological Association of Canada, Special Paper 38, 317-333.
- 76 **Fredén, C., 1994:** Jordarterna. I: C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas, 104-119.
- 77 **Fredén, C., 1974:** Beskrivning till jordartskartan Vänersborg NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 17, 1-83.
- 78 **Fredén, C., 1980:** Beskrivning till jordartskartan Göteborg NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 40, 1-75.
- 79 **Fredén, C., 1984:** Beskrivning till jordartskartan Vänersborg SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 48, 1-90.
- 80 **Fredén, C., 1987:** Beskrivning till jordartskartan Marstrand NO/Göteborg NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 63, 1-91.
- 81 **Fredén, C., 1990:** Beskrivning till jordartskartan Borås NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 107, 1-90.
- 82 **Fredén, C., 1997:** Beskrivning till jordartskartan Borås NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 114, 1-66.
- 83 **Magnusson, E., 1978:** Beskrivning till jordartskartan Göteborg SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 26, 1-154.
- 84 **Påsse, T., 1982:** Beskrivning till jordartskartan Kungsbacka SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 56, 1-106.
- 85 **Hilldén, A., 1984:** Beskrivning till jordartskartan Borås SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 58, 1-65.

- 86 **Hilldén, A., 1985:** Beskrivning till jordartskartan Gislaved NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 75, 1-59.
- 87 **Hilldén, A., 1986:** Beskrivning till jordartskartan Ulricehamn SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 83, 1-72.
- 88 **Hilldén, A., 1991:** Beskrivning till jordartskartan Ulricehamn SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 109, 1-73.
- 89 **Adriellsson, P. & Fredén, C., 1987:** Beskrivning till jordartskartan Göteborg SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 72, 1-103.
- 90 **Adriellsson, P. & Klingberg, F., 1989:** Beskrivning till jordartskartorna Kungsbacka NV och SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 95-96, 1-73.
- 91 **Lundqvist, J. & Lagerbäck, R., 1976:** The Pärve Fault: A lateglacial fault in the Precambrian of Swedish Lapland. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 98, 45-51.
- 92 **Lagerbäck, R., 1979:** Neotectonic structures in northern Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 100, 263-269.
- 93 **Mörner, N.-A., 1978:** Faulting, fracturing, and seismicity as functions of glacioisostasy in Fennoscandia. *Geology* 6(1), 41-45.
- 94 **Mörner, N.-A., 1979:** Earth movements in Sweden, 20 000 BP to 20 000 AP. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 100, 279-286.
- 95 **Mörner, N.-A., 1979:** The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence. *GeoJournal* 3.3, 287-318.
- 96 **Muir Wood, R., 1993:** A review of the seismotectonics of Sweden. SKB TR 93-13, 1-225.
- 97 **Wikner, T., Fogdestam, B., Carlstedt, A. & Engqvist, P., 1991:** Beskrivning till kartan över grundvattnet i Skaraborgs län. Sveriges geologiska undersökning, Ah 9, 1-83.
- 98 **Engdahl, M., Engqvist, P. & Fogdestam, B., under tryckning:** Beskrivning till kartan över grundvattnet i Göteborgs och Bohus län. Sveriges geologiska undersökning, Ah 12.
- 99 **Engqvist, P. & Müllern, C.-F., under tryckning:** Beskrivning till kartan över grundvattnet i Älvsborgs län. Sveriges geologiska undersökning, Ah 13.
- 100 **SGU, 1994:** Grundvattnet i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ah 17 (karta, 1:1 miljon).

- 101 **SMHI, 1995:** Sveriges Vattensystem. I: B. Raab & H. Vedin (red.), *Klimat, sjöar och vattendrag*. — Sveriges Nationalatlas, 116-123.
- 102 **Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977:** Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock. *Nordic Hydrology* 8, 103-116.
- 103 **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, ordlistan i Bengt E H Loberg: Geologi, 4:e upplagan samt TNC 86 Geologisk ordlista.

- Albit.** Natriumrik plagioklasfältspat.
- Alkalin bergart.** Magmatisk bergart karakteriserad av hög halt av natrium och kalium i förhållande till kisel och aluminium.
- Alkalinitet.** Förmåga hos vatten att binda syror.
- Amfibol.** En grupp av silikater med prismatisk kristallform. De viktigaste mineralen i gruppen är hornblände och aktinolit-tremolit.
- Amfibolit.** Metamorf bergart bestående av huvudsakligen amfibol och plagioklas.
- Anatektisk.** Bildad genom uppsmältning av äldre bergarter.
- Andalusit.** Aluminiumsilikat.
- Andesit.** Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas och mörka mineral t.ex. hornblände, pyroxen, biotit.
- Anomali.** Lokal avvikelse.
- Antiform.** En ryggformad upphöjning som uppkommit genom veckning av en lagerserie. Motsats till synform.
- Antropogen.** Orsakad eller påverkad av människan.
- Aplit.** Finkornig, granitisk bergart med låg halt av mörka mineral. Uppträder vanligtvis som gångar.
- Arenit (sandsten).** Sedimentär bergart med kornstorlek 0,06-2 mm.
- Argillit.** Finkornig sedimentär bergart som bildats ur lera och silt.
- Arkos.** Sandsten som innehåller minst 25% fältspatfragment.
- Aureol.** Område med speciell karaktär kring en bergartsintrusion.
- Axialplan.** Se veckaxelplan.
- Baltiska Issjön.** En av flera isdämda sjöar som bildades i nuvarande Östersjö-området i samband med inlandsisens avsmältning. Baltiska Issjön dränerades för ca 11 200 år sedan.
- Bandning.** Omväxlande mer eller mindre parallella lager med olika färg, kornstorlek, mineralsammansättning osv.
- Basalt.** Basisk vulkanisk bergart.
- Basisk bergart.** Bergart med 45-52 viktprocent SiO_2 .
- Bergart.** Sammanhållet aggregat av ett eller vanligen flera mineral.
- Bentonit.** Mjuk, plastisk lera.
- Biotit.** Mörkt glimmermineral.
- Blyglans.** Sulfidmineral. Blyglans är det viktigaste blymineralet.
- Breccia.** Bergart som består av kantiga bitar i en mer finkornig mellanmassa.
- Böljeslagsmärke.** Symmetrisk, vågliknande struktur i sediment bildad genom vattnets vågrörelser över sedimenten.
- Charnockit.** Granit som innehåller mineralen ortopyroxen (en pyroxen med rombisk kristallstruktur).
- Cordierit.** Ett silikatmineral vanligt i metamorfa bergarter.
- Dacit.** Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas, kvarts och mörka mineral.
- Deformationszon.** En svaghetszon i berggrunden utefter vilken berggrunden på ömse sidor rört sig i förhållande till varandra.
- Diabas.** En gångbergart som bildar mer eller mindre branta skivor i berggrunden.
- Diabasgång.** Se diabas.
- Diamantborrning.** Undersökningsborrning med diamantsatt borrkrona. Borrningen syftar till att ta upp en serie prov, borrkärna, av berggrunden.
- Digital.** Representation av data med hjälp av siffror.
- Diorit.** Intermediär djupbergart som domineras av plagioklas och mörka mineral.
- Diopsid.** Se pyroxen.
- Diskordans.** Avbrott i en lagerserie där lagren över och under avbrottet bildar vinkel mot varandra.
- Dissemination.** Spridd fördelning i bergart av ett eller flera mineral.
- Djupbergart.** Magmatisk bergart som kristalliserat (stelnat) i djupare delar av jordskorpan.
- Dolomit.** Bergart huvudsakligen bestående av mineralet dolomit (Kalcium-magnesiumkarbonat).
- Drumlin.** I inlandsisens eller glaciärs rörelseriktning utsträckt elliptisk rygg, huvudsakligen bestående av morän.
- Eem.** Värmepérioden 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.

Finno. Jordart med kornstorleken 0.02-0.06 mm.

Flygsand. Sand avlagrad av vinden.

Flyttblock. Stora av inlandsisen transporterade block.

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

Fossil. Förstenade lämningar efter djur och växter.

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

Förskiffring. Planstruktur i en bergart definierad av parallellorientering av mineral Korn. Bildad under högt tryck och temperatur.

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

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

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

Glaciation. Nedisning.

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

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

Gnejsgranit. Omvandlad (förgnejsad) granit.

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

Granatådergnejs. Granatförande ådergnejs.

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

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

Grus. Jordart med kornstorlek 2-20 mm.

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

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

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

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

Hematit. Järnoxidmineral.

HK = Högsta Kustlinjen

Hornblände. Se amfibol.

Hybridbergart. Blandbergart.

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

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

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

Ignimbrit. Vulkanisk bergart avlagrad av ett pyroklastiskt flöde.

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

Illit. Glimmerliknande lermineral.

Inlandsis. Ismassa som täcker stora delar av en kontinent.

Interglacial. Tiden mellan två istider.

Intermediär bergart. Bergart med 52-65 viktprocent 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. En kaliumrik 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 borrhäls kärna erhålles (jfr diamantborrning). Det finkorniga material som bildas vid borrningen kallas borrhäls kax. Kaxet kan studeras på olika sätt och ge information om berggrunden i borrhålet.

Klorit. Glimmerliknande, vanligen grönt, silikatmineral.

Koboltglans. Ett silvervitt kobolthaltigt sulfidmineral.

Konduktivitet. Elektrisk ledningsförmåga hos vatten.

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

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

Kraton. Konsoliderad och stabil del av den kontinentala jordskorpan.

Kratonisering. Konsolidering och stabilisering av jordskorpan.

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

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

Kvarts. Kiseldioxid (SiO_2).

Kvartsit. Mycket hård, kvartsrik, sedimentär bergart.

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

Landhöjning. Höjning av landytan i förhållande till havsytan.

Laumontit. Silikatmineral bildat genom omvandling av fältspat.

Lava. Magma som trängt ut på jordytan.

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

Lera. Jordart med kornstorlek < 0.002 mm.

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

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

Lineament. Rak eller svagt böjd långsträckt struktur.

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

Magma. Smält berg.

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

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

Magnetiska konnektioner. Se formlinjer.

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

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

Magnitud. Mått på styrkan av en jordbävning.

Malm. En mineralkoncentration som är ekonomiskt brytvärd.

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

Marmor. Genom metamorfos omkristalliserad kalksten eller dolomit.

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

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

Metabasit. Omvandlad basisk bergart.

Metamorf. Omvandlad.

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

Metasedimentär bergart. Omvandlad, ursprungligen sedimentär bergart.

Metavulkanisk bergart. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

Metavulkanit. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

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

Migmatitgranit. Granit bildad genom uppsmältning av äldre berggrund.

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

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

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

Mjåla. Jordart med kornstorlek 0.002-0.02 mm.

Mo. Jordart med kornstorlek 0.02-0.2 mm.

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

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

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

Moränbacklandskap. Kuperad terräng av morän.

Muskovit. Ljust glimmermineral.

Mylonit. Finkornig bergart bildad genom mycket stark plastisk deformation.

Mylonitzonen. En starkt mylonitiserad zon i Sydvästsveriges gnejsberggrund.

Nefelin. Ett fältspatliknande mineral rikt på natrium.

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

Neosom. Nybildat (rekristalliserat) material i en migmatit.

Neotektonik. Unga tektoniska rörelser i jordskorpan.

Norit. Basisk djupbergart.

Olivin. Järn-magnesiumsilikat som 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.

pH. Surhetsgrad hos vatten.

Pimpsten. Ljus, porös, pyroklastisk bergart.

Plagioklas. En fältspat rik i sodium och kalcium.

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

Plastisk skjuvzon. Se plastisk deformation.

Plattekonik. 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)

Prehmit. Silikatmineral.

Prekambrium. Geologisk tidsålder, äldre än 545 miljoner år.

Primorogen. Se tidigorogen.

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

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

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

Pyroklastiskt fall. Nedfall av vulkaniska utbrottsprodukter från luften.

Pyroxen. Mineralgrupp med prismatisk kristallform.

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

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

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

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

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

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

Resistivitet. (Elektriskt) motstånd.

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

Rörelsebelopp. Mått på storleken av t ex en förkastning.

Sand. Jordart med kornstorlek 0,06-2,0 mm.

Sandsten. Se arenit.

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

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

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

Sedimentgnejs. Gnejsomvandlad sedimentär bergart.

Sedimentär bergart. Till en bergart hopläkt sediment.

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

Sen-glacial förkastning. Se neotektonik.

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

Siljansringen. Rund struktur vid Siljan bildad vid meteoritnedslag.

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

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

Sillimanit. Aluminiumsilikat.

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

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

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

Skjuvzon. Ett linjärt berggrundsområde som kännetecknas av intensiv deformation.

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

Sköl. Zon med svagare berg än omgivningen.

Slira. Ett oregelbundet slingrande parti i en bergart.

Smektit. Ett lermineral. Viktig beståndsdel i bentonit.

Susceptibilitet. En bergarts förmåga att magnetiseras.

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

Sprickzon. Se spröd deformation.

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

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

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

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

Strukturella formlinjer. Se formlinjer.

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

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

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

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

Sur bergart. Bergart med > 65 viktprocent SiO₂.

Svallning. Vågornas eroderande verkan på en strand.

Svallsediment. Genom svallning frigjort material som sedan avsatts.

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

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

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

Tidigorogen. Beteckning på de äldsta djupbergarterna i en orogenes.

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

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

Torkspricka. Spricka uppkommen genom uttorkning av en finkornig sediment.

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

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

Totalhårdhet. Sammanlagda halten av kalcium och magnesium i vatten.

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

Tremolit. Se amfibol.

Tuff. Bergart bestående av bl a vulkanisk aska.

Tuffit. Bergart bestående av vulkanisk aska blandad med sediment.

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

Ultrabasisk bergart. Djupbergart med extremt låg (< 45 viktprocent) 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.

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

Vulkanisk aska. Finkornig produkt vid vulkanutbrott.

Vulkanisk bergart. Bergart bildad genom vulkaniska processer.

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

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

Vulkanit. Se vulkanisk bergart.

Weichsel-Istiden. Den senaste istiden i Sverige.

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

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

Ådergnejs. En form av migmatit med ådrig struktur.

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