

R-98-26

Översiktsstudie av Östergötlands län

Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Torbjörn Bergman, Jonas Gierup,
Anders Lindén, Michael Stephens, Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Augusti 1998

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864
SE-102 40 Stockholm Sweden
Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00
Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



Översiktsstudie av Östergötlands län

Geologiska förutsättningar

Ildikó Antal, Torbjörn Bergman, Jonas Gierup,
Anders Lindén, Michael Stephens, Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Augusti 1998

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

i

1	Inledning	1
2	Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar	1
3	Östergötlands län i ett regionalt geologiskt perspektiv	5
	Berggrundsgeologi	5
	Jordartsgeologi och jordskalv	5
	Hydrogeologi	8
4	Bergarter och berggrundens homogenitet	8
	Ytbergarter	8
	Djupbergarter	15
	Gångbergarter	16
	Impaktstruktur	16
	Berggrundens homogenitet	16
5	Mineral- och bergartsresurser	16
	Översikt över mineral- och bergartsresurser	17
	Metalliska mineralresurser	17
	Icke-metalliska mineralresurser	19
	Nyttosten	19
	Pågående prospektering	19
	Potentiellt prospekteringsintressanta områden	19
6	Deformationszoner	20
	Definitioner och metodik	20
	Plastiska skjuvzoner	23
	Sprickzoner och förkastningar	23
	Deformationszoner i tid och rum	25
7	Jordarter, jorddjup samt sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan	26
	Isavsmältning och postglacial utveckling	26
	Jordarter och jorddjup	26
	Sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv	29
8	Hydrogeologi	29
	Grundvattnets bildning och strömning	31
	Grundvattentillgångar	35
	Berggrundens genomsläpplighet	35
	Grundvattnets kemi	37
9	Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar	40
	Sammanfattande slutsatser	40
	Områden lämpliga för vidare undersökning	41
10	Referenser	45

BILAGA

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

1 Inledning

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

Länsöversikten baseras på befintlig, ibland ofullständig information i form av analoga eller digitala berggrundsgeologiska kartor, jordartskartor och tematiska kartor av olika slag samt beskrivningar till dessa kartor, se Figur 2. Digitala höjddata och flyggeofysisk information har använts framför allt för studier av deformationszoner, medan data från bland annat SGUs brunnsarkiv nyttjats för studier av jordmäktighet, hydrogeologi och vattenkemi. I de följande kapitlen redovisas i detalj vilka data som använts för respektive delstudie. Moderna berggrundsgeologiska kartor i skala 1:50 000, jordartsgeologiska kartor i skala 1:50 000 och flyggeofysiska data täcker över hälften av länets yta. Omfattningen av länsöversikten har inte medgivit att hänsyn kunnat tas till detaljstudier i enskilda områden.

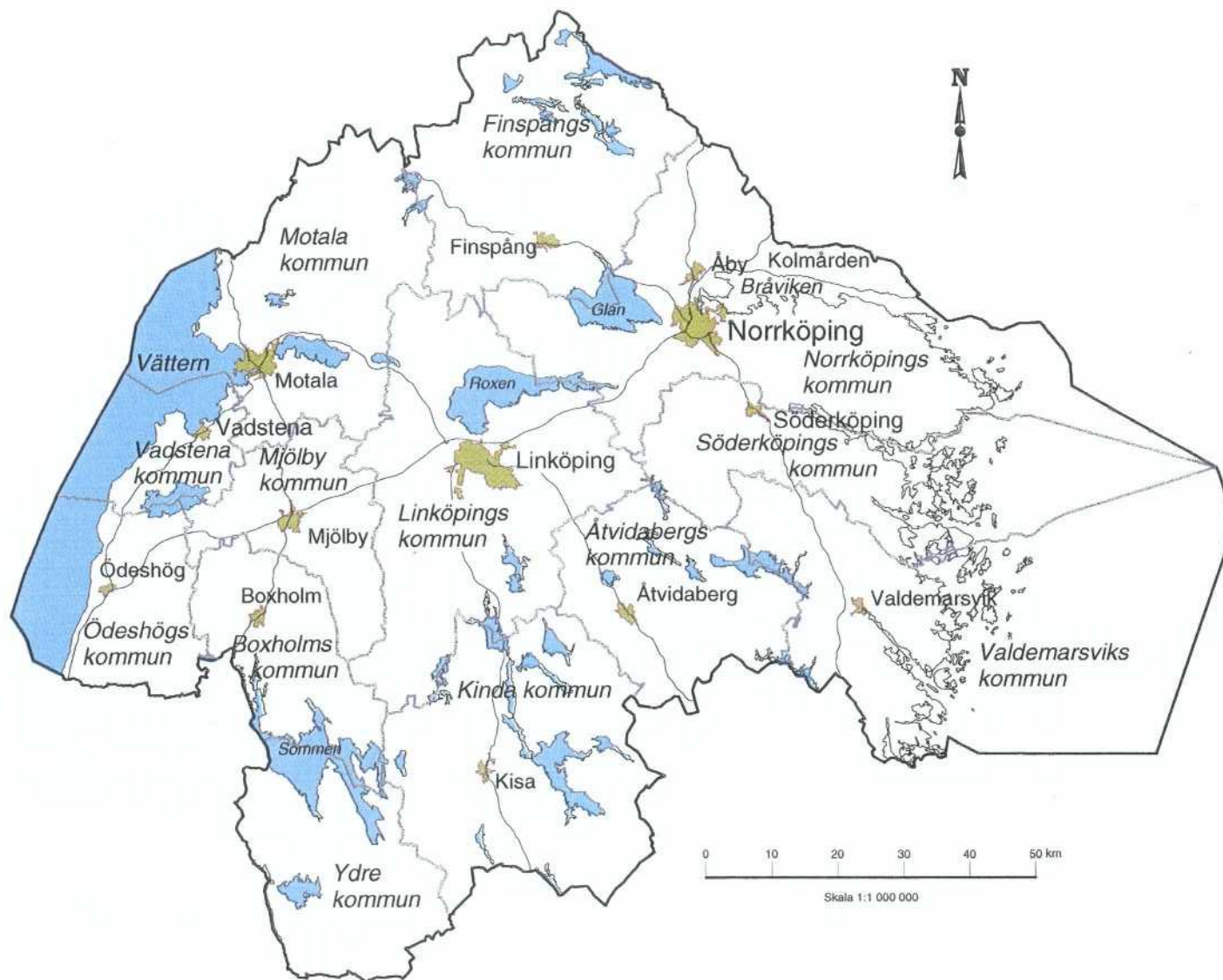
För att uppfylla kravet på vetenskaplig relevans kombinerad med rimlig förståelse för läsare utan geovetenskaplig bakgrund har förklaringar till facktermer inkluderats. Dels ges förklaringar till termerna i texten första gången de förekommer, dels har en geologisk ordlista bifogats, se Bilaga A. I flera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

2 Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar

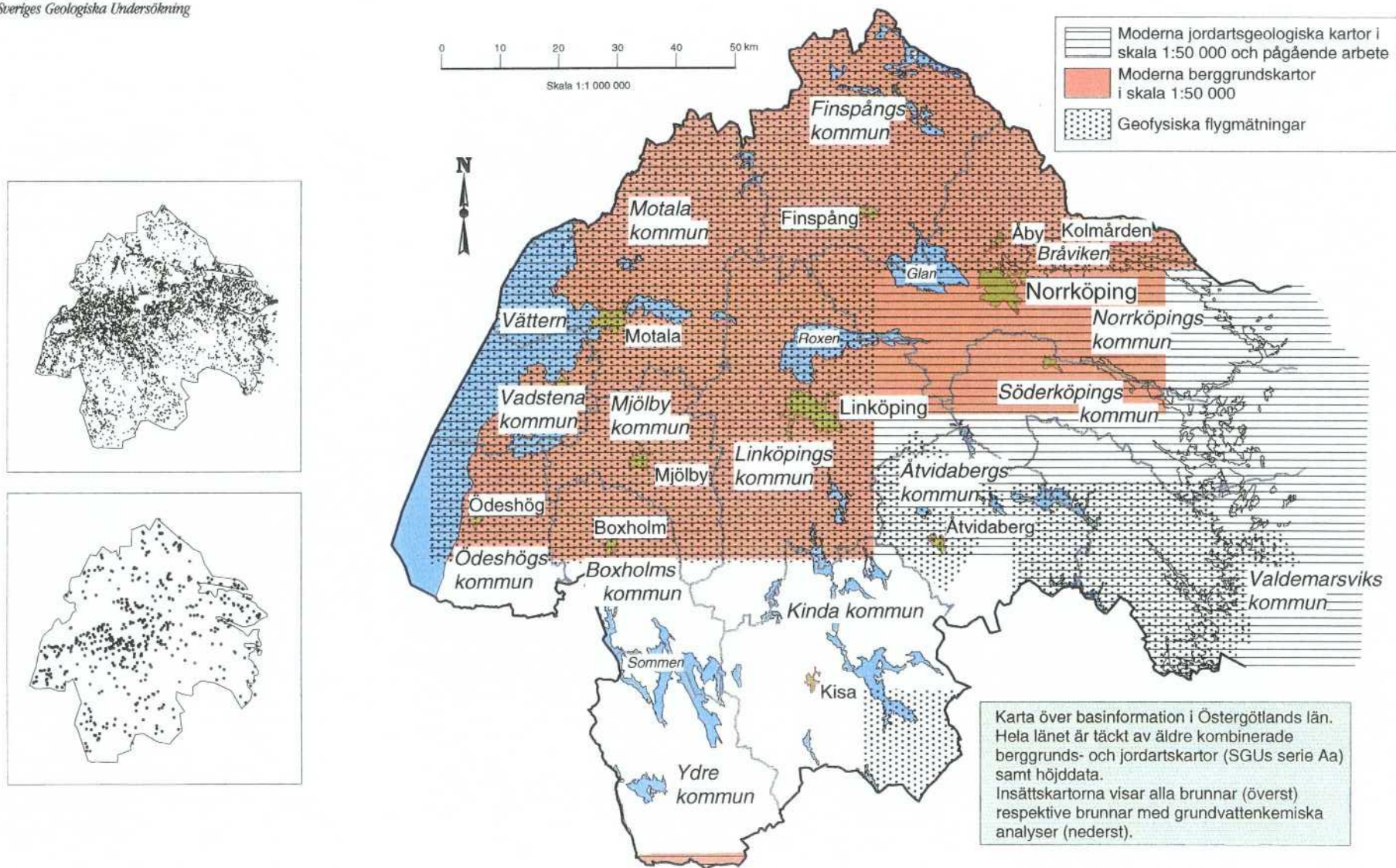
De geologiska lokaliseringsfaktorer som studerats är berggrundens sammansättning och homogenitet, förekomst av mineral och bergartsresurser, regionala deformationszoner, jordlagrens sammansättning och mäktighet, sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan, landhöjning samt hydrogeologiska förhållanden.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

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

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



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



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

Jordlagrens sammansättning och mäktighet saknar direkt betydelse för den långsiktiga säkerheten. Däremot påverkas förutsättningarna för att göra nödvändiga undersökningar av berggrunden inför lokaliseringen av ett djupförvar. Mäktiga och komplexa jordlager försvårar även själva anläggningsarbetet. Isälvsavlagringar bör behandlas med försiktighet på grund av deras stora betydelse för grundvattenförsörjningen.

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

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

SGU saknar kompetens för att värdera påverkan av jordskalv på ett djupförvar. Emellertid finns en nyligen publicerad rapport som behandlar denna fråga /1/. Enligt rapporten har ett skalv med en magnitud lägre än 6,5 ingen direkt påverkan på ett förslutet djupförvar, förutsatt att avståndet mellan förvaret och den sprickzon (förkastning) där skalvet sker är minst 100 m. Studier i andra länder visar att skalv med magnitud 6 eller större sker i kilometerlånga sprickzoner. Zoner med en sådan uthållighet bör kunna identifieras vid platsundersökningar och därmed undvikas i ett djupförvars närområde.

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

Berggrundsgeologi

Berggrunden i centrala Sverige bildades och omvandlades huvudsakligen för ca 1900-1500 miljoner år sedan under och efter den s.k. svekokarelska orogenesisen (bergskedjebildningen), se Figur 3 /2/. Under denna period bildades magmatiska yt- och djupbergarter samt sedimentära bergarter. De bergarter som idag återfinns vid ytan är vanligen mer eller mindre deformerade och omvandlade. Omvandling och deformation har skett på 10-15 km djup i jordskorpan och vid temperaturer i intervallet 400-800°C. Från Vättern och västerut präglas berggrunden av yngre deformation och omvandling (ca 1100-900 miljoner år) som skett under den s.k. svekonorvegiska orogenesisen, se Figur 3.

Berggrunden i de södra och västra delarna av Östergötlands län utgörs till stor del av graniter och sura vulkaniska bergarter (ca 1850-1810 miljoner år). Dessa bergarter tillhör det s.k. Transskandinaviska magmatiska bältet, som sträcker sig från sydöstra Sverige mot nordväst genom Småland och Dalarna in i Norge, Figur 3. Till skillnad mot i de ovannämnda delarna av länet dominerar metavulkaniska och metasedimentära bergarter (ca 1900 miljoner år), omvandlade granitoider (ca 1890-1870 miljoner år) samt yngre graniter och pegmatiter (ca 1850-1750 miljoner år) i de norra och östra delarna av Östergötlands län. Prefixet "meta" betyder att bergarten har genomgått omvandling (metamorfos). I länets centrala, västra del finns sedimentära bergarter (ca 700-420 miljoner år) bevarade i förkastningsbetingade urbergssänkor. Den största utbredningen har de fanerozoiska bergarterna (ca 545-420 miljoner år).

Den norra och nordöstra delen av Östergötlands län utgör den sydostligaste delen av Mellansveriges malmprovins och ett flertal zink-, bly- och järnmalmer förekommer i dessa delar. Ingen malmbrytning sker dock idag inom länet, men strax intill länsgränsen, i Örebro län, bryts sedan 1800-talet Sveriges största zinkmalm vid Zinkgruvan. I den nordvästligaste delen av länet bedrivs också för närvarande aktiv prospektering efter nya zink- och blyförekomster.

Plastiska skjuvzoner i länet tillhör två olika, regionalt betydande system av plastiska deformationszoner i centrala Sverige. Viktiga yngre, spröda deformationszoner (sprickzoner och förkastningar) följer i många fall de äldre plastiska strukturerna, s.k. reaktivering, men bildar också egna system.

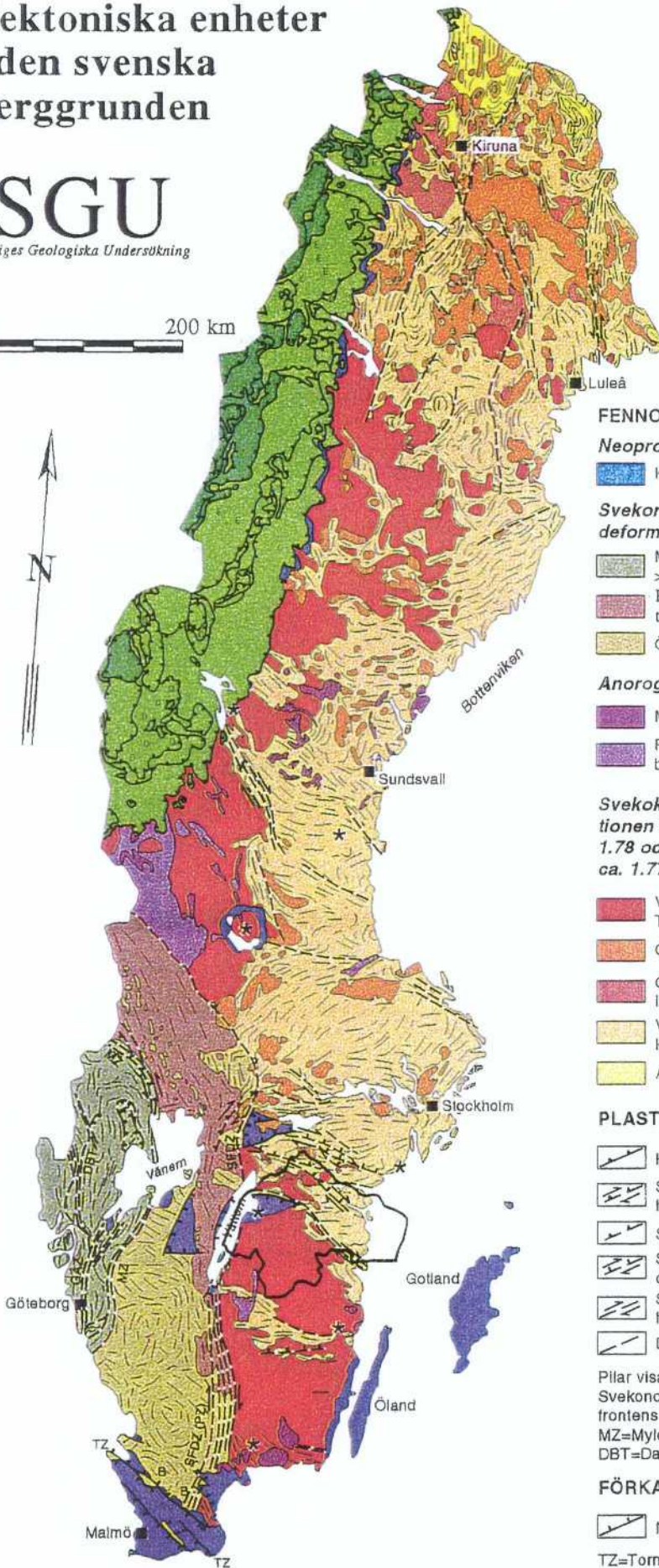
Jordartsgeologi och jordskalv

Länets jordartsgeologi är starkt växlande, se Figur 4 /3/, och fyra skilda regionala jordartsområden förekommer i Östergötland. Södra halvan av länet tillhör Sydsveriges moränområde med dominans av morän och berg i dagen samt i dalgångarna ofta isälvsavlagringar. Inom västra, centrala delen, ett av södra Sveriges områden med fanerozoisk berggrund, har moränen ofta finkornigare sammansättning än inom de övriga jordartsområdena. Komplexa lagerföljder är rikligt förekommande i avlagringar tillhörande den mellansvenska israndzonen, vilken löper genom området. Stora isälvsavlagringar karaktäriserar området och glacial lera samt silt har stor utbredning. Länets östra delar ingår i ost- och västkustens berg och lerområde där kalt berg är förhärskande och även lera har stor utbredning. Den norra delen av Östergötland hör till nordöstra Götalands och östra Svealands berg-, morän- och lerområde. Lera blir allt mer sällsynt mot norr.

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
- B Jurassiska och kretaceiska basaltkupper
- A Underkambriskt alkalint magmatiskt komplex (Alnöön)
- ★ 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 basall

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 Protoginonen, MZ=Mylonitizonen, GÄZ=Göta Älvzonen och DBT=Dalslandszonen

FÖRKASTNINGAR

- Normalförcastning

TZ=Tornquistzonen

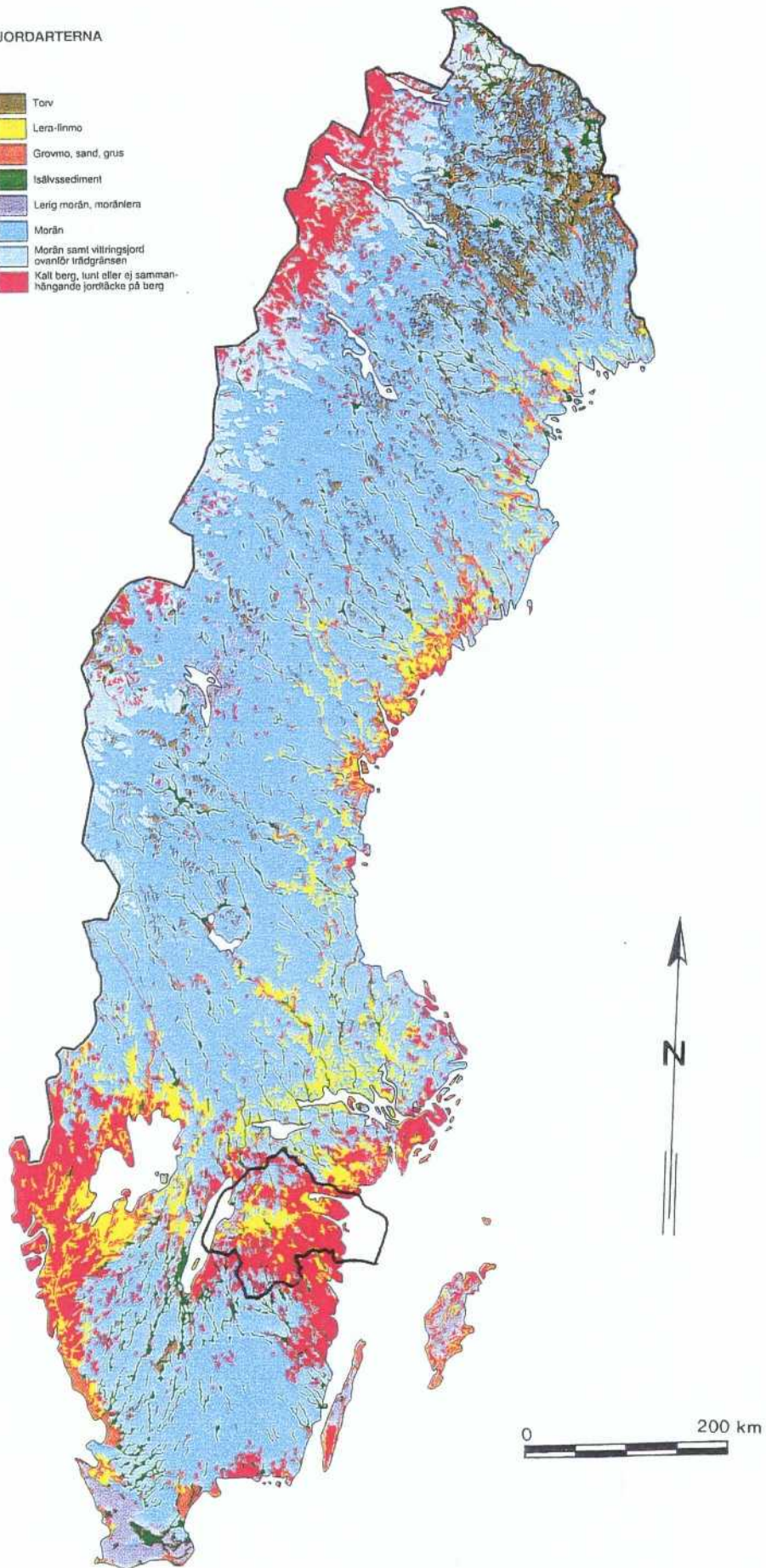
TMB*=Transskandinaviska magmatiska bältet
1 Ma=1 miljon år, 1 Ga=1000 miljoner år

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

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

JORDARTERNA

-  Torv
-  Lera-linno
-  Grömo, sand, grus
-  Isövsediment
-  Leric morän, moränlera
-  Morän
-  Morän samt viltingsjord ovanför trädgränsen
-  Kall berg, lunt eller öj sammanhängande jordläcke på berg



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

Länets västra kant utmed Vättern tillhör det område med huvudutbredning i Västergötland där seismisk aktivitet oftare inträffar än inom övriga delar av norra Götaland, se Figur 5.

Hydrogeologi

Landets grundvattentillgångar i jord och berg framgår av Figur 6 /4/ och kloridhalten i berggrunden för hela Sverige redovisas i Figur 7 /5/. Grundvattenförhållandena i både jord och berg styrs av de hydrologiska, topografiska och geologiska förhållandena. Östergötlands län kännetecknas av en varierande topografi. De centrala delarna har en förhållandevis utslätad topografi med betydande inslag av mäktiga leror. De södra och norra delarna av länet har en mer kuperad landskapsbild. Områden med tunna jordlager eller kalt berg återfinns i norr och längs kusten. De inre, södra delarna av länet domineras av morän med varierande mäktighet. Grundvattentillgångar för allmän vattenförsörjning återfinns främst i de stora sand- och grusavlagringarna samt i de fanerozoiska sedimentära bergarterna. Grundvattnet i den kristallina och den sedimentära berggrunden utgör en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

4 Bergarter och berggrundens homogenitet

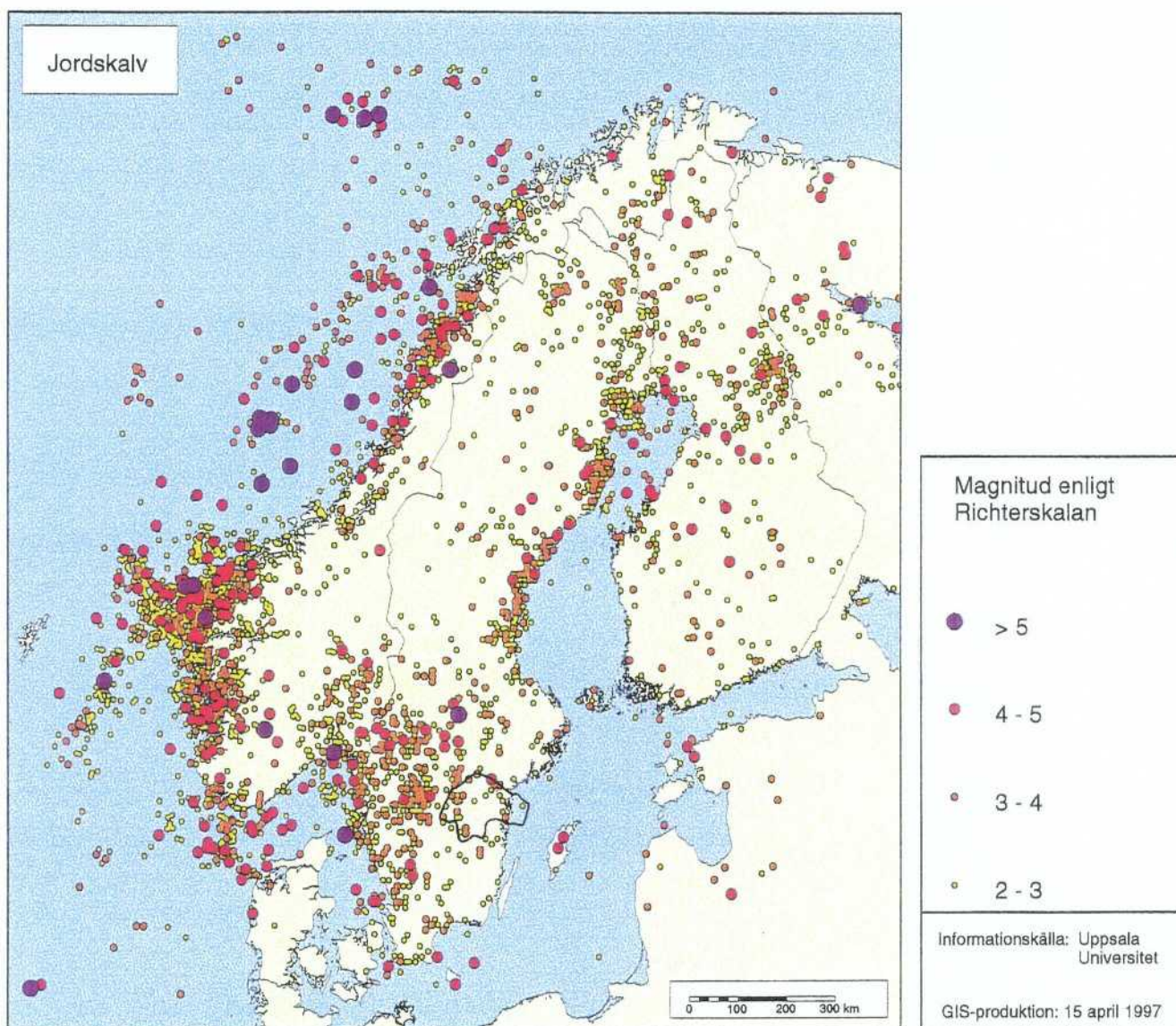
Berggrunden inom Östergötlands län redovisas översiktligt på kartan i Figur 8 som är baserad på Lundqvist m.fl. /6/. Den följande beskrivningen av länets bergarter grundar sig på information hämtad från beskrivningarna till de moderna berggrundskartorna i skala 1: 50 000 /7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19/, de provisoriska översiktliga berggrundskartorna Jönköping /20/ och Oskarshamn /21/ i skala 1:250 000, samt en sammanställning över Östergötlands läns malmer, industriella mineral och bergarter /22/. Fotografier på några av länets vanligaste bergarter visas i Figur 9.

Ytbergarter

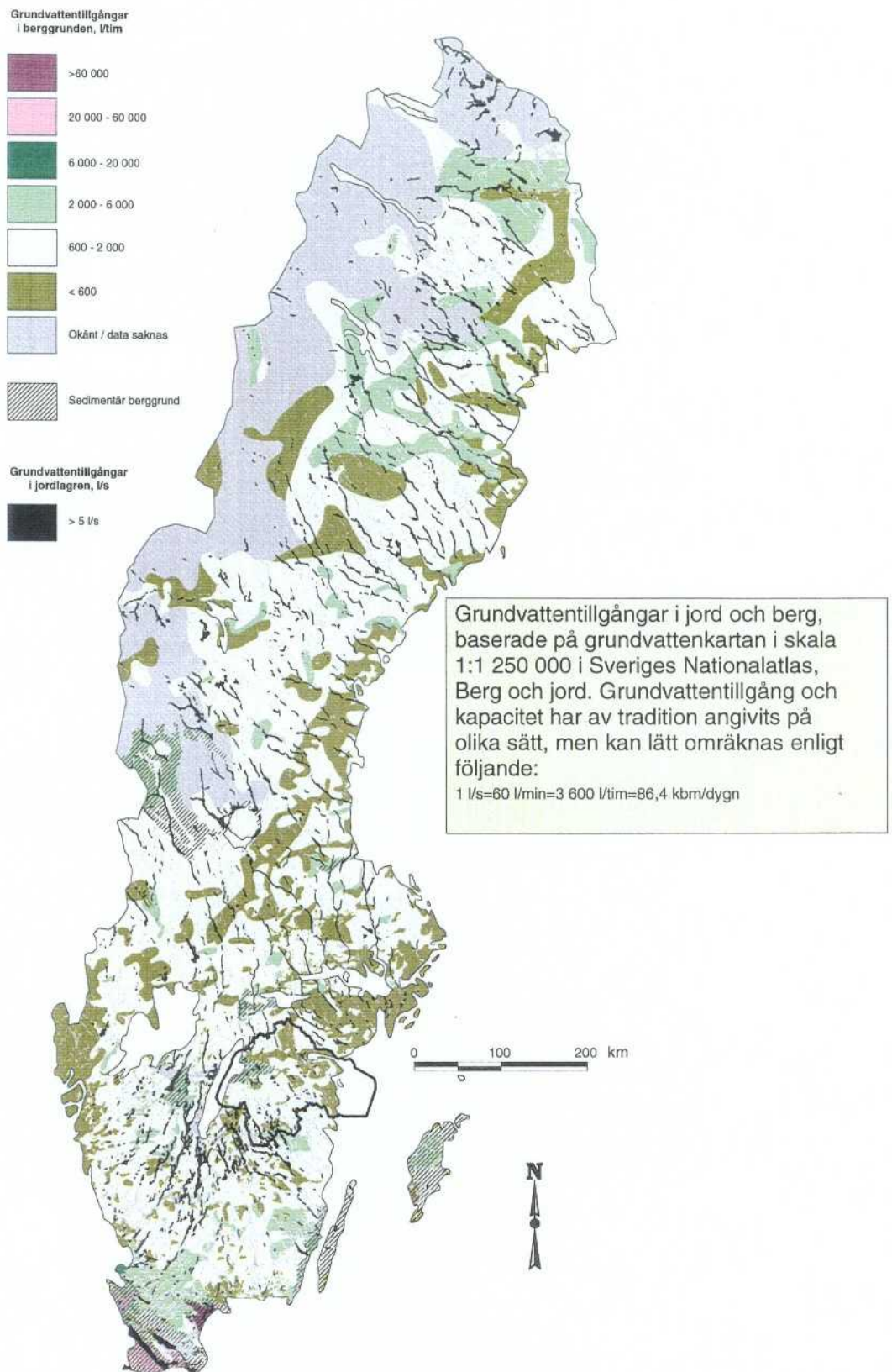
De äldsta ytbergarterna (ca 1900 miljoner år) utgörs av metavulkaniska och metasedimentära bergarter och har sin huvudsakliga utbredning i länets nordöstra del. Ytbergarter, framför allt sura, porfyriska vulkaniter ("Smålandsporfy", ca 1800 miljoner år), förekommer också tillsammans med djupbergarter (ca 1850-1810 miljoner år) i Transskandinaviska magmatiska bältet i länets sydvästra del. Yngre ytbergarter domineras av sandsten ("Visingsösandsten", ca 700 miljoner år) och fanerozoiska sedimentära bergarter (ca 545-420 miljoner år) vilka huvudsakligen förekommer i länets centrala, västra del mellan sjön Roxen och Vättern.

Metavulkaniska bergarter

De metavulkaniska bergarterna i länets norra del utgörs till stor del av finkorniga och porfyriska, sura metavulkaniter med relativt välbevarad karaktär. En ökad grad av omvandling sker dock åt sydost och vulkaniterna i denna del är huvudsakligen utbildade som migmatitiska (delvis uppsmälta) ådergnejser, se Figur 9a. Dessa vulkaniter är övervägande intermediära i sammansättning. I Figur 8 har dock alla sura och intermediära metavulkaniska bergarter markerats med mörkt gul färg.

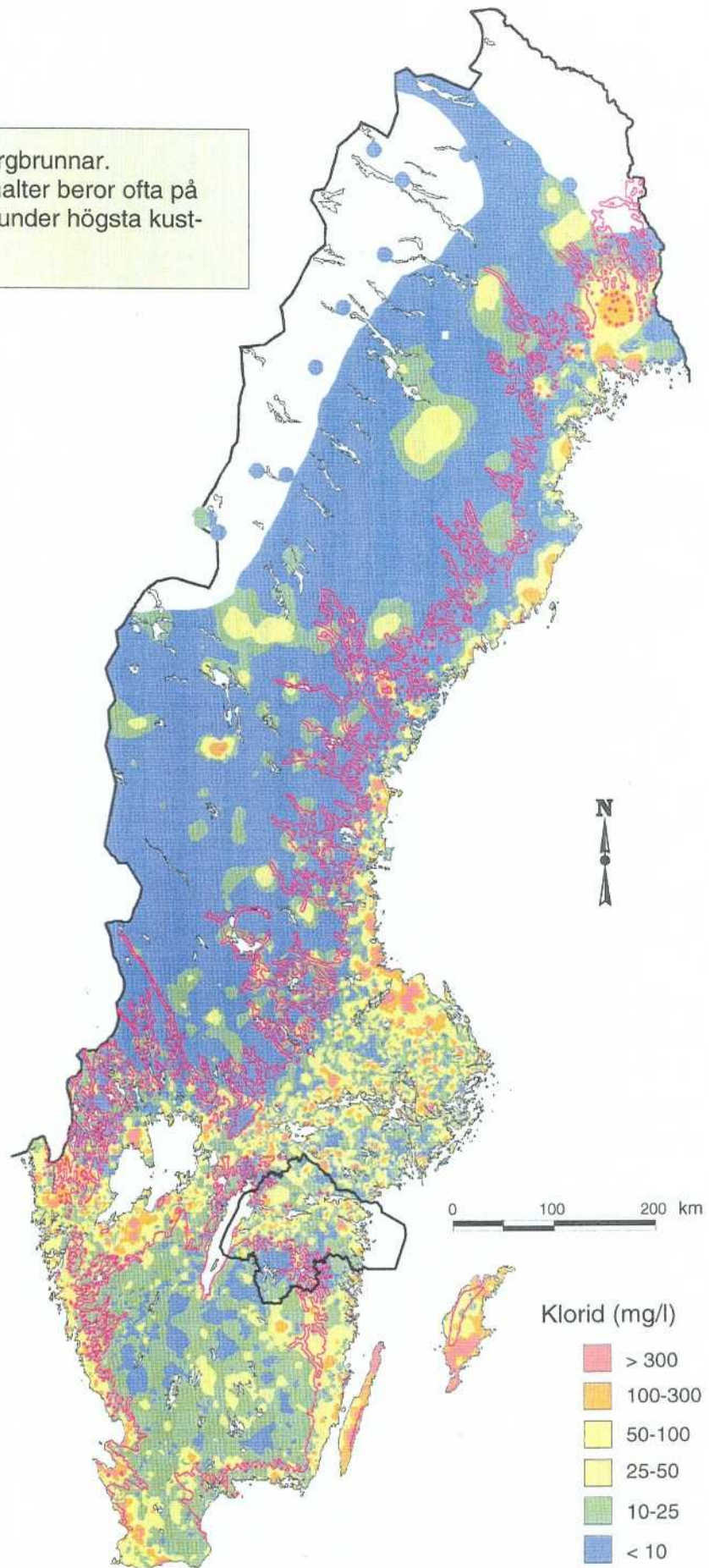


Figur 5. Registrerade jordskalv i Nordeuropa fram till 1993. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet. Östergötlands län är markerat med en svart linje



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

Metasedimentära bergarter

De metasedimentära bergarterna förekommer liksom de metavulkaniska bergarterna huvudsakligen i länets norra och nordöstra delar (ljusblå färg på kartan i Figur 8) och utgörs till största delen av kvarts- och fältspattdominerade gnejser med tydlig bandning eller ådring, se Figur 9b. Metasedimentära bergarter har sitt största utbredningsområde i Norrköpingstrakten och karaktäriseras i cm- till dm-skala av betydande variationer i både utseende och sammansättning. De metasedimentära bergarterna skiljer sig från de metavulkaniska främst genom ett större glimmerinnehåll. Lokalt förekommer också mineralen granat och sillimanit i större mängd. Den i hållskala inhomogena karaktären är ett karaktärsdrag som är typiskt för flera av de större områdena och bergarten kan därför i mer regionalt perspektiv betraktas som relativt homogen. Generellt sett är de metasedimentära gnejserna av byggnadstekniskt god kvalitet och har på flera håll (t.ex. Oxelösund och Fjällveden i Södermanland) visat sig lämplig för bergbyggnad /23/.

Tillsammans med ovan beskrivna metavulkaniska och metasedimentära bergarter förekommer också mindre inlagringar av kristallin kalksten eller marmor (mörkblå färg på kartan i Figur 8). Dessa bildar sällan några större mäktigheter utan är i allmänhet endast några tiotals meter tjocka. I Kolmårdsområdet förekommer dock kristallin kalksten inom ett större område, se Figur 8. Den varierar där i färg från vit till grön. Den gröna kalkstenen (s.k. Kolmårds-marmor, Figur 9c) har brutits mer eller mindre kontinuerligt sedan medeltiden i det s.k. Marmorbruksområdet (se vidare kapitlet om nyttostensförekomster).

Vulkaniska bergarter ("Smålandsporfyr", ca 1800 miljoner år)

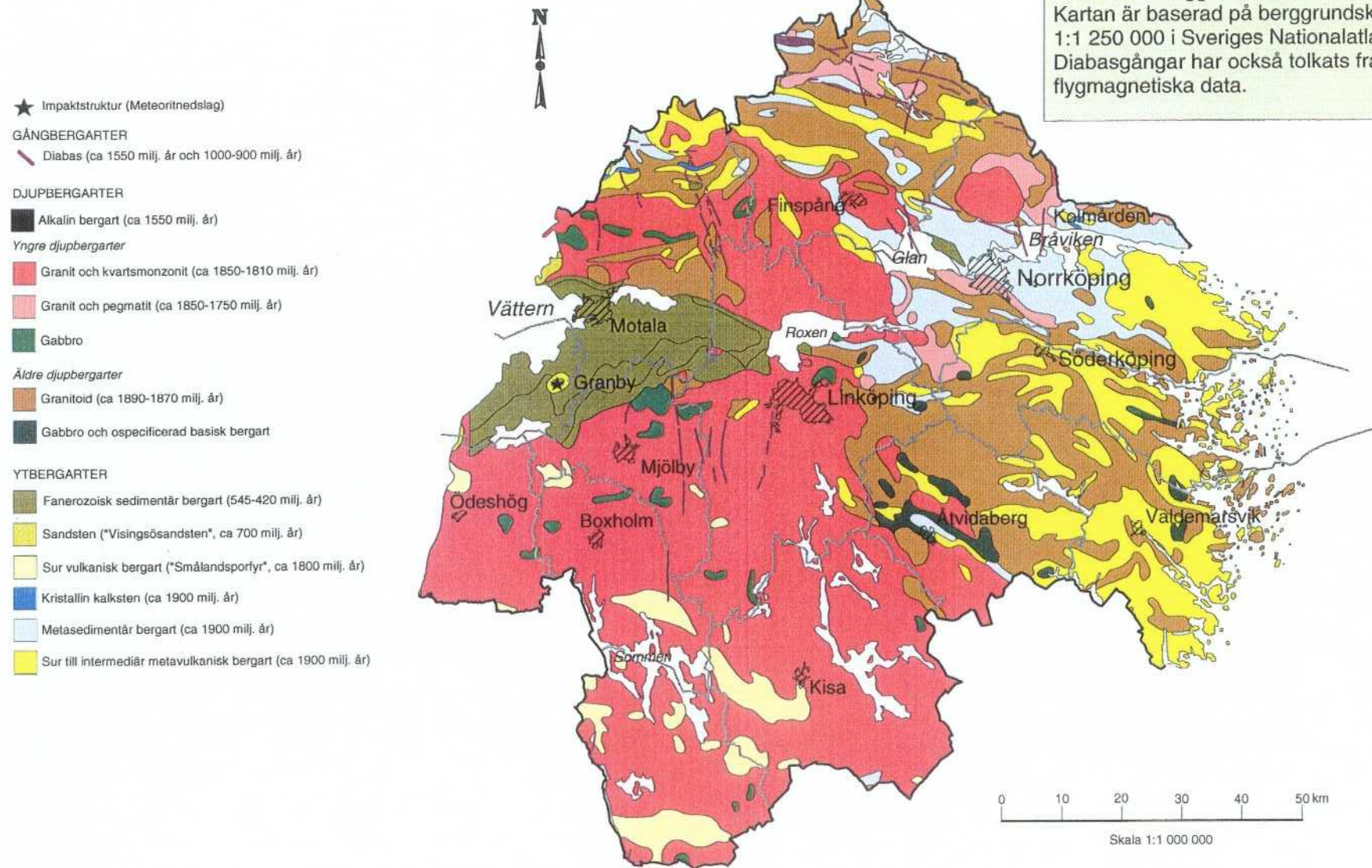
De något yngre vulkaniska bergarterna (ljusgul färg i Figur X-8) har sin största utbredning i länets sydvästa del i anslutning till graniter som tillhör det Transskandinaviska magmatiska bältet. De vulkaniska bergarterna är vanligtvis kvarts- och fältspatporfyriska, finkorniga, täta och kvartsrika med endast svag förskiffring. Lokalt förekommer dock primära "flytstrukturer" vilket ger bergarten ett karaktäristiskt utseende, se Figur 9d.

Sandsten ("Visingsösandsten", ca 700 miljoner år)

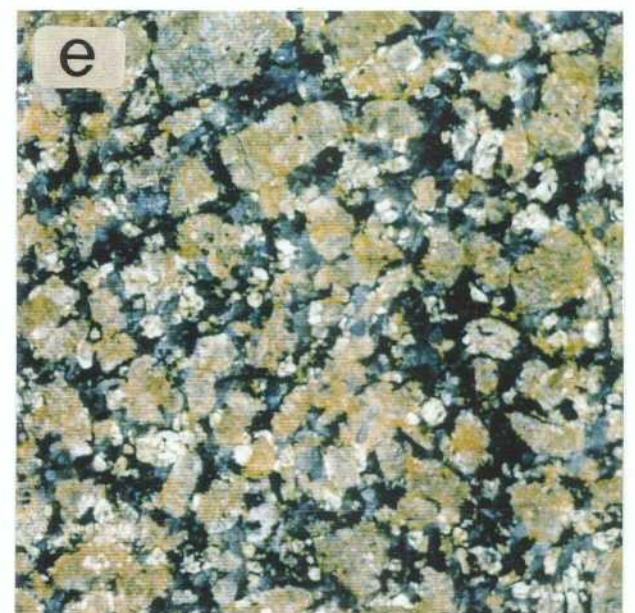
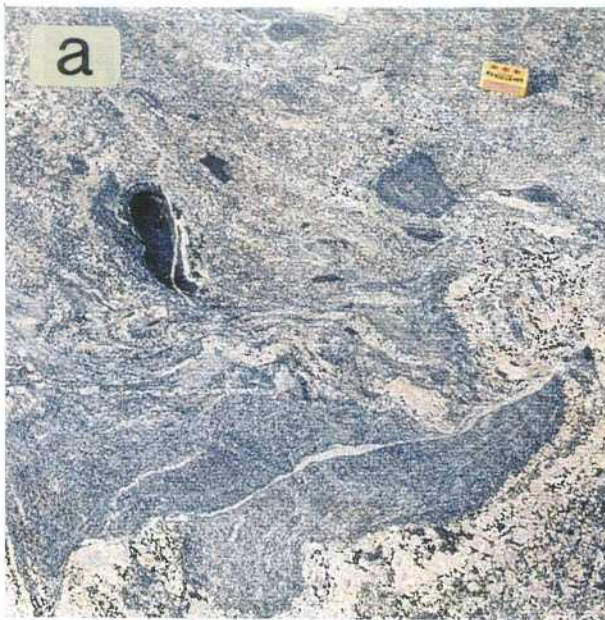
Visingsösandsten förekommer i ett par mindre områden vid Vättern (gulgrön färg i Figur 8). Sandstenen har bevarats i denna del genom förkastningsrörelser utefter Vätterns östra kant. Dessa rörelser påverkade förmodligen Visingsösandstenen redan vid dess avsättning, vilket indikeras genom förekomst av grova konglomerat med block upp till 10 m i storlek /20/.

Fanerozoiska sedimentära bergarter (ca 545-420 miljoner år)

Fanerozoiska sedimentära bergarter har sannolikt en gång täckt större delen av Östergötlands län men finns idag endast bevarade i förkastningsbetingade urbergssänkor. Ett sådant område förekommer t.ex. kring Motala mellan sjön Roxen och Vättern, där en sekvens av sandsten, lerskiffer och kalksten upp till 250 m mäktig finns bevarad (olivgrön färg i Figur 8). Mindre områden med sandsten finns också öster om sjön Glan i Norrköpings kommun samt väster om Finspång i Motala kommun.



Figur 8. Förenklad berggrundskarta över Östergötlands län



Figur 9. Bergarter i Östergötlands län. a) Migmatitisk intermediär metavulkanit från Valdemarsviksområdet b) Metasedimentär gnejs från Norrköpingsområdet c) Kolmårdsmarmor d) Porfyrisk vulkanisk bergart ("smålandsporfyr"). e) Graversforsgranit. Fotografierna a, b, e är tagna av Anders Wikström, c av Benno Kathol och d av Lars Persson

Djupbergarter

Djupbergarter utgörs av äldre (ca 1890-1870 miljoner år) och yngre (ca 1850-1750 miljoner år) huvudsakligen sura bergarter som bildades under olika stadier av den svekokarelska orogensen samt alkalina bergarter (ca 1550 miljoner år).

Äldre djupbergarter (ca 1890-1870 miljoner år)

De äldre djupbergarterna indelas i granitoider (brun färg i Figur 8) och gabbro (mörkt grön färg i Figur 8). Granitoiderna förekommer huvudsakligen i den norra och östra delen av länet och karaktäriseras av en vanligtvis betydande gnejsighet samt stor variation i utseende och sammansättning. Dominerande är dock granit och tonalit. I länets nordvästra del är granitoiderna något mer välbevarade än i övriga delar av länet. I denna del förekommer massformiga och homogena äldre granitoider. I länets sydöstra del är granitoiderna, liksom ytbergarterna, kraftigt omvandlade och gränsen mellan yt- och djupbergarter är många gånger svår att dra. I den här delen av länet är också förekomsten av gabbro och basiska bergarter av osäkert ursprung vanligare än i andra delar av länet.

Yngre djupbergarter (ca 1850-1750 miljoner år)

Djupbergarter (ca 1850-1810 miljoner år, röd färg i Figur 8) täcker en stor del av länet och utgörs huvudsakligen av grov- till medelkorniga graniter och kvartsmonzoniter. I allmänhet är dessa bergarter mer homogena jämfört med de äldre. Lokalt förekommer dock betydande inhomogeniteter också i de yngre djupbergarterna. Ett exempel är området sydväst om Linköping där stora områden med yngre granit också innehåller meter- till kilometer-stora fragment av gabbro och ytbergarter /7/. Strax väster om Linköping har en granit daterats till 1808 miljoner år /24/. I länets norra del är graniterna inom stora delar grovt porfyrisk med 1-4 cm stora fältspatporfyroblaster, t.ex. Graversforsmassivet norr om Norrköping, se Figur 8 och Figur 9e. Den grovkorniga texturen gör att bergarten får lägre hållfasthet och vittrar lätt. I Finspångsområdet uppträder också en betydande gnejsighet i dessa bergarter. Graniten har här daterats till ca 1845 miljoner år /25/.

I samband med den svekokarelska orogensen bildades lokalt granitiska bergartssmältor. Dessa kan idag urskiljas som pegmatitiska ådror och linser i de metasedimentära gnejserna. Lokalt har smältorna bildat större bergartskomplex av fin- till medelkornig granit och pegmatit (rosa färg på kartan i Figur 8). Vissa av dessa yngre graniter och pegmatiter (ca 1850-1750 miljoner år) är knutna till deformationszoner i berggrunden, t.ex. den nordvästliga zonen från Norrköping mot Söderköping och Valdemarsvik i länets sydöstra del. Här förekommer flera mindre kroppar av granit och pegmatit.

Alkalina bergarter

Vid Norra Kärr, ca 15 km sydväst om Ödeshög i länets sydvästligaste del, förekommer ett litet område (ca 1,2 x 0,4 km) med s.k. nefelinsyenitiska bergarter. Dessa bergarter finns på ett fåtal platser i Sverige och antas vara bildade till följd av djupgående sprickbildning i jordskorpan. Bergarten vid Norra Kärr har daterats till ca 1550 miljoner år /26, 27/.

Gångbergarter

Förekomsten av diabasgångar är relativt begränsad inom Östergötlands län. I de nordvästra och centrala delarna av länet förekommer dock ett flertal, större (10-100 m breda) N-S-liga gångar. Dessa utgör del av ett stråk av gångar som med avbrott går att följa från Blekinge till Dalarna och har daterats till ca 1000-900 miljoner år. I länets norra del uppträder gångar med VNV-lig riktning. Den största av dessa är den s.k. Brevengången som har en total utsträckning på ca 30 km och är som mest ca 1 km bred, Figur 8. Brevengången har daterats till ca 1550 miljoner år /28/.

Impaktstruktur

Vid Granby, i Vadstena kommun, finns en spektakulär ringformad struktur vilken har tolkats som resultatet av ett meteoritnedslag för ca 470 miljoner år sedan /29/. Strukturens kanter består av sura metavulkaniska bergarter och den inre delen är fylld med fanerozoiska sedimentära bergarter. Den totala mäktigheten av den sedimentära bergartssekvensen är ca 360 m och den består till övervägande del av kalksten. De undre delarna av lagerföljden är kraftigt störda och breccierade liksom det underliggande urberget.

Berggrundens homogenitet

Berggrunden är sällan helt homogen över större områden och inhomogeniteter förekommer i form av t.ex. sprickor, gångbergarter och inneslutningar. Generellt sett är de yngre djupbergarterna mer homogena jämfört med t.ex. de äldre. I Östergötland förekommer dock i området sydväst om Linköping betydande inhomogeniteter även i de yngre djupbergarterna. Preliminärt bedöms de södra, granitdominerade områdena vara gynnsamma vad gäller berggrundens homogenitet. Det är dock värt att notera att större delen av detta område saknar moderna berggrundskartor i skala 1:50 000, se Figur 2, vilket gör att en slutlig bedömning av områdets karaktär inte kan göras. Länet nordöstra del, som domineras av ytbergarter och äldre granitoider, kan generellt sett betecknas som inhomogent p.g.a. hög metamorfosgrad och stora bergartsvariationer inom korta avstånd. Dessutom förekommer inom detta område ett stort antal mineralförekomster.

5 Mineral och bergartsresurser

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

En ekonomisk mineral- eller bergartsfyndighet kan förekomma i vilken bergart som helst. Malmer är dock vanligen knutna till vulkaniska bergarter även om fyndigheter också förekommer i granitoider och sedimentära bergarter. Industriella mineral och nyttosten kan uppträda i alla berggrundsmiljöer. Krossberg av god kvalitet kan erhållas från såväl granitoider som ytbergarter.

Information om länets gruvor och bergtäkter har huvudsakligen hämtats från Bruun m.fl. /22/ och SGUs register över bergtäkter samt uppgifter från länsstyrelsen. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästarämbetet via SGUs mineralkontor i Malå.

Översikt över mineral- och bergartsresurser

Länets malmfyndigheter är huvudsakligen koncentrerade till de norra och östra delarna, se Figur 10. I de östra och nordöstra delarna dominerar järnmalmer medan zink-bly-kopparmalmer dominerar i de norra delarna. Mindre förekomster av volfram, molybden, nickel och selen finns också på några platser inom länet. För närvarande pågår ingen malmbrytning i Östergötlands län, men strax intill länsgränsen, i Örebro län, bryts sedan slutet av 1800-talet Sveriges största zinkmalm, Zinkgruvan. Inom ett flertal områden har undersökningstillstånd beviljats och prospektering efter nya fyndigheter pågår, se Figur 10. Icke-metalliska förekomster där kvarts och fältspat har brutits i liten omfattning förekommer också på några platser i sydvästra respektive nordöstra delarna av länet. Bergtäktverksamhet för produktion av krossberg och byggnadssten har skett på ett stort antal platser i länet.

Metalliska mineralresurser





Järnmalmsbrytning finns dokumenterat från ett hundratal platser inom länet. De flesta av dessa är små skärpningar med hematit och magnetit knutet till de metavulkaniska bergarterna i länets östra och nordöstra delar. Ett fåtal järnförekomster förekommer också i de metasedimentära bergarterna i Norrköpingstrakten. Länets största järngruvor är koncentrerade till Nartorpsfältet i Söderköpings kommun, Figur 10. Nartorpsfältet bröts under perioden 1841-1927. På senare tid har det visat sig att några av länets järnmalmer också innehåller relativt höga halter guld (t.ex. Björnsmåla i Valdermarsviks kommun). Området är idag föremål för prospekteringsverksamhet, se Figur 10.

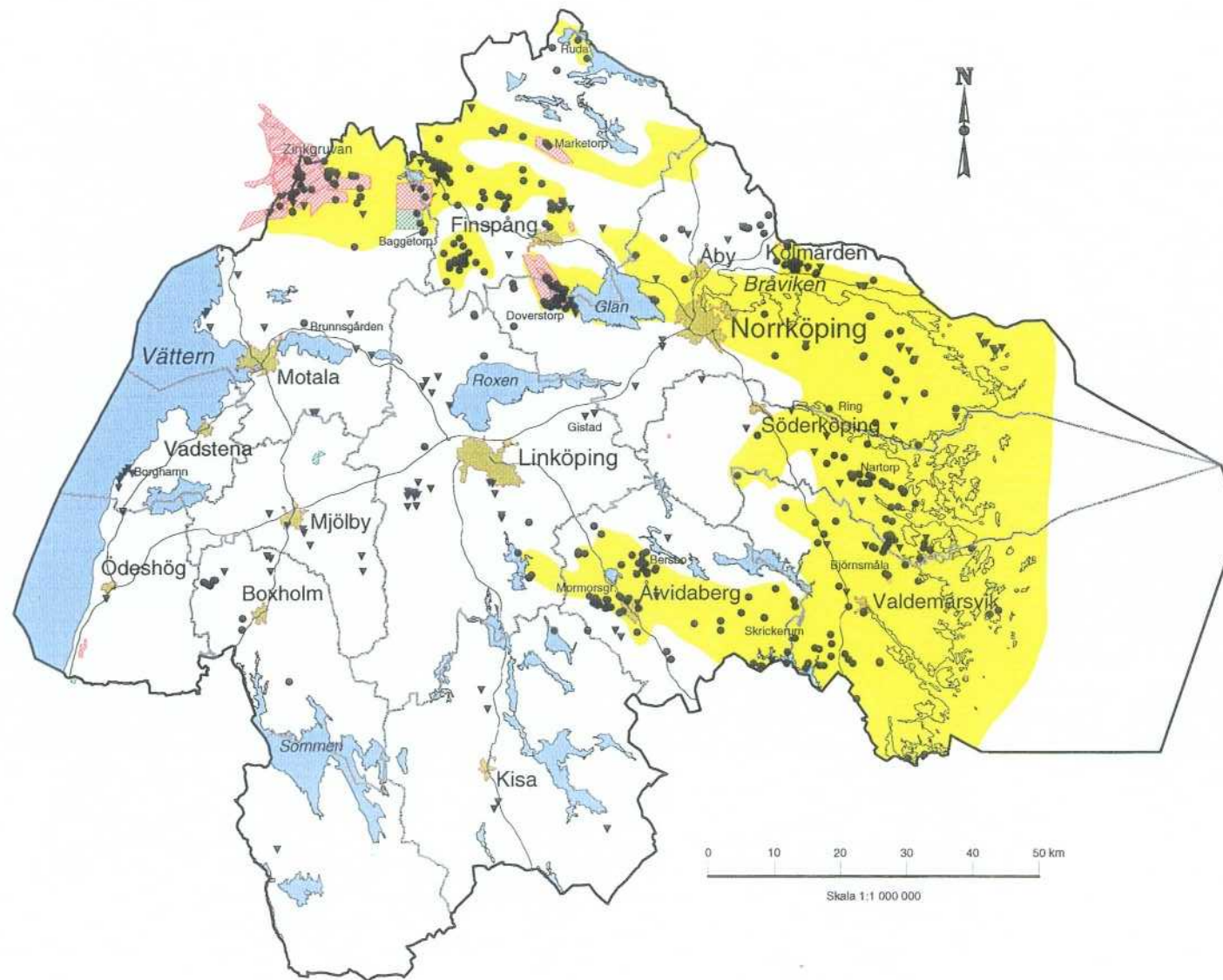
Förekomster med koppar, bly och zink är känt från ett stort antal platser i länet. Huvuddelen av dessa är lokaliserade till den nordvästra delen där ett flertal mindre zink-bly-kopparförekomster finns. Området är också för närvarande föremål för intensiv prospektering, se Figur 10. Länets mest betydande producenter av basmetaller har annars varit Bersbo gruvfält och Mormorsgruvan i Åtvidabergstrakten samt Marketorpsfältet i länets norra del, se Figur 10. Vid sidan om dessa finns också ett antal fyndigheter i trakten väster om sjön Glan (Doverstorpsområdet). Flera av dessa gruvor bröts i början av 1900-talet för sitt innehåll av järnsulfider, som användes till framställning av rödfärg. Några av dem är även kända för sitt innehåll av zink och bly, vilket har gjort att området sedan en tid också är föremål för prospektering efter zink.

Ett fåtal av länets koppar-mineraliseringar håller vid sidan om koppar också relativt höga halter av nickel. Nickel har bl.a. brutits vid Ruda i länets nordligaste del och vid Brunnsgråden strax nordost om Motala, se Figur 10.

Landets enda kända selenförekomst, Skrickerum, återfinns sydost om Åtvidaberg, se Figur 10. Unikt för länet är också Baggetorpsfyndigheten, strax nordväst om Finspång, vilket är landets enda plats där mineralet volframit har brutits. Under perioden 1944-1958 bröts här totalt 300 000 ton volfram-/molybdenmalm.

Mineral- och bergartsresurskarta över Östergötlands län.
Informationen är hämtad från SGUs kartor, beskrivningar och register över landets bergtakter samt Riksantikvarieämbetets inventering av natursten i byggnader. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästarämbetet via SGUs Mineralkontor i Malå.

-  Potentiellt malmintressant område
-  Område där tillstånd beviljats för undersökning eller brytning av malm eller industrimineral
-  Sökt undersökningstillstånd
-  Nyttostensförekomst
-  Malm- eller industrimineralförekomst



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

Icke-metalliska mineralresurser

Länet är relativt fattigt på icke-metalliska råvaror. Kvarts och fältspat har dock brutits i pegmatitgångar på några platser, bl.a. nordväst och sydväst om Boxholm i länets sydvästra del samt i Kolmårdenområdet.

Nyttosten

Nyttostensförekomsterna inom Östergötlands län kan indelas i tre huvudgrupper utifrån vilken bergartstyp som varit föremål för brytning; granit, kristallin kalksten och fanerozoisk sedimentär kalksten.

Granitbrytning har inte skett i någon större omfattning. De flesta brott som finns markerade i Figur 10 har haft lokal betydelse och har använts vid byggnationer i det närliggande området. För närvarande är ca 30-tal mindre brott i produktion i länet. Under 1800-talet och fram till första världskriget skedde en betydande produktion av byggnadssten från Graversforsmassivet norr om Norrköping och denna granit har bl.a. använts vid byggnationer i Stockholm och Uppsala. Graniten används inte längre inom stenindustrin, vilket troligtvis har att göra med bergartens vittringsbenägenhet och dåliga mekaniska hållfasthet /16/.

Kristallin kalksten har brutits på ett flertal platser inom länet. Den mest betydande förekomsten är den vid Kolmården (Kolmårdsmarmor), där produktion förmodligen skett sedan 1600-talet. Brytning sker än idag, om än i liten omfattning. Även kalkstensförekomsterna vid Doverstorp och Gistad nordost om Linköping är betydande och har under olika perioder varit föremål för brytning.

För närvarande sker ingen brytning av sedimentär kalksten inom länet. Tidigare har dock en betydande produktion skett i ett flertal brott vid Borghamn nära Vättern, se Figur 10.

Pågående prospektering

Intresset för prospektering inom Östergötlands län har under de senaste åren ökat kraftigt och inom ett flertal områden har undersökningstillstånd beviljats, se Figur 10. Huvuddelen av dessa områden är belägna inom tidigare kända malmområden, t.ex. i länets nordvästra del, i området öster och sydost om Zinkgruvan (Örebro län). Undersökningstillstånd på guld finns också i några mindre områden utanför de klassiska malmområdena, t.ex. sydväst om Ödeshög och nordost om Finspång. Dessa områden ligger i anslutning till kända deformationszoner, vilka med stor sannolikhet haft stor betydelse för guldmineraliseringarnas tillkomst.

Potentiellt prospekteringsintressanta områden

Potentiellt prospekteringsintressanta områden har markerats med gul färg i Figur 10. De följer huvudsakligen utbredningen av ytbergarter med tidigare kända malmförekomster. Många fyndigheter bröts under 1700- och 1800-talen för sitt innehåll av järn, zink, bly och koppar. Det stora flertalet har aldrig haft någon ekonomisk betydelse i modern tid men de indikerar att malmbildande processer varit aktiva och områdena bör därför betraktas som potentiellt malmintressanta. Som tidigare nämnts förekommer också indikationer på guldförekomster i anslutning till deformationszoner på några platser utanför dessa områden.

6 Deformationszoner

Definitioner och metodik

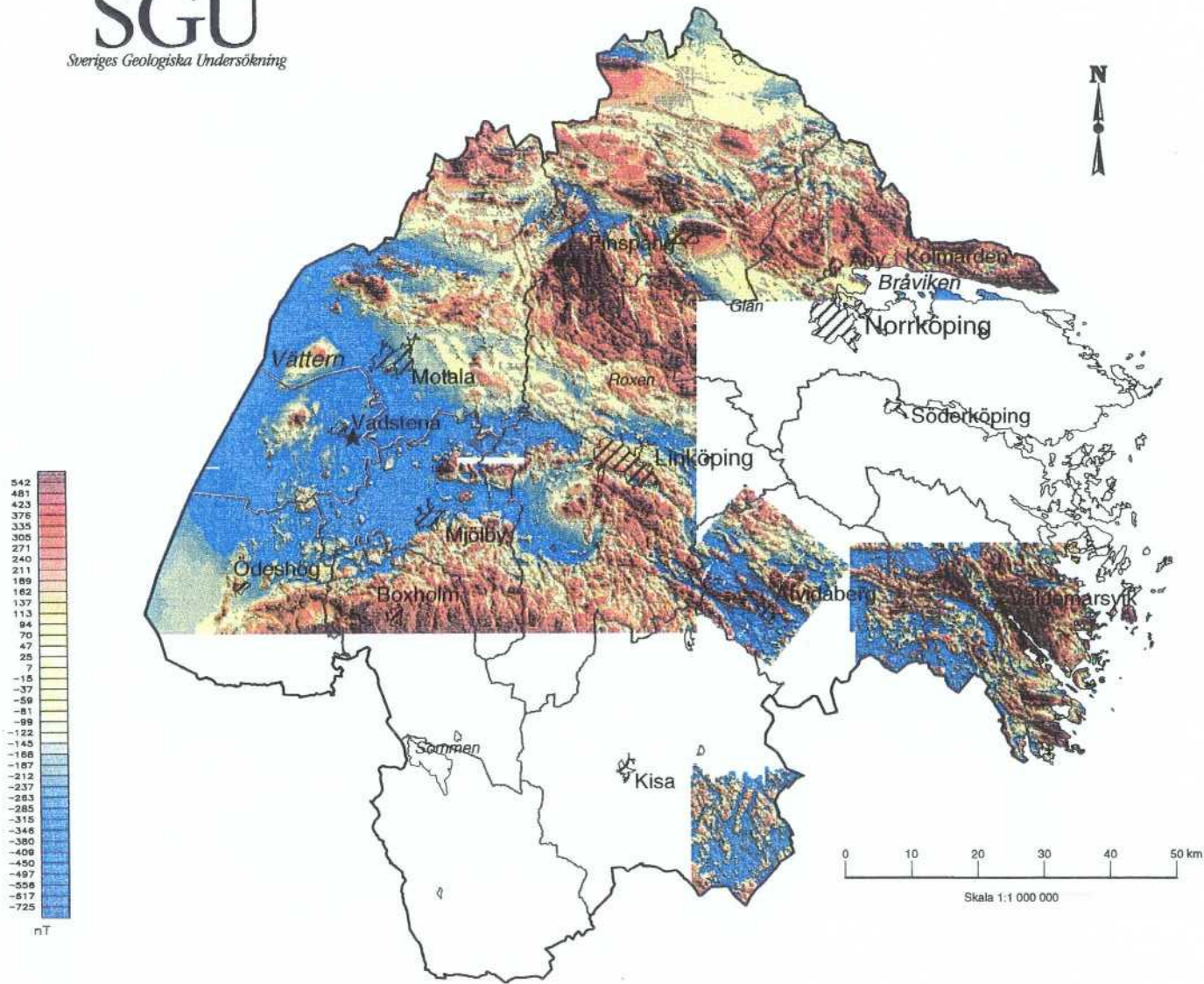
En *deformationszon* är en svaghetszon utefter vilken berggrunden på ömse sidor av zonen har rört sig i förhållande till varandra. Sker deformationen på stora djup under varma förhållanden deformeras bergarterna plastiskt, likt en trögflytande massa, och zonen benämns då allmänt plastisk deformationszon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

En *formlinje* markerar en strukturell trend i terrängen. Formlinjer för planstrukturer som bildades under varma, plastiska förhållanden, d.v.s. förskiffring och bandning, har sammanställts genom interpolation av fältmätningar av sådana strukturer. Dessa mätningar har hämtats dels från SGUs publicerade berggrundskartor /7, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38/. Hänsyn har också tagits till redan utförda sammanställningar av dessa mätningar i länet /39 samt pågående arbete av M.B. Stephens och C.-H. Wahlgren/. I områden där befintlig fältinformation är sparsam, t.ex. i den sydöstra delen av länet, har formlinjerna kompletterats med tolkning av bandade anomalimönster på den flygmagnetiska kartan, se Figur 11, s.k. *magnetiska konnektioner*. Flygmätningarna har utförts av SGU och NSG.

Formlinjer och magnetiska konnektioner återspeglar berggrundens storskaliga strukturriktningar. Sammanställning av dessa linjer ger ofta en antydning om förekomsten av plastiska skjuvzoner och mellanliggande domäner. Domänerna emellan skjuvzonerna kan utgöras av områden med regionalt mer homogen deformation eller områden med odeformerade bergarter. Plastiska skjuvzoner har markerats där stråkvis kraftigt deformerade bergarter förekommer. Dessa zoner utmärks också av att planstrukturerna i den omgivande berggrunden ställvis är inböjda mot skjuvzonerna. Förekomsten av starkt förskiffrade bergarter och myloniter är karakteristiskt för plastiska skjuvzoner och sådana bergarter har ställvis dokumenterats i vissa av 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, moss- och myrmarker eller vattendrag, varför direkta studier sällan är möjliga. Sprickzoner har därför i första hand tolkats med hjälp av höjddata framtaget av Lantmäteriverket, se Figur 12, och från flygmagnetiska data, se Figur 11. På flygmagnetiska kartor framträder spröda deformationszoner i regel som smala, 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 områden täckta av senprekambriska och fanerozoiska sedimentära bergarter, diabaser, huvudsakligen massformiga djupbergarter och associerade vulkaniska bergarter, samt en förmodad impaktstruktur (meteoritnedslag). Djupbergarterna omfattar ca 1850-1750 miljoner år gamla granit-kvartsmonzonit-gabbro- och granit-pegmatitbergarter samt alkalina bergarter. Kartan över deformationszoner, se Figur 13, återspeglar både zoner som är väl belagda (se nedan) och zoner som är tolkade i samband med denna studie. De sistnämnda behöver kontrolleras i fält innan deras existens och utbredning kan fastställas. Kartan bör därför tills vidare betraktas med försiktighet.



Jordskorpans magnetfält över Östergötlands län. Kartan baseras på data i 200 meters rutnät. Flygmätningarna har utförts av SGU och NSG. Kartan visar variationer i det jordmagnetiska fältet som orsakas huvudsakligen av halten magnetiska mineral i berggrunden.

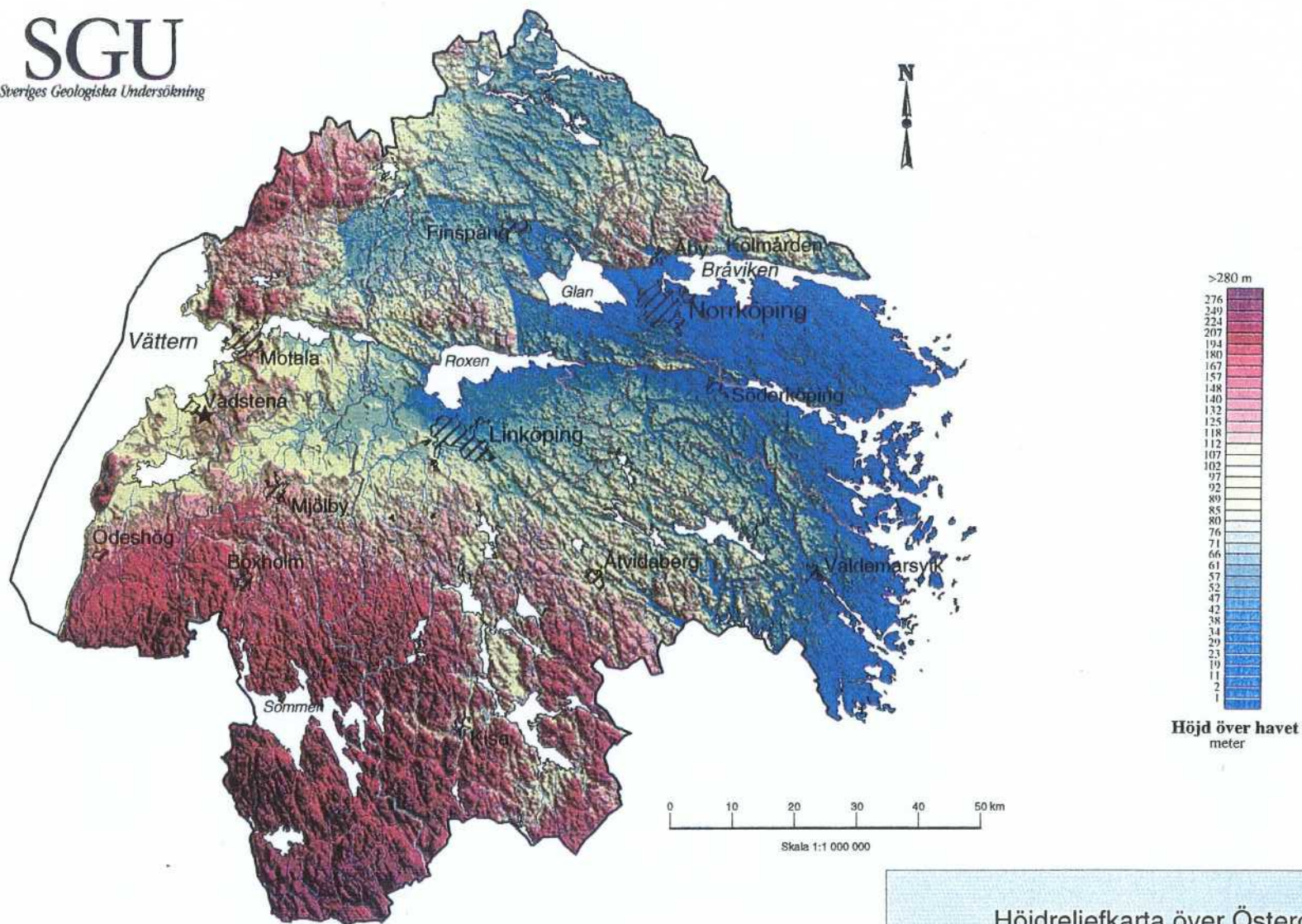
Ytbergarterna som förekommer i norra delen av länet ger upphov till ett bandat anomalimönster.

Yngre graniter i de norra och mellersta delarna av länet samt gabbror och förmodligen metavulkaniska bergarter i den sydöstra delen uppträder som högmagnetiska anomalier. Storskaliga veckstrukturer förekommer i den sydöstra delen av länet.

Diabasgångar i VNV- och N-S-liga riktningar ger upphov till smala, högmagnetiska anomalistråk.

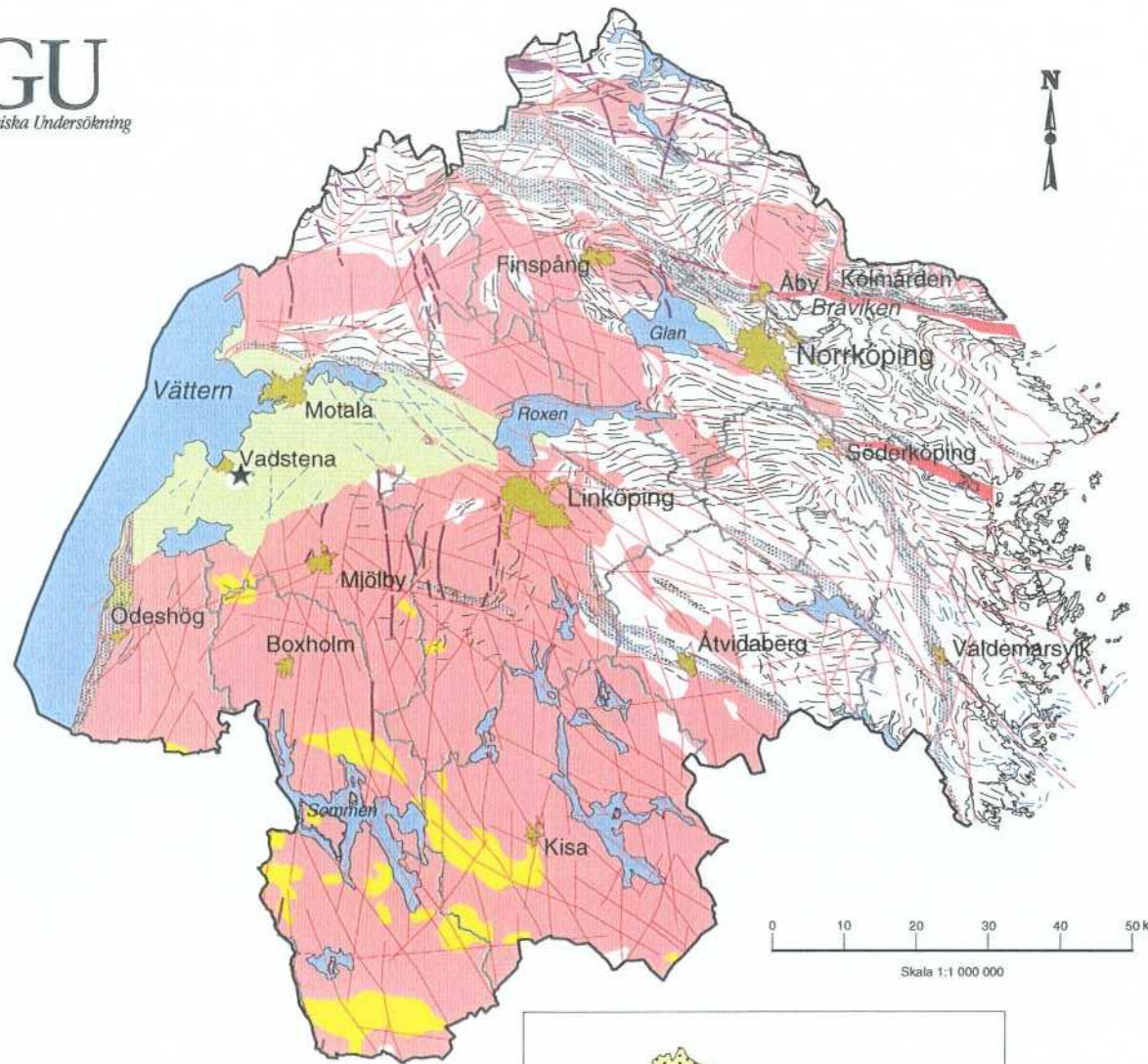
Spröda deformationszoner framträder som smala, lågmagnetiska anomalier i NV-, NNV- och N-S-liga riktningar.

Figur 11. Flygmagnetisk karta över Östergötlands län



Figur 12. Höjdreliëfkarta över Östergötlands län

Höjdreliëfkarta över Östergötlands län, baserad på digitala höjddata i 200 meters rutnät från Lantmäteriverkets databas. Digitala höjddata är mycket användbara vid tolkning av spröda deformationszoner som ofta framträder i terrängen som dalgångar eller branter.



Deformationszonskarta över Östergötlands län med formlinjer, magnetiska konnektioner, tolkade plastiska skjuvzoner och sprickzoner, samt områden med bergarter yngre än ca 1850 miljoner år.

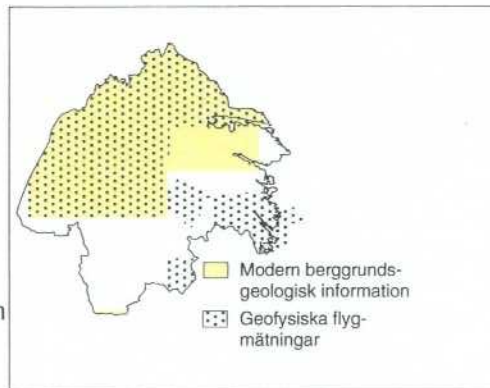
I de vita områdena på kartan dominerar äldre, regionalt deformerade bergarter.

Formlinjer och de magnetiska konnektionerna visar berggrundens strukturella riktningar. Plastiska skjuvzoner har markerats där strukturen i långsmala stråk avviker från omgivande områden.

Plastiska skjuvzoner i VNV- till NV-liga och NNO-liga riktningar uppträder i länet. De tillhör två olika, regionalt betydelsefulla system av plastiska deformationszoner.

Sprickzoner följer dels äldre strukturer i berggrunden, dels bygger de egna system. Länet västra och södra delar ser ut att vara mer uppspruckna än de norra och östra delarna.

Tolkningen är baserad på data från SGUs berggrundskartor, pågående arbeten, flygmagnetiska data och höjddata. Kartan återspeglar delvis bristen på detaljerad berggrundsinformation och flyggeofysiska data i den södra delen av länet.



Figur 13. Deformationszonskarta över Östergötlands län

Plastiska skjuvzoner

Plastiska skjuvzoner som tillhör två olika, regionalt betydelsefulla system av plastiska deformationszoner i Sverige har markerats i Figur 13. I de norra och östra delarna av länet förekommer ett flertal zoner i VNV- till NV-lig riktning, vilka tillhör ett viktigt system av plastiska skjuvzoner i sydöstra Sverige. I den västra delen av länet, nära Vättern, uppträder ett annat system av plastiska skjuvzoner i NNO-lig riktning vilket tillhör den s.k. Protoginzonen.

De NV-liga plastiska skjuvzonerna i den östra delen av länet, vilka sträcker sig från Norrköping söderut till Valdemarsvik och från Linköpingstrakten i sydostlig riktning mot Valdemarsvik och Åtvidaberg, förenar sig vidare mot sydost i den norra delen av Kalmar län till en flera km bred zon i Loftahammartrakten /40/. Planstrukturerna i områdena mellan skjuvzonerna stryker O-V eller är komplext veckade. I den norra delen av länet har två VNV-liga zoner markerats, inom vilka det förmodas förekomma en hög koncentration av småskaliga, plastiska deformationszoner. Båda zonerna är upp till 5 km breda och separerar domäner med ONO- till NO-liga planstrukturer. I närheten av Norrköping delar sig den södra zonen österut i ett flertal, smalare zoner, t.ex. Bråviken- och Norrköping-Söderköping-Valdemarsvikzonerna. Fältarbeten i den norra zonen och nordväst om Norrköping i den södra zonen, har bekräftat förekomsten av stråkvis, hög koncentration av plastisk deformation i dessa zoner /41 samt pågående arbete av M. B. Stephens och C.-H. Wahlgren/. Det har också påvisats att berggrundsblocket söder om respektive zon har rört sig uppåt och åt väster i förhållande till berggrundsblocket på den norra sidan av zonerna. Förhållandet mellan förekomsten av plastiska skjuvzoner och bergarter tillhörande det Transskandinaviska magmatiska bältet indikerar att de förra förekommer delvis utmed, och delvis parallellt med kontakten mellan dessa bergarter och de äldre djup- och ytbergarterna.

I den västra delen av länet, intill Vätterns östra strand är bergarterna som tillhör det Transskandinaviska magmatiska bältet påverkade av en serie plastiska skjuvzoner med NNO-lig strykning. Dessa zoner tillhör Protoginzonen vilken kan följas i N-S-lig riktning från södra Sverige till norr om Vättern /42, 43/.

I området mellan Finspång och Linköping och vidare söderut ner mot gränsen till Jönköpings och Kalmar län, förefaller bergarterna, vilka huvudsakligen utgörs av djupbergarter tillhörande det Transskandinaviska magmatiska bältet, vara i stort sett massformiga och opåverkade av plastiska skjuvzonsdeformation. Emellertid kan bristen på dels moderna berggrundskartor i skala 1:50 000, dels flyggeofysiska data söder om linjen Boxholm-Åtvidaberg, se den infällda kartan i Figur 13, delvis förklara avsaknaden av formlinjer och plastiska skjuvzoner i den södra delen av länet.

Sprickzoner och förkastningar

Spröda deformationszoner utgörs vanligen av krossat berg vilket gör dem lättroderade. De uppträder vanligen som långsmala sänkor eller branter i terrängen. Bredden kan vara upp till flera hundra meter. Sprickzoner kan vara öppna och oläkta eller läkta och cementerade av t.ex. kvarts eller kalcit. Stupningen av sprickzonerna är i regel svår att avgöra, men antas i de flesta fall vara brant till vertikal. Flacka sprickzoner är dock generellt sett svåra att upptäcka med hjälp av höjddata och flygmagnetiska data. I håll kan dock små, flacka sprickzoner påträffas. Även inom de berggrundsblock som definieras av ett särskilt sprickzonsmönster förekommer

sannolikt mindre sprickor och sprickzoner, vilkas utbredning måste klarläggas vid mer detaljerade studier.

I Figur 13 framgår det att det är en högre koncentration av sprickzoner, och till följd av detta mindre mellanliggande berggrundsblock, i de yngre djup- och ytbergarterna i de västra och södra delarna av länet, relativt de östra och norra delarna vilka domineras av äldre granitoider och ytbergarter. De dominerande sprickriktningarna inom länet är VNV till NV, NNV till N-S och O-V. Sprickzoner i NNO- till NO-lig riktning uppträder framförallt i den västligaste delen av länet, mer eller mindre parallellt med Vättern. Flera arbeten rörande sprickzonsmönstret i berggrunden i södra Sverige innefattande bl.a. ett stort område inom Östergötlands län har utförts, se t.ex. Tirén & Beckholmen /44/ och litteraturhänvisningar i detta arbete.

Deformationszoner i tid och rum

De äldsta deformationszonerna i Östergötlands län är de plastiska skjuvzonerna i vilka deformationen kan begränsas till tidsintervallet ca 1850-1600 miljoner år. Som framgår av Figur 13 förekommer sprickzoner utmed flera av de plastiska skjuvzonerna, vilket tyder på att dessa reaktiverats vid senare spänningsutlösningar när bergarterna låg högre upp i jordskorpan. Den exakta åldern av sprickzonerna i Östergötlands län är svårbestämd. De bildades under den långa tidsrymden från ca 1600 till mindre än 420 miljoner år sedan. Rörelser har förmodligen skett åtskilliga gånger längs vissa förkastningar.

En stor del av den nuvarande berggrundsytan i länet motsvarar i grova drag den plana erosionsyta som utbildades i senprekambrisk tid (före 545 miljoner år sedan), d.v.s. det subkambriska peneplanet. Stora nivåskillnader i denna berggrundsytan över korta avstånd beror på förkastningsrörelser efter denna tid. Detta ger möjligheten att avgöra de relativa rörelserna för några av de större förkastningarna. I Figur 12 syns tydligt att det södra blocket rört sig nedåt längs de VNV-liga förkastningarna vid Bråviken och Finspång samt vid Roxen och norr om Motala. Dessa förkastningar markerar den södra gränsen av ett stort upplyft berggrundsblock mellan Bråviken-Roxenområdet i söder och Mälaren i norr. Förkastningsbegränsade fanerozoiska sedimentära bergarter i Motalaområdet, väster om Finspång och omedelbart öster om Glan, bekräftar förekomsten av fanerozoiska förkastningar i länet. Även vissa av sprickzonerna med NNV-lig riktning, t.ex. ett flertal sprickzoner norr och nordväst om Roxen och väster om Glan, påverkar tydligt det subkambriska peneplanet.

Flygmagnetiskt indikerade sprickzoner i områden täckta av fanerozoiska sedimentära bergarter är också markerade i Figur 13. Dessa zoner påverkar åtminstone de prekambrika bergarterna som ligger under täcket av sedimentära bergarter. Beroende på den flacka topografin i dessa områden är topografiska lineament otydliga och därmed är möjligheten liten att säkrare påvisa huruvida de flygmagnetiskt indikerade sprickzonerna också påverkar de yngre sedimentära bergarterna. Orienteringen av dessa zoner (VNV till NV och NNO till NO) är i stort sett densamma som orienteringen av de sprickzoner i den prekambrika berggrunden, vilka har varit aktiva i fanerozoisk tid. Vidare följer ett fåtal sprickzoner tolkade från höjddata de flygmagnetiskt indikerade zonerna, vilket stödjer tolkningen att de varit aktiva under denna tid.

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

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

Översikten grundar sig på studier av SGUs jordartskartor samt olika specialarbeten. Över stora delar av länet föreligger moderna jordartskartor i SGU serie Ae /45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59/. Sådana saknas endast i den södra delen samt inom två små områden, ett i sydväst och ett i nordväst. Över dessa områden finns endast översiktliga jordartskartor utgivna i slutet av 1800-talet och fram till år 1928 /t.ex. 60, 61, 62, 63, 64/. Väster om Finspång pågår jordartskartering idag.

Isavsmältning och postglacial utveckling

Landisens avsmältning inleddes i länets södra och sydöstra delar för ca 12 000 år sedan /65/, och isräfflor visar att isen drog sig tillbaka i en NV-lig riktning. Då isfronten nått upp till den centrala delen av länet ungefär längs linjen Norrköping-Linköping-Mjölby inträffade en klimatförsämring och under denna kallare period stod iskanten långa tider stilla eller gjorde mindre framryckningar. Korta avbrott förekom då isen tillfälligt retirerade norrut för att ånyo göra halt en tid. Under denna period bildades den s.k. mellansvenska israndzonen, som representeras av bl.a. stora isälvsavlagringar i trakten av Linköping, Mjölby och Motala samt nordväst om Norrköping. Ett därefter följande varmare klimatskede medförde att landisen återigen började smälta av mot nordväst, varvid länets norra delar blev isfria för drygt 10 000 år sedan. Landisens avsmältningshastighet i området varierade och enligt varvmätningar i den glaciala leran var den ca 100 m/år i sydost /66/ och i genomsnitt endast ca 30-50 m/år inom den mellansvenska randzonen. I länets norra del ökade avsmältningshastigheten igen och varierade mellan 100 och 200 m/år /67, 68/.

Vid istidens slutskede började den av landisen kraftigt nedtryckta jordskorpan att höja sig, vilket skedde som snabbast då isen lämnade trakten och därefter i allt långsammare takt. Idag uppgår landhöjningen till ca 0,2 m/100 år i de södra och ca 0,3 m/100 år i de norra delarna av länet. Det totala landhöjningsbeloppet har uppskattats till runt 300 m /69/. Det forntida havets högsta nivå (högsta kustlinjen eller HK) växlar inom länet. I sydost ligger HK drygt 130 m.ö.h. och nivån stiger till något mer än 150 m.ö.h. kring Norrköping och Motala. På grund av den kraftiga sänkning av vattenytans nivå som ägde rum i samband med tappningen vid Billingen (i Västergötland) av den stora Baltiska issjön framför landisen ned till Västerhavets nivå, ligger HK åter lägre inom länets nordligaste delar, 130-140 m.ö.h.

Jordarter och jorddjup

Jordarterna i länet har bildats i samband med den senaste landisens avsmältning, s.k. glaciala jordarter, och under tiden därefter, s.k. postglaciala jordarter. Vissa jordarter nybildas fortfarande. Avlagringar äldre än senaste istiden är inte kända i länet.

Glaciala jordarter

Morän består av det av landisen upplockade, bearbetade och avlagrade materialet. I länet förekommer flera olika moräntyper. Denna osorterade jordart har stor utbredning och ligger vanligen under lagren av yngre jordarter. Moränens ytblockighet varierar, men är som regel normalblockig i områden med sandig morän och blockfattig i områden med lerig sandig morän. Isälvsedimenten har transporterats och sorterats av isälvarnas smältvatten i och under landisen och slutligen avlagrats vid isfronten under avsmältningen. Sand och grus dominerar och

uppträder i form av åsar, deltan, m.fl. avlagringstyper. Isälvarnas finkornigaste slam avsattes ett stycke från iskanten som en ofta varvig glaciallera eller som varvig silt med lerskikt.

Postglaciala jordarter

Svallsediment bildades vid stränder utmed hav och större sjöar genom vågors och strömmars omlagring av glaciala jordarter, varvid svallsand, svallgrus och klapper avsattes. De finaste partiklarna avsattes i vikar och lugna bassänger i form av grå postglacial lera eller silt samt gyttjelera. I senare tid har svämsediment bildats, vilket fortgår än idag utmed större vattendrag. Vindavlagrade sediment förekommer inom ett fåtal områden i länet. Organiska jordarter domineras av torv och torvmarkerna utgörs av både kärr och mossar.

Jordartsfördelning och jorddjup

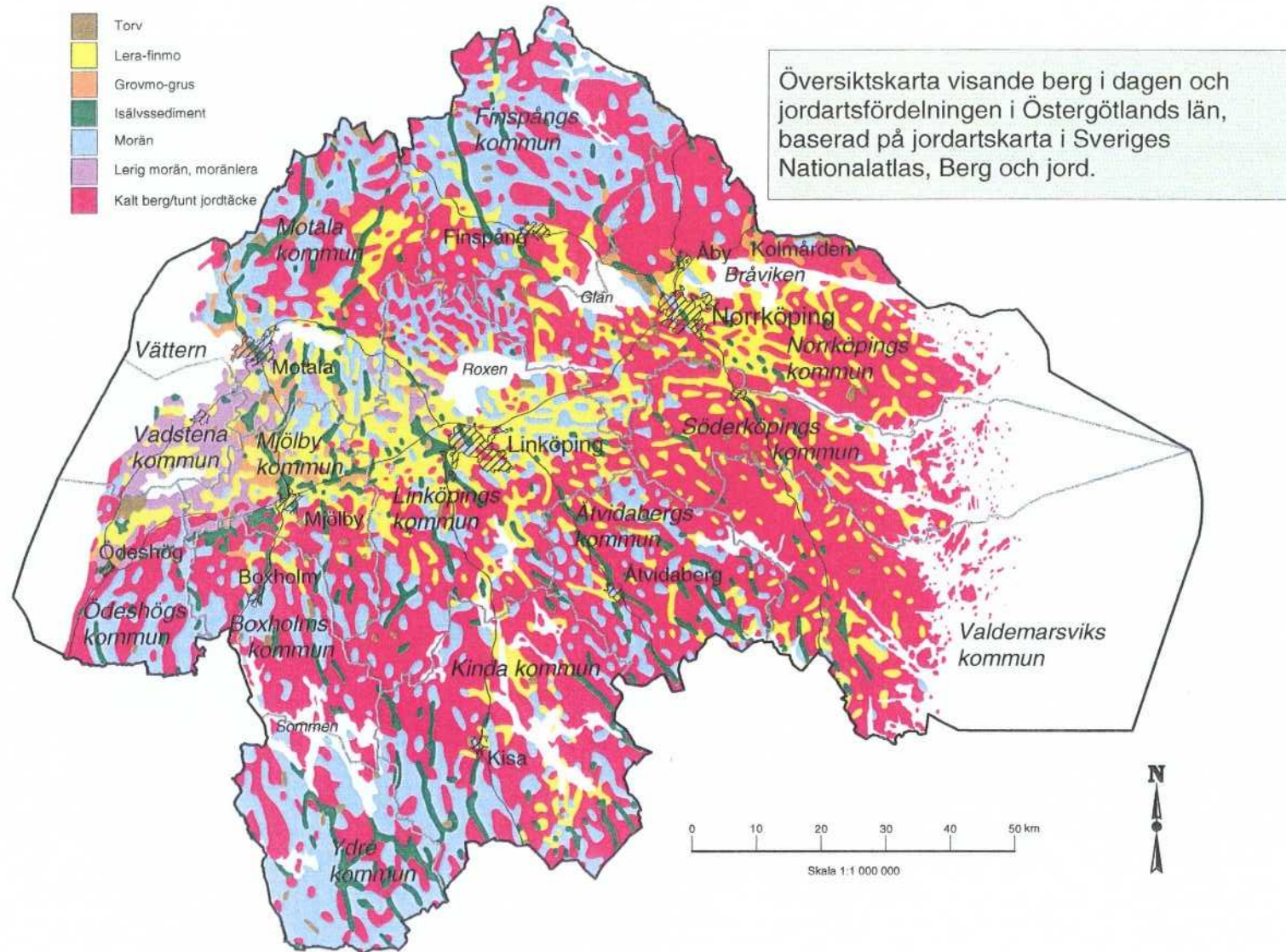
Jordartsfördelningen i länet visas översiktligt på kartan i Figur 14 som är baserad på Fredén /70/. Länet tillhör fyra skilda jordartsområden /71/.

Länets södra del, ungefär upp till Linköping, tillhör Sydsveriges moränområde och ligger i stor utsträckning över HK. Området domineras av sandig morän och kalt berg. I centrala, södra delen har isälvsediment stor utbredning. De är vanligen lokaliserade till dalgångar och sänkor. Rikligt med torvmarker förekommer men de är i nästan samtliga fall små till ytan.

Länets centrala, västra del utgör ett av områdena i södra Sverige med fanerozoisk berggrund. Det domineras av morän och finkorniga sediment, men många och stora isälvsavlagringar förekommer också, se Figur 15a. Flertalet av dessa ingår i den s.k. mellansvenska israndzonen som sträcker sig i ONO-lig riktning genom länet. Många avlagringar har komplexa lagerföljder med morän och sediment. Moränen är generellt finkornigare och mäktigare inom detta område än inom länets övriga delar. De finkorniga sedimenten domineras av brun, kalkhaltig, mot djupet varvig glacial lera, men silt och postglacial lera intar också betydande arealer. Torvmarkerna utgörs av både mossar och kärr men är sällsynta.

Kustzonen i östra delen av länet tillhör ost- och västkustens berg- och lerområden och uppvisar ett småkuperat landskap under HK kraftigt dominerat av kalt berg, se Figur 15b, och lera. Sandig morän och isälvsediment förekommer i ringa utsträckning. På några platser har under moränlagret i markytan observerats ett äldre lager av lerig morän. Den glaciala leran är brun, varvig och kan vara mer än 20 m mäktig i dalgångar. Postglacial lera och lergyttja överlagras i terrängens lågpartier.

De norra delarna av länet ingår i nordöstra Götalands och östra Svealands berg-, morän- och lerområde i huvudsak beläget under HK. Området har småkuperad topografi med stor bergblottningsgrad. Moränen har sandig sammansättning och uppträder i allt större utsträckning mot norr och nordväst i länet. På djupet har ett äldre lager av lerig morän observerats på några ställen. I dalgångar löper stråk av rullstensåsar och andra isälvsavlagringar i N-S-lig riktning. Vanligen har de måttlig mäktighet, mindre än 20 m. Inom områdets södra del ligger en del komplext uppbyggda avlagringar ingående i den mellansvenska israndzonen, vilken sträcker sig mot ONO genom området. Den glaciala leran är varvig och ofta rödbrun i färgen, se Figur 15c. Den har mycket liten utbredning inom de nordligaste delarna. Rikligt med torvmarker förekommer, men de har i allmänhet liten areal. I stor utsträckning utgörs de av mossar.



Figur 14. Översiktskarta visande berg i dagen och jordartsfördelningen i Östergötlands län



Figur 15. Jordarter i Östergötlands län.

a) Stor isälvsavlagring nordväst om Heda, ca 6 km norr om Ödeshög, tillhörande den s.k. Mellansvenska israndzonen. Foto av S.-I. Svantesson 1978.



b) Utmed ostkusten har kalt berg vidsträckt utbredning, Valdemarsviks kommun. Foto av S.-I. Svantesson 1986.



c) Varvig glacial lera ovan morän i Finspångs tätort. Foto av A.G. Lindén 1991.

Jordmäktigheten är inom stora delar av länet liten eller obetydlig, se Figur 16, som visar en schematisk karta över jorddjupen i länet. Jorddjup över 5 m förekommer inom ett område vid Vättern mellan Motala och Mjölby. I övriga delar av länet förekommer större jordmäktigheter endast lokalt, t.ex. i dalgångar.

Sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv

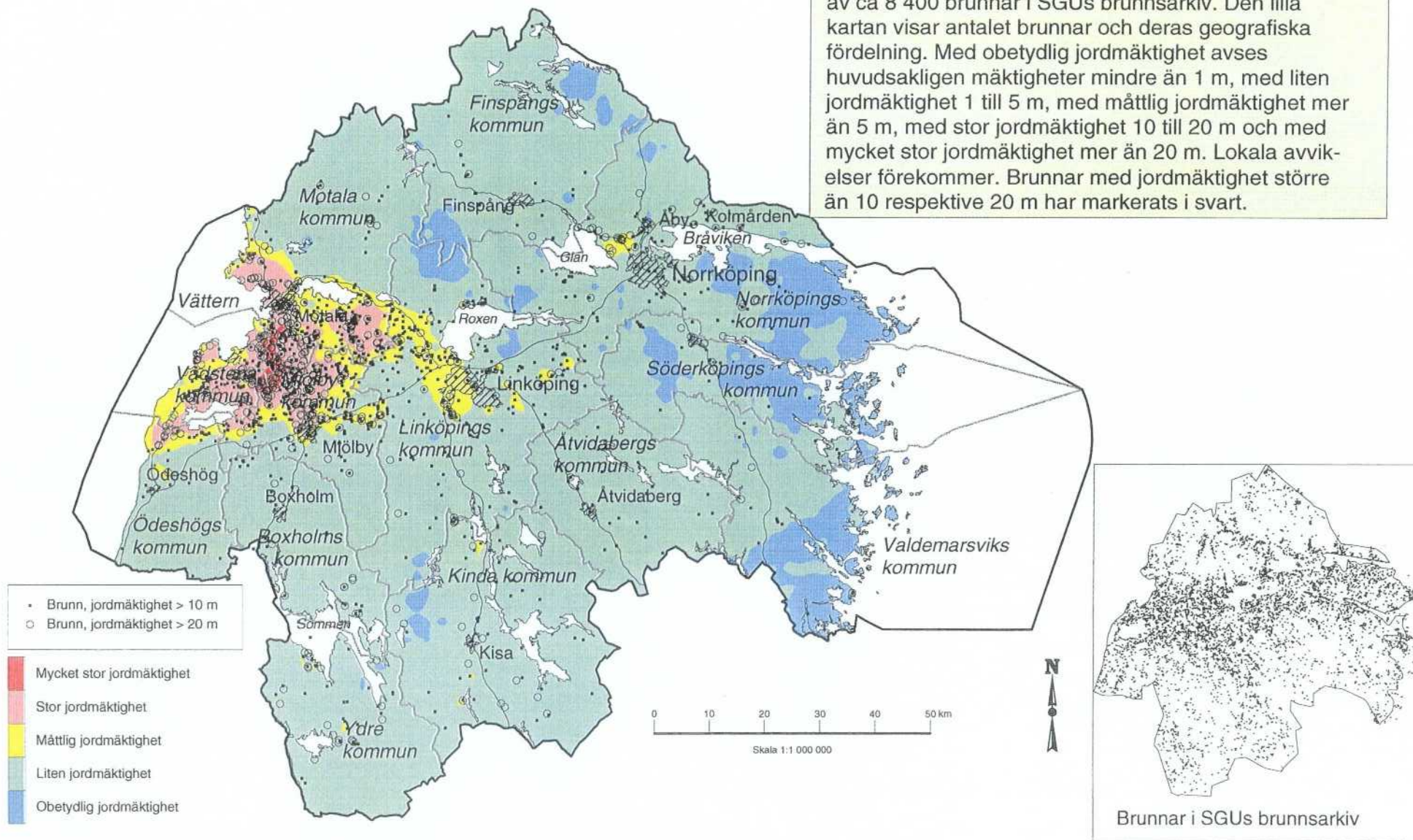
Från norra Sverige har rapporterats observationer av sen- och postglaciala rörelser i jordskorpan /72, 73/ i form av förkastningar, sprickbildningar och seismisk aktivitet. I södra Sverige har bl.a. Bergsten /74/, Mörner /69, 75, 76/ och Svantesson /57/ redovisat iakttagelser vilka tolkas som relativt sentida rörelser i jordskorpan orsakade av landhöjningen. En sammanfattande analys av det nuvarande kunskapsläget beträffande jordskorperörelser och seismisk aktivitet har presenterats av Muir Wood /77/.

Inom Östergötlands län har jordskalv sporadiskt förekommit (se nedan) och vid SGUs jordartskartering har på åtminstone en lokal observerats spår av jordskalv i sedimentskikt avsatta vid landisens avsmältning. Lokalt i isälvsavlagringar har små förkastningar, veckningar, förskjutningar m.m. observerats. Dessa strukturer och lagringsförhållanden har på alla lokaler tolkats av SGU som orsakade av antingen växlande rörelser (oscillationer) i landisens frontzon vid avsmältningen eller av infrusna, kvarlämnade ispartier, vilket medfört tryckförändringar m.m.

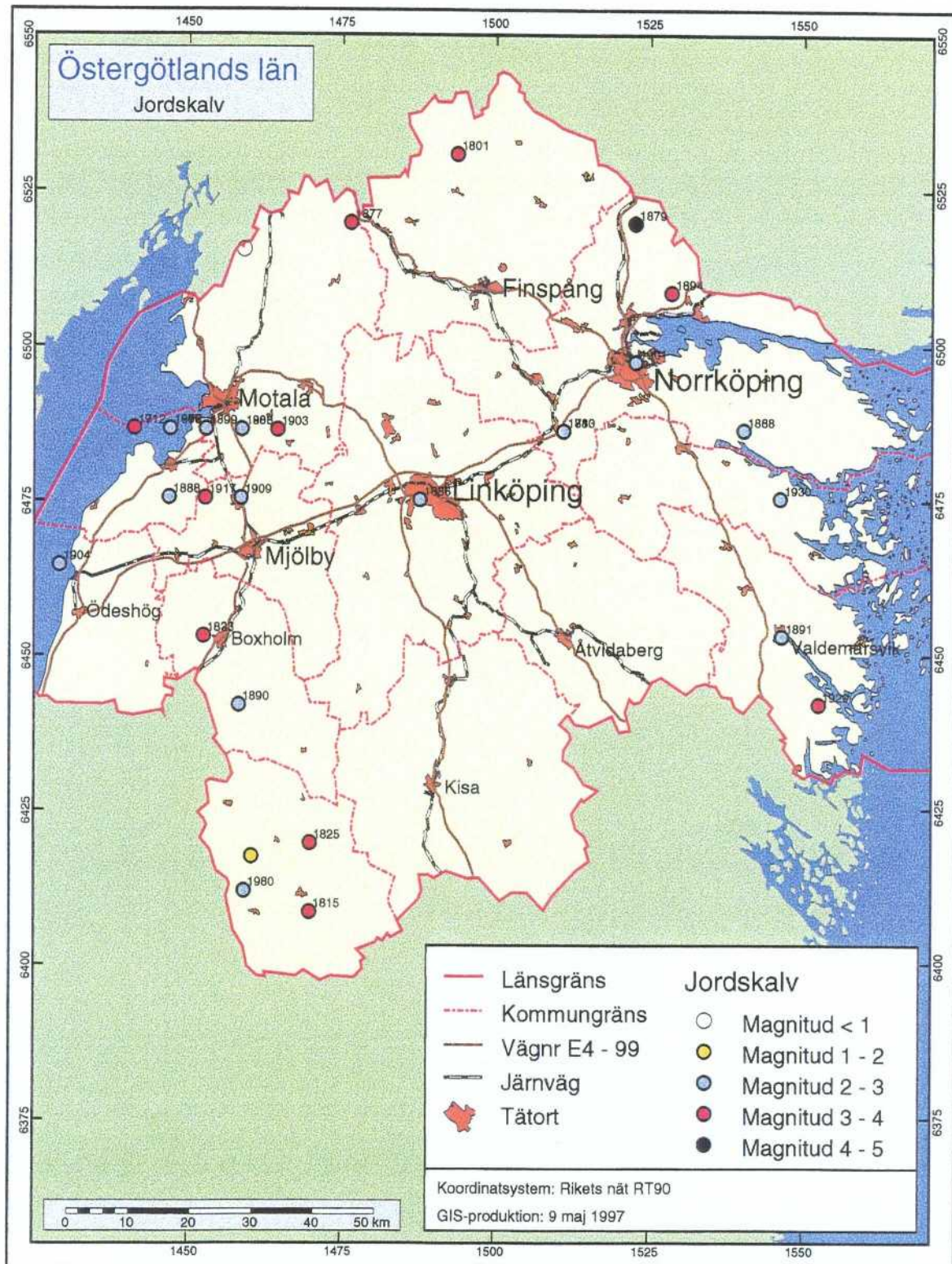
I Sverige finns några områden där seismisk aktivitet är något vanligare än inom övriga delar av landet. Dessa områden framgår av den sammanställning av jordskalv som har registrerats fram till 1993, se Figur 5. De ligger dels inom ett stråk utmed Norrlandskusten, dels i Västsverige, runt Vänern samt väster och omedelbart öster om Vättern. I Östergötlands län är 36 skalv kända sedan år 1686 och fram till 1982, se Figur 17. De har vanligen haft en magnitud på mellan 2 och 3. Jordskalv med magnitud mellan 3 och 4 har noterats i 8 fall. Dessa har främst ägt rum i länets västra del. Det kraftigaste skallet inträffade 1879 ca 20 km norr om Norrköping och hade en magnitud på 4,0. Platsen ligger i norra änden av ett litet stråk i vilket ett mindre antal skalv ägt rum från trakten av Norrköping och ned till Valdemarsvik i söder. Det senaste skallet i Östergötland som finns upptaget i ovannämnda databas ägde rum 1982 i den centrala delen av Ydre kommun och hade en magnitud på 1,4.

8 Hydrogeologi

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



Figur 16. Jordmäktighet i Östergötlands län (sammanställning juni 1997)



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

Grundvattnets bildning och strömning

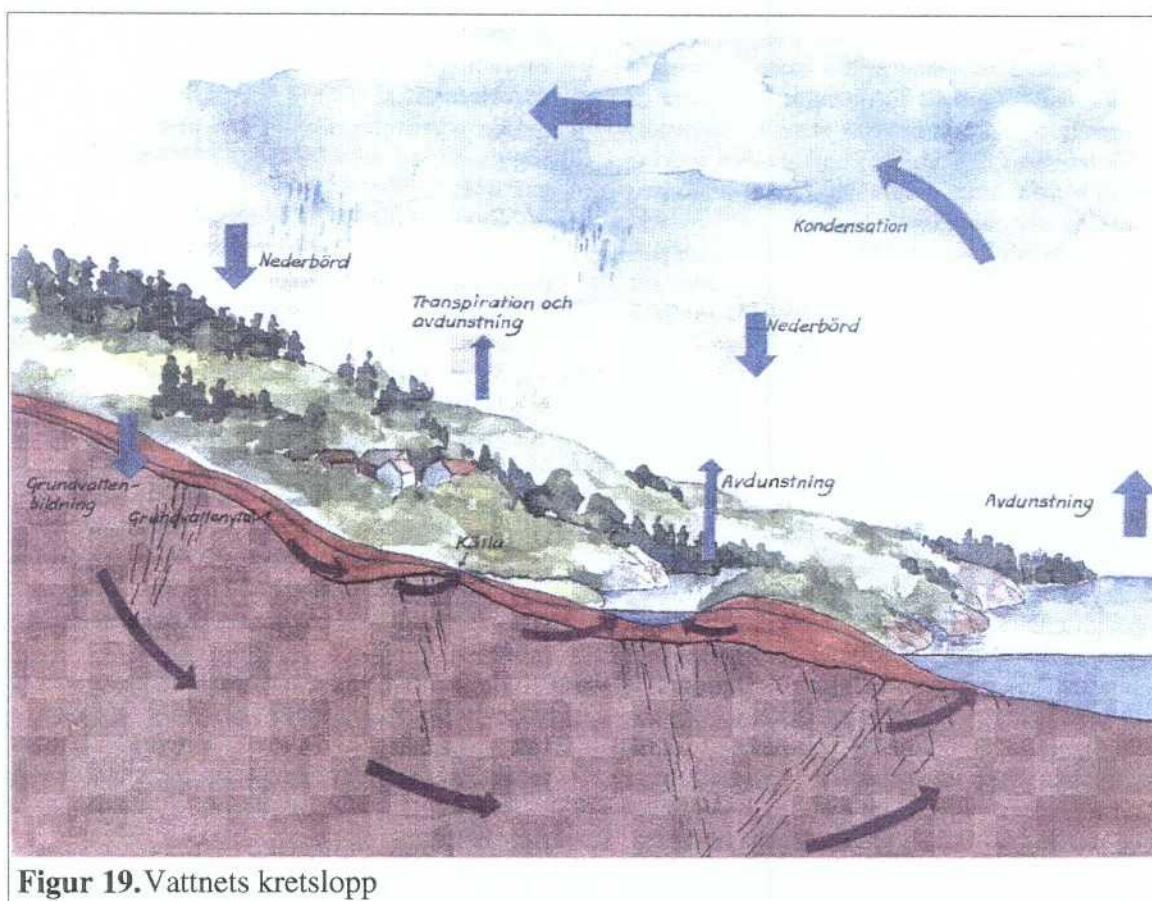
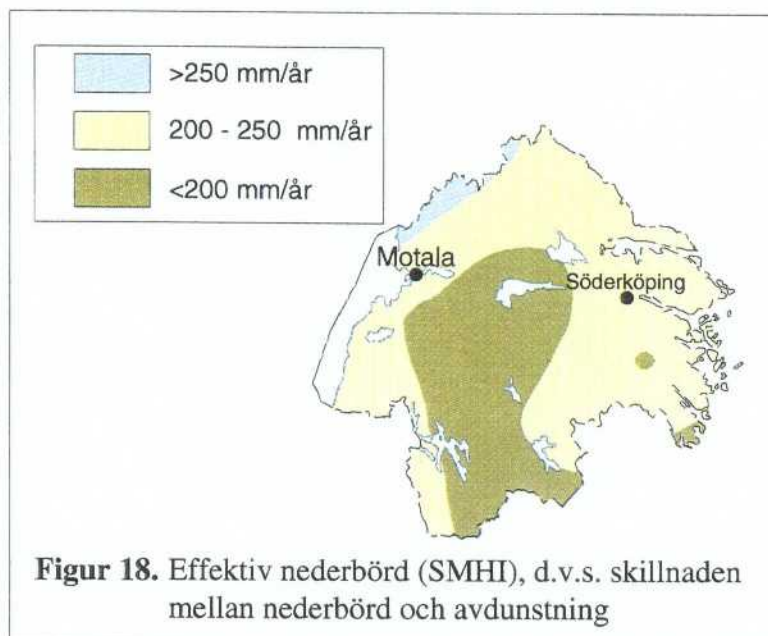
Grundvattnet ingår i det hydrologiska kretsloppet /4, 78/. Av den nederbörd som faller i länet avdunstar ungefär två tredjedelar (pågående arbete, T. Aneblom m.fl.). Återstoden tillförs grundvattnet, med undantag för en mindre del, som rinner av från markytan till sjöar och vattendrag. När de övre marklagren 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 Östergötlands län framgår av Figur 18. Den har beräknats utifrån en vidareutveckling av den metod som använts för beräkning av avrinning /79/. Endast en mindre del av det vatten som infiltreras i marken tillförs berggrunden beroende på dess, i förhållande till jordlagrens, mycket låga genomsläpplighet och obetydliga magasinerande förmåga.

Den ytliga grundvattenströmningen i jordlagren och berggrundens övre delar styrs till största delen av de lokala topografiska förhållandena, se Figur 19 /78/. Uppehållstiden för grundvattnet är kort innan utströmning sker till lågpunkter i terrängen som våtmarker, källor och recipienter. Den djupare grundvattenströmningen i berggrunden styrs däremot mer av de regionala, storskaliga topografiska förhållandena. Regionalt sett sker huvuddelen av grundvattenbildningen i höjdområden och utströmningen av grundvatten till större sjöar och vattendrag i lågområden, alternativt till havet. Ett djupförvar på 500 m djup berörs i huvudsak av dessa regionala, långsamma grundvattenrörelser.

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

Höjdskillnaderna i Östergötlands län är tämligen stora med en högsta marknivå 327 m.ö.h. Regionala skillnader kan med utgångspunkt från de topografiska förhållandena, se Figur 12, tydligt påvisas i länet. Höjdområdena i de södra och norra 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 sjöar samt till Östersjön.



En faktor som påverkar grundvattnets utströmning i det långsiktiga perspektivet är den landhöjning som pågått sedan den senaste nedisningen. Landets höjning medför att landytan ökar och att strandnivån förskjuts utåt, s.k. strandförskjutning. I nutid uppgår landhöjningen till ca 0,2 m/100 år i södra och ca 0,3 m/100 år i norra delarna av länet.

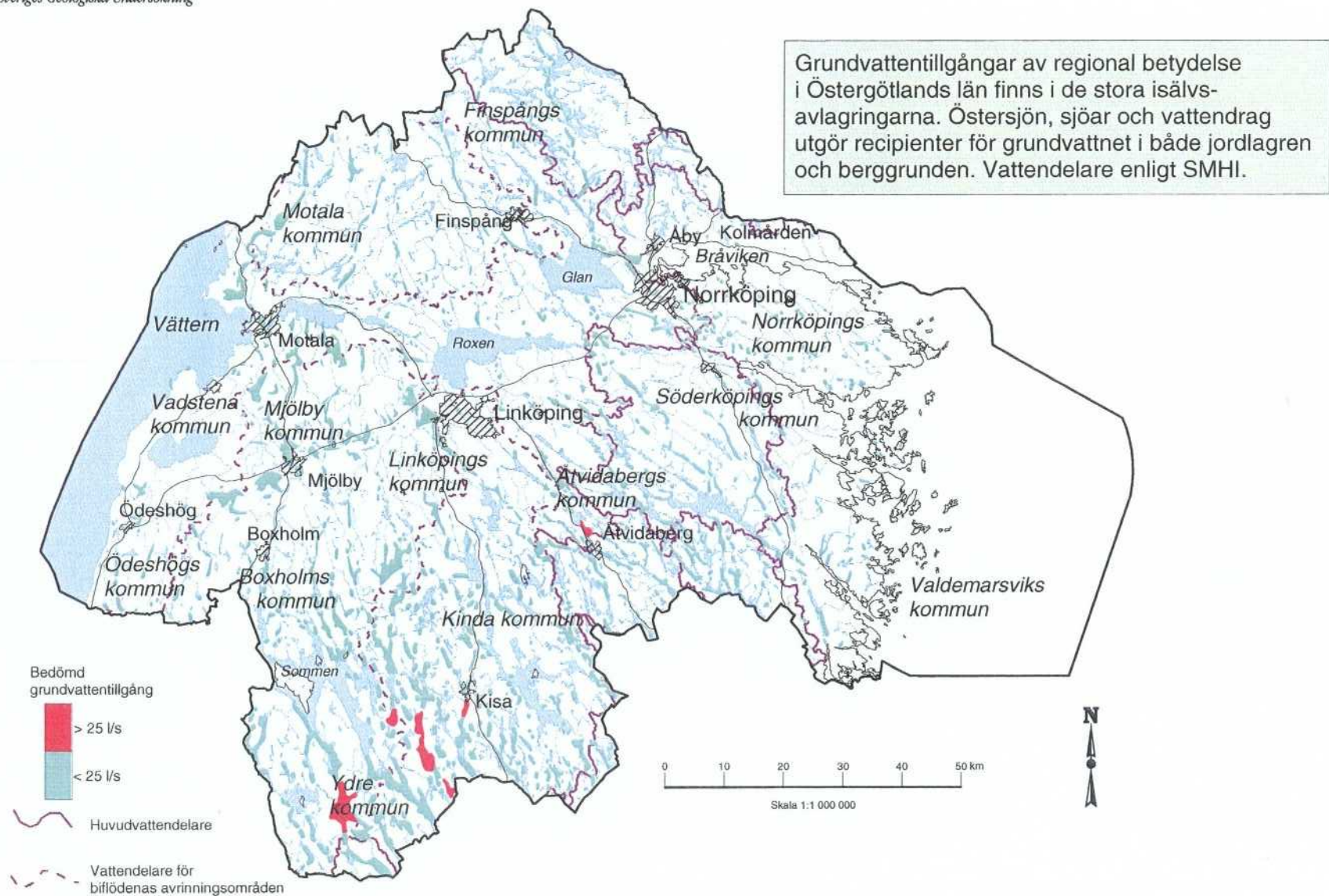
Länets sjöar, vattendrag och avrinningsområden med tillhörande vattendelare framgår av Figur 20 /79/. Avrinningsområdena delas in i huvudavrinningsområden och biflödenas avrinningsområden. Huvudavrinningsområden har sin utloppspunkt i havet och är större än 200 km². Biflödenas avrinningsområden är större än 1000 km² och har sin utloppspunkt i ett större vattendrag. Av Figur 20 framgår att i större delen av Östergötlands län sker ytvattnets avrinning via Motala ström. I den östra delen av länet sker avrinningen via ett antal åar. Värt att notera är avrinningen till Vättern som ingår i Motala ströms huvudavrinningsområde. Grundvattnets lokala och regionala strömning följer i huvudsak ytvattnets avrinningsvägar. Det kan dock inte uteslutas att grundvatten som bildas i höjdområden utanför länet, utbildar djupa, långa strömbanor som avviker från det regionala avrinningsmönstret, d.v.s. som skär huvudvattendelarna.

Grundvattentillgångar

Grundvattentillgångar av regional betydelse i Östergötlands län återfinns i de stora stråken med isälvsavlagringar, t.ex. Mjölbyterrassen och avlagringarna vid Mantorp och Malmslätt (pågående arbete, T. Aneblom m.fl.). Genom att stora grundvattenmängder kan lagras och transporteras i isälvsavlagringarna, har dessa fått stor betydelse för den kommunala vattenförsörjningen i länet. I Figur 20 redovisas bedömda grundvattentillgångar i åsarna enligt SGUs grundvattenkarta över Östergötlands län (pågående arbete, T. Aneblom m.fl.). 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 grundvatten från de fanerozoiska sedimentära bergarterna nyttjas i både den kommunala och den enskilda vattenförsörjningen. Grundvattnet i den kristallina berggrunden har ingen större betydelse för den kommunala vattenförsörjningen men utgör en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

Berggrundens genomsläpplighet

Berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Östergötlands län har beräknats /80/ med hjälp av uppgifter om brunnsdjup, avsänkning och uttagskapacitet från ca 4600 brunnar i SGUs brunnsarkiv. Data från sedimentära bergarter har inte tagits med. Den beräknade hydrauliska konduktiviteten för brunnarna varierar i allmänhet mellan 10⁻⁶ och 10⁻⁹ m/s. Medianvärde för beräknat K är 2,7×10⁻⁸ m/s. Vid beräkningen har brunnar med mindre djup än 20 m i den kristallina berggrunden samt brunnar med större totaldjup än 140 m uteslutits. Vidare har samtliga energibrunnar uteslutits eftersom de vanligtvis är mycket djupa. Koncentrationen av energibrunnar till tätorter skulle därmed ge skenbart lägre genomsläpplighet i dessa områden. Beräknade värden bedöms vara representativa för berggrundens genomsläpplighet ned till ca 100 m djup.



Figur 20. Grundvattentillgångar och vattendelare i Östergötlands län

Berggrundens hydrauliska konduktivitet har, baserat på en geostatistisk analys, interpolerats över länet, se Figur 21. Resultatet visar de regionala skillnaderna i genomsläpplighet. Lägst värden erhålls i de nordöstra delarna av länet. Lokalt kan dock variationerna vara stora, främst beroende på om vattenförande sprickzoner påträffats vid brunnborringen. Av figuren framgår därför även läget för samtliga registrerade brunnar i länet med en bedömd uttagskapacitet överstigande 10 000 l/tim (214 st i kristallin berggrund).

Erfarenheter från borrhålsundersökningar visar att genomsläppligheten i den kristallina berggrunden avtar med djupet /81/. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet mellan nivån 100 m och 500 m under markytan kan uppgå till flera tiopotenser, vilket har stor betydelse för grundvattnets uppehållstid och strömningsvägar. Dessutom kan förhöjda salthalter i grundvattnet förväntas inom hela länet på de djup som är aktuella för ett förvar. Den densitetsskillnad som föreligger mellan det söta, ytliga vattnet och det djupare, salta medför att grundvattenomsättningen ytterligare reduceras. Även på stora djup kan dock grundvattnets strömning påverkas av enskilda vattenförande sprickor och sprickzoner med en betydligt större genomsläpplighet än omgivande berggrund.

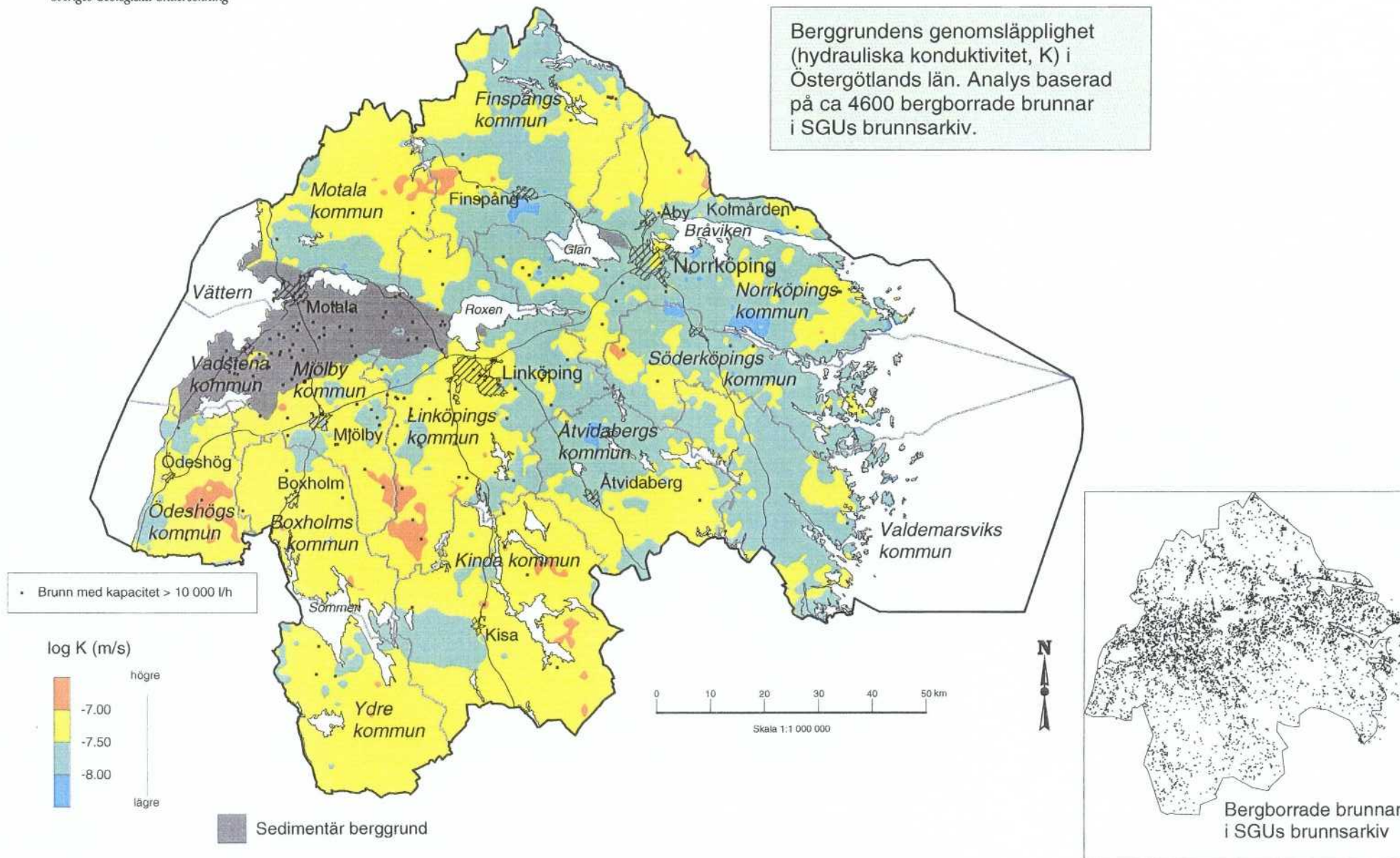
Grundvattnets kemi

Beskrivningen av grundvattnets kemiska status baseras på en jämförelse mellan ca 500 bergborrade brunnar i Östergötlands län och ca 10 000 brunnar från den övriga delen av landet /5/, se Figur 22. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. Den grafiska presentationen utgörs av så kallade "box-plottar" där den undre och övre kanten på varje "box" visar undre respektive övre kvartilen. Den horisontella markeringen inom varje "box" visar medianvärdet. Den understa och översta markeringen visar 10- respektive 90-percentilen.

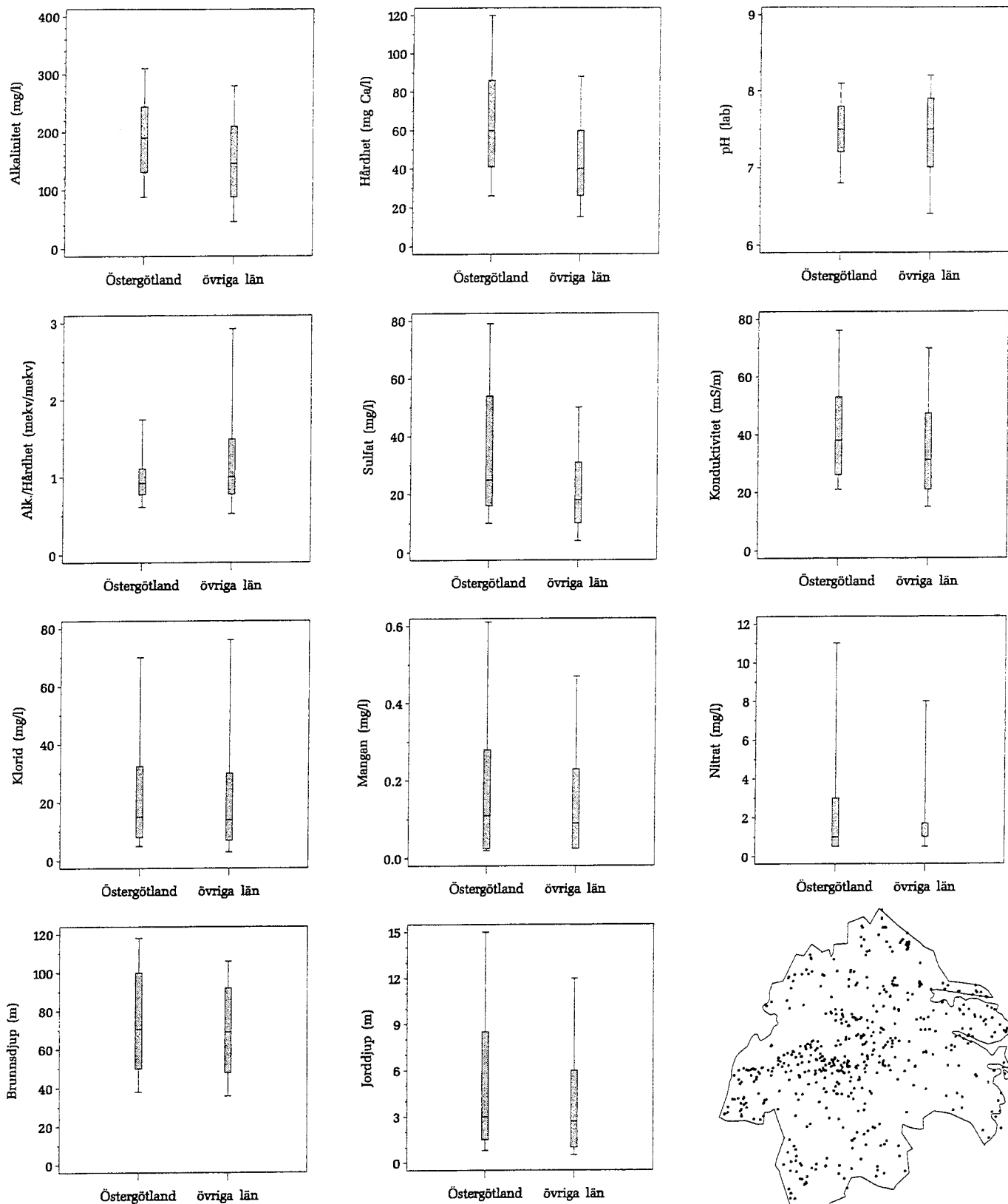
Vittringsberoende variabler som alkalinitet, totalhårdhet (Ca + Mg), pH och konduktivitet har högre värden i Östergötlands län än i övriga landet. Orsaken till detta är en kombination av att länet till stor del ligger under högsta kustlinjen och att höga kalkhalter i jordlagren i de västra delarna av länet påverkar det ytliga grundvattnet. Kvoten mellan alkalinitet och totalhårdhet är lika stor som riksgenomsnittet vilket tyder på att antropogen påverkan av starka syror från nederbörden är ungefär lika stor som i övriga län. Under "naturliga" förhållanden är kvoten nära 1, d.v.s. alkaliniteten och totalhårdheten är ungefär lika.

Nitrathalten har ungefär samma medianvärde som övriga delar av landet. Risk för höga nitrathalter är större än för övriga län vilket sannolikt är ett resultat av jordbrukspåverkan.

Kloridhalterna är ungefär lika höga som i 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 är vanligt förekommande. Förhöjda kloridhalter vid uttag av grundvatten i kustnära områden kan också orsakas av inträngning av salt vatten från Östersjön. Den högsta kloridhalten som uppmätts i bergborrade brunnar i länet uppgår till 2100 mg/l att jämföra med Östersjön och världshaven som har halter omkring 4000 respektive 20 000 mg/l. Sannolikt styrs förekomsten av relict saltvatten under HK till stor del av de topografiska betingelserna. I flacka och låglänta områden är grundvattnets omsättning generellt sett långsammare än i kuperad terräng med omväxlande höjd och lågområden, vilket påverkar takten av "ursköljning" av det salta vattnet med sött grundvatten. De topografiska



Figur 21. Berggrundens genomsläpplighet i Östergötlands län (sammanställning juni 1997)



Antal analyser i Östergötlands län och övriga delen av landet:

	HCO ₃	Hårdhet	pH	HCO ₃ /Hårdhet	SO ₄	Konduktivitet	Cl	Mn	NO ₃	Jorddjup	Brunnsdjup
Östergötland	556	555	554	555	221	502	556	475	473	470	556
Övriga län	11191	10513	11516	10494	6969	8764	10244	8943	8282	7924	11529

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

förhållandena i Östergötlands län varierar med flack terräng under högsta kustlinjen i de centrala delarna och mer kuperad terräng i de södra och norra delarna.

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

Jorddjup och brunnsdjup avviker inte nämnvärt från övriga delar av landet och bidrar därför inte heller till att förklara skillnader i grundvattenkemi.

9 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar

Sammanfattande slutsatser

Berggrunden i Östergötlands län kan i grova drag indelas i tre regioner:

1. Norra och östra delen av länet domineras av äldre djupbergarter, huvudsakligen granitoider, samt ytbergarter i form av omvandlade sedimentära bergarter och vulkaniter. Ytbergarternas ålder uppgår till ca 1900 miljoner år medan djupbergarterna är ca 1890-1870 miljoner år gamla.
2. I de västra och södra delarna utgörs berggrunden av yngre (ca 1850-1810 miljoner år) granit-kvartsmonzonit samt gabbro. Bergarterna tillhör det Transskandinaviska magmatiska bältet.
3. I den västra, centrala delen av länet finns ett betydande område mellan sjön Roxen och Vättern med senprekambriska och fanerozoiska (ca 700-420 miljoner år) sedimentära bergarter i form av sandsten, lerskiffer och kalksten.

Gångbergarter förekommer endast sparsamt i länet, i väster med N-S-lig strykning och i norr med riktning VNV.

Information om *berggrundens homogenitet* föreligger i första hand från den nordvästra hälften av länet som täcks av modern geologisk kartläggning, se Figur 2. Berggrunden är sällan helt homogen över större områden. Inhomogeniteter förekommer i form av t.ex. gångbergarter, inneslutningar och sprickor. Generellt sett är de yngre djupbergarterna mer homogena än de äldre även om de förstnämnda lokalt kan uppvisa betydande inhomogeniteter. Berggrunden i nordost (ytbergarter och äldre djupbergarter) är mycket inhomogen.

Beträffande *mineral- och bergartsresurser* inom Östergötlands län kan konstateras att de kända resurserna är koncentrerade till länets östra och norra delar. För närvarande pågår ingen malmbrytning men strax utanför länsgränsen, i Örebro län, bryts Sveriges största zinkmalm, Zinkgruvan. Intresset för prospektering har ökat kraftigt de senaste åren, främst i länets norra delar. Bland nyttostensförekomster kan nämnas kristallin kalksten vid Kolmården (Kolmårdsmarmor).

Två system av *plastiska skjuvzoner* uppträder i länet. Dominerande är det system av skjuvzoner som återfinns i norra och östra delen av länet. Zonerna som påverkat huvudsakligen de äldre granitoiderna och vulkaniterna stryker i riktning VNV till NV i anslutning till kontakten till de yngre graniterna i södra och västra delen av länet. Det andra, i länet underordnade, systemet av deformationszoner stryker i riktning NNO längs Vättern och är en del av den s.k.

Protoginzone som sträcker sig från södra Sverige till norr om Vättern. *Sprickzonernas* dominerande riktningar är VNV till NV, NNV till N-S, O-V samt längs Vättern NNO till NO. Många av zonerna har påverkat det subkambriska peneplanet och även förkastat fanerozoiska bergarter vilket visar att rörelser skett efter för ca 420 miljoner år sedan. I ett geologiskt perspektiv är detta tämligen unga rörelser. Det finns vidare en tendens till högre frekvens av sprickzoner i länets västra och södra delar jämfört med de norra och östra delarna.

Länets *jordartsgeologi* är starkt varierande. I söder dominerar morän och berg i dagen men i vissa områden har även isälvsediment stor utbredning. I länets västra, centrala del inom området med fanerozoisk berggrund återfinns framför allt morän och finkorniga sediment. Kustzonen i öster domineras kraftigt av kalt berg och lera medan i norr utgörs jordtäcket åter av framför allt morän. Blottningsgraden är hög även i denna del av länet. Jorddjup över 5 m förekommer inom området med fanerozoisk berggrund och bara undantagsvis inom andra delar av länet.

Östergötlands län ligger öster om ett bälte där *jordskalv* förekommer mer frekvent och relativt få jordskalv finns registrerade med en viss koncentration till länets västra delar, utmed Vättern. På endast ett fåtal lokaler har spår av *sen- och postglaciala rörelser* observerats vid SGUs jordartskartering. Mindre störningar i isälvsavlagringarna har annars tolkats av SGU som orsakade av rörelser i isfronten vid avsmältningen eller av infrusna ispartier o.s.v. *Landhöjningen*, eller egentligen strandförskjutningen som betecknar samspelet mellan landets höjning och havsytans höjning eller sänkning, uppgår till 0,2 m per 100 år i södra delen av länet och 0,3 m per 100 år i norr.

Ur *hydrogeologisk synvinkel* kan konstateras att berggrundens genomsläpplighet i Östergötlands län visar på normala förhållanden, d.v.s. stora lokala variationer och mindre regionala skillnader. De lägsta värdena har erhållits i de östra delarna av länet. Grundvattnets djupa, långa strömbanor utbildas i höjdområdena i de södra och norra delarna av länet. Utströmning sker i första hand till större vattendrag och sjöar samt till Östersjön. Grundvattentillgångar av regional betydelse i länet återfinns i de stora stråken med isälvsavlagringar. Grundvattnets kemiska sammansättning är i stort sett normal jämfört med övriga områden under högsta kustlinjen. Påverkan från höga kalkhalter i jordlagren i de västra delarna av länet ger grundvattnet en högre hårdhet än i andra jämförbara delar av landet. Risk för höga nitrathalter är större än i andra län vilket tolkas som resultat av påverkan från jordbruket.

Områden lämpliga för vidare undersökning

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

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

Vidare är det en fördel om jordmäktigheten är måttlig. Vattengenomsläppligheten bör vara låg vilket vanligen är fallet om berggrundens 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. Dessa domäner genomkorsas dock av uthålliga sprickzoner som också måste 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.

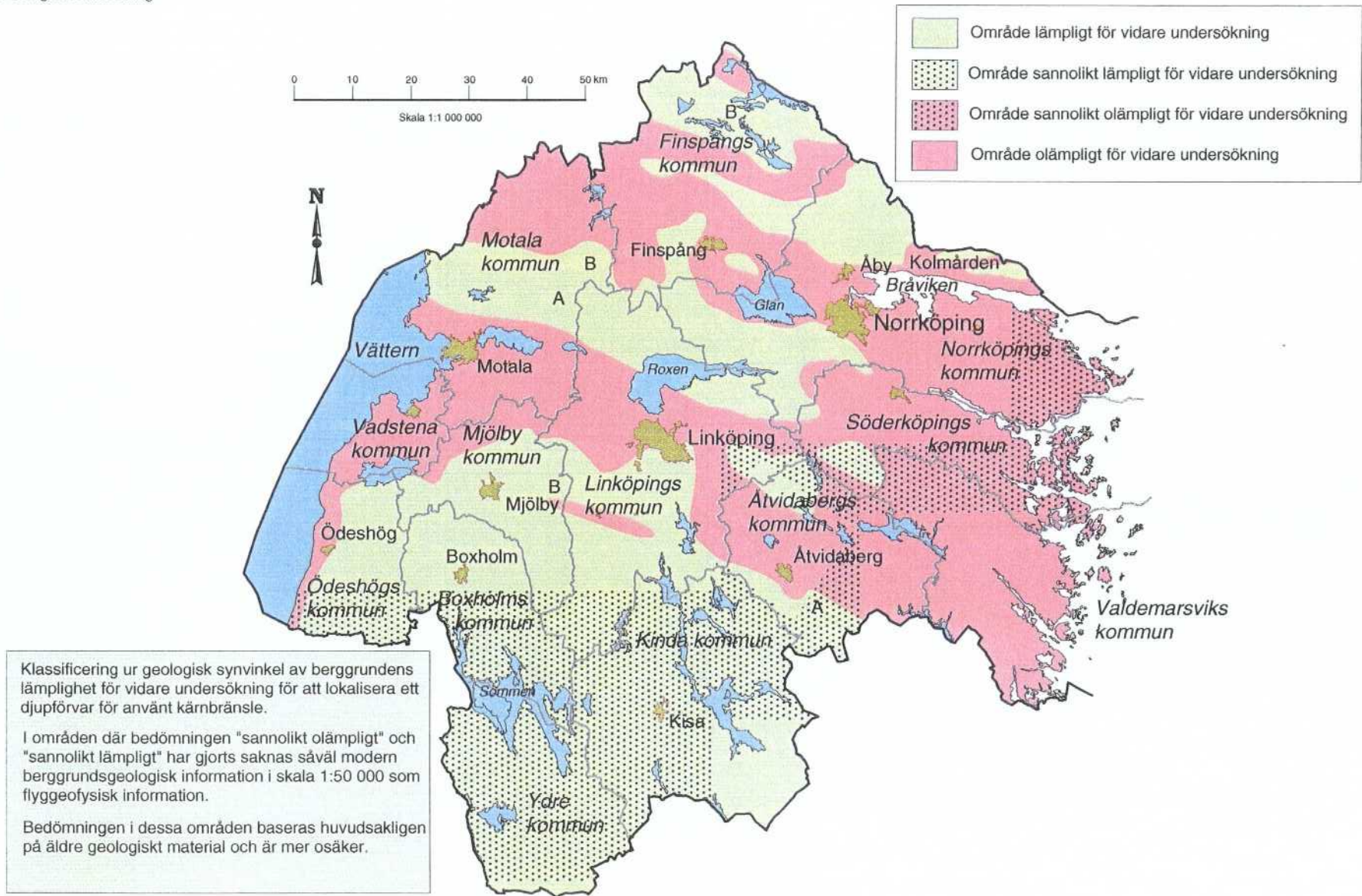
En första översiktlig bedömning över var sådana områden kan tänkas finnas ges i Figur 23. Bedömningen baseras på länets förutsättningar med avseende på berggrundens sammansättning, framtida prospekteringsintresse och tolkade deformationszoner. Detaljerade undersökningar, exempelvis förstudier av enskilda kommuner och platsundersökningar, krävs dock för att identifiera var berggrundsblock finns som uppfyller ovannämnda förutsättningar och andra krav som ställs på ett djupförvar. Generellt kan konstateras att frekvensen av jordskalv är låg i länet med det finns en viss koncentration till länets västra delar. På endast ett fåtal lokaler har spår av andra sen- och postglaciala rörelser observerats vid SGUs geologiska kartläggning av länet. Jordtäcket sammansättning och mäktighet samt de hydrogeologiska förhållandena är generellt sett gynnsamma i hela länet och har inte legat till grund för att gradera områden med olika geologiska förutsättningar.

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

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

- Större delen av de norra och östra delarna av länet där berggrunden till en betydande del består av metavulkaniska, potentiellt malmförande bergarter. I dessa områden uppträder dessutom flera regionala plastiska skjuvzoner.
- Ett område väster om sjön Roxen bestående av senprekambriska och fanerozoiska sedimentära bergarter. Dessa bergarter tillhör en sekvens som är upp till 250 m mäktig och överlagrar äldre prekambriska bergarter (urberget). Den norra kontakten mellan de prekambriska och sedimentära bergarterna utgörs av en förkastning.
- Området väster och sydväst om Linköping där berggrunden ser ut att vara delvis mycket inhomogen. En plastisk skjuvzon har också tolkats i detta område.
- Östra sidan av Vättern där ett system av plastiska skjuvzoner tillhörande den s.k. Protogin-zonen förekommer.

Resultatet av sammanställningen visar att **lämpliga** eller **sannolikt lämpliga** områden för vidare undersökningar finns i den västra delen av länet, se Figur 23. De stora områdena



Figur 23. Översiktlig bedömning ur geologisk synvinkel av berggrundens lämplighet för vidare undersökning i Östergötlands län. Områdena A och B refereras till i texten

mellan och väster om sjöarna Roxen och Glan samt den sydvästra delen av länet domineras av magmatiska bergarter (ca 1850-1810 miljoner år), huvudsakligen djupbergarter men även vulkaniska bergarter. Bergarterna tillhör en stor, relativt homogen geologisk provins i Sveriges berggrund, det s.k. Transskandinaviska magmatiska bältet. Övriga områden består huvudsakligen av äldre granitoider eller yngre graniter samt, i mindre omfattning, metasedimentära bergarter. För samtliga områden gäller att regionalt betydande plastiska skjuvzoner inte har påvisats och att bergarterna inte är intressanta ur prospekteringssynpunkt. Som tidigare påpekats är det berggrundsblocken mellan de uthålliga sprickzonerna och stråken av isälvsavlagringar som kan bli aktuella för lokalisering av ett djupförvar.

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

- Nordost om Motala och sydost om Åtvidaberg (A i Figur 23) finns mindre områden med metavulkaniska bergarter.
- Den relativt höga frekvensen av diabasgångar sydväst om Linköping, nordost om Motala och norr om Finspång (B i Figur 23) och de problem som detta kan medföra i form av inhomogen berggrund och ökad vattengenomsläpplighet längs kontakterna till dessa gånger.
- Tendens till högre frekvens av sprickzoner, och till följd av detta mindre mellanliggande berggrundsblock, i länets västra och södra delar.

Förekomst och utsträckning av områden som är av intresse för vidare undersökning har definierats utifrån ett översiktligt och delvis ofullständigt underlag. Som redan påpekats krävs stegvis mer detaljerade undersökningar för att med säkerhet avgöra om ett område är geologiskt lämpligt för ett djupförvar. Det kan förväntas att potentiellt gynnsamma områden som framkommer i en mer detaljerad studie är mindre och mera väldefinierade än de större, mera generaliserade områden som länsöversikten ger. 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 **Gorbatshev, R., 1975:** Beskrivning till berggrundskartan Linköping SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 113, 1-76.
- 8 **Gorbatshev, R., Fromm, E. & Kjellström, G., 1976:** Beskrivning till berggrundskartan Linköping NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 107, 1-111.
- 9 **Kornfält, K.-A., 1975:** Beskrivning till berggrundskartan Norrköping NV. Sveriges geologiska undersökning, Af 108, 1-54.
- 10 **Persson, L., 1985:** Beskrivning till berggrundskartorna Vetlanda NV och NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 150/151, 1-138.
- 11 **Persson, L., Bruun, Å. & Dahlman, B., 1981:** Beskrivning till berggrundskartan Linköping SV. Sveriges geologiska undersökning, Af 132, 1-150.
- 12 **Persson, L., Bruun, Å. & Vidal, G., 1985:** Beskrivning till berggrundskartan Hjo SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 134, 1-143.
- 13 **Wikman, H., Bruun, Å., Dahlman, B. & Vidal, G., 1980:** Beskrivning till berggrundskartan Linköping NV. Sveriges geologiska undersökning, Af 119, 1-105.
- 14 **Wikman, H., Bruun, Å., Dahlman, B. & Vidal, G., 1982:** Beskrivning till berggrundskartan Hjo NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 120, 1-112.

- 15 **Wikström, A., 1975:** Beskrivning till berggrundskartan Norrköping NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 112, 1-78.
- 16 **Wikström, A., 1976:** Beskrivning till berggrundskartan Katrineholm SV. Sveriges geologiska undersökning, Af 116, 1-88.
- 17 **Wikström, A., 1979:** Beskrivning till berggrundskartan Katrineholm SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 123, 1-101.
- 18 **Wikström, A., 1983:** Beskrivning till berggrundskartorna Katrineholm NV och NO. Sveriges geologiska undersökning, Af 131/137, 1-88.
- 19 **Wikström, A. & Karis, L., 1991:** Beskrivning till berggrundskartorna Finspång NO, SO, NV, SV. Sveriges geologiska undersökning, Af 162/163/164/165, 1-216.
- 20 **Persson, L. & Wikman, H., 1986:** Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan Jönköping. Sveriges geologiska undersökning, Ba 39, 1-25.
- 21 **Lundegårdh, P.H., Wikström, A. & Bruun, Å., 1985:** Beskrivning till provisoriska översiktliga berggrundskartan Oskarshamn. Sveriges geologiska undersökning, Ba 34, 1-26.
- 22 **Bruun, Å., Nilsson, C.-A., Sundberg, A., Wik, N.-G. & Wikström, A., 1995:** Malmer, industriella mineral och bergarter i Östergötlands län. Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och meddelanden 80, 1-353.
- 23 **Leijon, B., Windelhed, K. & Ekman, L., 1996:** Förstudie Nyköping. Erfarenheter från berganläggningar i regionen samt undersökningar från Björksund. SKB PR D-96-023, 1-38.
- 24 **Jarl, L.-G. & Johansson, Å., 1988:** U-Pb zircon ages of granitoids from the Småland-Värmland granite porphyry belt, southern and central Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 110, 21-28.
- 25 **Persson, P.-O. & Wikström, A., 1993:** A U-Pb dating of the Askersund granite and its marginal augen gneiss. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 115, 321-329.
- 26 **Blaxland, A.B., 1977:** Agpaitic magmatism at Norra Kärr? Rb-Sr isotopic evidence. Lithos 10, 1-8.
- 27 **Welin, E., 1979:** Tabulation of recalculated radiometric ages published 1960-1979 for rocks and minerals in Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 101, 309-320.
- 28 **Patchett, P.J., 1978:** Rb-Sr ages of Precambrian dolerites and syenites in southern and central Sweden. Sveriges geologiska undersökning, C 747, 1-63.

- 29 **Grahn, Y. & Nolvak, J., 1993:** Chitinozoan dating of Ordovician impact events in Sweden and Estonia. A preliminary note. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 115, 263-264.
- 30 **Asklund, B. & Sandegren, R., 1923:** Beskrivning till kartbladet Torönsborg. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 153, 1-74.
- 31 **Asklund, B., Ekström, G. & Assarsson, G., 1928:** Beskrivning till kartbladet Gusum. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 159, 1-107.
- 32 **Blomberg, A., 1906:** Beskrifning till kartbladet Gällö. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 131, 1-38.
- 33 **Blomberg, A., 1909:** Beskrifning till kartbladet Linköping. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 141, 1-43.
- 34 **Gavelin, A., 1904:** Beskrifning till kartbladet Loftahammar. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 127, 1-91.
- 35 **Nathorst, A.G., 1878:** Beskrifning till kartbladet Gottenvik. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 64, 1-40.
- 36 **Sandegren, R. & Sundius, N., 1926:** Beskrivning till kartbladet Skrikerum. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 157, 1-102.
- 37 **Sandegren, R. & Sundius, N., 1928:** Beskrivning till kartbladet Valdemarsvik. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 158, 1-68.
- 38 **Sandegren, R., Sundius, N. & Lundqvist, G., 1924:** Beskrivning till kartbladet Åtvidaberg. *Sveriges geologiska undersökning*, Aa 155, 1-84.
- 39 **Bergman, T., Isaksson, H., Johansson, R., Lindén, A., Persson, C. & Stephens, M., 1996:** Förstudie Nyköping. Jordarter, bergarter och deformationszoner. SKB PR D-96-013, 1-81.
- 40 **Rieffe, E.C., van Lil, R., Verweij, P.M. & Beunk, F.F., 1993:** Preliminary data from the Loftahammar Shear Zone, southeastern Sweden. *Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden* 76, 16.
- 41 **Stephens, M.B. & Wahlgren, C.-H., 1993:** Oblique-slip, right-lateral ductile deformation zones in the Svecokarelian orogen, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden* 76, 18-19.
- 42 **Andréasson, P.-G. & Rodhe, A., 1990:** The Protogine Zone. Geology and mobility during the last 1.5 Ga. SKB TR 92-21, 1-60.
- 43 **Andréasson, P.-G. & Rodhe, A., 1992:** Geology of the Protogine Zone south of Lake Vättern: a reinterpretation. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 112, 107-125.

- 44 **Tirén, S.A. & Beckholmen, M., 1992:** Rock block analysis of southern Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 114, 253-269.
- 45 **Bergström, R., 1973:** Beskrivning till jordartskartan Norrköping NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 14, 1-79.
- 46 **Bergström, R., 1975:** Beskrivning till jordartskartan Norrköping NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 15, 1-53.
- 47 **Fromm, E., 1976:** Beskrivning till jordartskartan Linköping NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 19, 1-77.
- 48 **Johansson, H.G., 1973:** Beskrivning till jordartskartan Linköping SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 13, 1-71.
- 49 **Johansson, H.G., 1975:** Beskrivning till jordartskartan Hjo NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 22, 1-56.
- 50 **Johansson, H.G., 1976:** Beskrivning till jordartskartan Linköping NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 24, 1-102.
- 51 **Johansson, H.G., 1979:** Beskrivning till jordartskartan Linköping SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 36, 1-74.
- 52 **Persson, C., 1976:** Beskrivning till jordartskartan Katrineholm SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 29, 1-75.
- 53 **Svantesson, S.-I., 1981:** Beskrivning till jordartskartan Hjo SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 44, 1-101.
- 54 **Svantesson, S.-I., 1983:** Beskrivning till jordartskartan Arkösund SV/SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 57, 1-51.
- 55 **Svantesson, S.-I., 1986:** Beskrivning till jordartskartan Norrköping SV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 81, 1-96.
- 56 **Svantesson, S.-I., 1988:** Beskrivning till jordartskartan Arkösund NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 91, 1-56.
- 57 **Svantesson, S.-I., 1989:** Beskrivning till jordartskartan Loftahammar NV. Sveriges geologiska undersökning, Ae 97, 1-58.
- 58 **Svantesson, S.-I., 1993:** Beskrivning till jordartskartan Västervik NO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 112, 1-97.
- 59 **Söderlund, T., 1986:** Beskrivning till jordartskartan Norrköping SO. Sveriges geologiska undersökning, Ae 67, 1-73.

- 60 **Blomberg, A., 1907:** Beskrifning till kartbladet Boxholm. Sveriges geologiska undersökning, Aa 140, 1-37.
- 61 **Stolpe, M., 1881:** Beskrivning till kartbladet Tjällmo. Sveriges geologiska undersökning, Aa 70, 1-25.
- 62 **Svedmark, E., 1904:** Beskrifning till kartbladet Sommenäs. Sveriges geologiska undersökning, Aa 119, 1-32.
- 63 **Svedmark, E., 1907:** Beskrifning till kartbladet Svinhult. Sveriges geologiska undersökning, Aa 134, 1-73.
- 64 **Svedmark, E., 1913:** Beskrivning till kartbladet Kisa. Sveriges geologiska undersökning, Aa 149, 1-32.
- 65 **Lundqvist, J., 1994:** Inlandsisens avsmältning. *I:* C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 124-135.
- 66 **Kristiansson, J., 1986:** The ice recession in the south-eastern part of Sweden. Kvartärgeologiska institutionen, Stockholms universitet, Report 7, 1-132.
- 67 **Perhans, K.-E., 1981:** Revisionen av den svenska lervarvskronologin. Lervarvskronologin mellan Borensberg och Vingåker, *Den senaste nedisningens förlopp, med särskilt hänsyn till deglaciationen i Sverige, Symposium Jan. 12-13, 1981*, 66-68. — IGCP project 73/1/24 Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere, Stockholm.
- 68 **Brunnberg, L., 1995:** Clay-varve chronology and deglaciation during the Younger Dryas and Preboreal in the easternmost part of the Middle Swedish Ice Marginal Zone. *Quaternaria A:2*, 1-94.
- 69 **Mörner, N.-A., 1979:** The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence. *GeoJournal* 3.3, 287-318.
- 70 **Fredén, C., 1994:** Jordarterna. *I:* C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas, 104-119.
- 71 **Persson, C., 1994:** Sveriges jordartsregioner. *I:* C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 143-149.
- 72 **Lagerbäck, R., 1979:** Neotectonic structures in northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 263-269.
- 73 **Lagerbäck, R., 1990:** Late Quaternary faulting and paleoseismicity in northern Fennoscandia, with particular reference to the Lansjärv area, northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 112, 333-354.
- 74 **Bergsten, K.-E., 1943:** En senglacial förkastning i norra Östergötland. *Svensk Geografisk Årsbok* 19, 1-16.

- 75 **Mörner, N.-A., 1978:** Faulting, fracturing, and seismicity as functions of glacioisostasy in Fennoscandia. *Geology* 6(1), 41-45.
- 76 **Mörner, N.-A., 1979:** Earth movements in Sweden, 20 000 BP to 20 000 AP. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 279-286.
- 77 **Muir Wood, R., 1993:** A review of the seismotectonics of Sweden. SKB TR 93-13, 1-225.
- 78 **SGU, 1994:** Grundvattnet i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ah 17 (karta, 1:1 miljon).
- 79 **SMHI, 1995:** Sveriges Vattensystem. I: B. Raab & H. Vedin (red.), *Klimat, sjöar och vattendrag*. — Sveriges Nationalatlas, 116-123.
- 80 **Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977:** Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock. *Nordic Hydrology* 8, 103-116.
- 81 **SKB, 1992:** SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten.

BILAGA A

GEOLOGISK ORDLISTA

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

Albit. Natriumrik fältspat.

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

Amfibolit. Metamorf bergart bestående av huvudsakligen amfibol och plagioklas.

Anatektisk. Bildad genom uppsmältning av äldre bergarter.

Andalusit. Aluminiumsilikat.

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

Anomali. Lokal avvikelser.

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

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

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

Aureol. Område med speciell karaktär kring en bergartsintrusion.

Axialplan. Se veckaxelplan.

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

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

Basalt. Basisk vulkanisk bergart.

Basisk bergart. Bergart med 45-52 viktprocent SiO₂.

Bergart. Sammanhållet aggregat av ett eller vanligen flera mineral.

Bentonit. Mjuk, plastisk lera.

Biotit. Mörkt glimmermineral.

Blyglans. Sulfidmineral. Blyglans är det viktigaste blymineralet.

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

Cordierit. Ett silikatmineral vanligt i metamorfa bergarter.

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

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

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

Diabasgång. Se diabas.

Diamantbörning. Undersökningsbörning med diamantsatt borrkrona. Börningen syftar till att ta upp en serie prov, borrkärna, av berggrunden.

Digital. Representation av data med hjälp av siffror.

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

Diopsid. Se pyroxen.

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

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

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

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

Eem. Värmepreioden före Weichsel-istiden.

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

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

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

Fanerozoikum. Geologisk tidsålder, yngre än 545 miljoner år.

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

Finmo. Jordart med kornstorleken 0.02-0.06 mm.

Flyttblock. Stora av inlandsisen transporterade block.

Formlinjer. Linjer som markerar en trend.

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

Fossil. Förstenade lämningar efter djur och växter.

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

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

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

Gabbro. Basisk djupbergart.

- Glacial.** Istid. Betecknar även företeelser och bildningar relaterade till en inlandsis.
- Glaciation.** Nedisning.
- Glimmer.** Silikat som kristalliserar i bladiga eller fjälliga former. Vanligast är biotit och muskovit.
- Gnejs.** Högmetamorf bergart med mer eller mindre välutvecklad planstruktur, ofta också med bandning.
- Gnejsgranit.** Omvandlad (förgnejsad) granit.
- Granat.** Sammanfattande namn för en grupp av silikatmineral med kubisk kristallform och varierande sammansättning.
- Granatådergnejs.** Granatförande ådergnejs.
- Granit.** Djupbergart bestående av huvudsakligen mineralen kvarts, fältspat, glimmer och/eller hornblände.
- Granitoid.** Samlingsnamn för kvartsrika djupbergarter, t.ex. granit, granodiorit, tonalit.
- Grus.** Jordart med kornstorlek 2-20 mm.
- Gyttjelera.** Jordart (lera) med 2-6 % organiskt material.
- Gångbergart.** En magmatisk bergart i form av en skiva. Utgör sprickfyllnader och har vanligen bildats i övre delen av jordskorpan.
- Hematit.** Järnoxidmineral.
- HK = Högsta Kustlinjen**
- Hornblände.** Se amfibol.
- Hybridbergart.** Blandbergart
- Högsta Kustlinjen.** Den högsta nivå dit havet nådde i samband med den senaste isavsmältningen. Denna ligger olika högt i skilda delar av landet bl.a. beroende på hur stor landhöjningen varit.
- Illit.** Glimmerliknande lermineral.
- Inlandsis.** Ismassa som täcker stora delar av en kontinent.
- Interglacial.** Tiden mellan två istider.
- Intermediär bergart.** Bergart med 52-65 viktprocent SiO₂.
- Interstadial.** Tiden mellan två kallare perioder inom samma istid.
- Intrusiv.** Magmatisk bergart som trängt in i och stelnat i jordskorpan som massiv eller som gångar.
- Isostasi.** Jämviktstillstånd i jordskorpan.
- Isräffla.** Repa i fast berg orsakad av block eller sten som transporterats i undre delen av inlandsisen.
- Isälvsavlagring.** Se isälvs sediment.
- Isälvs sediment.** Sediment som transporterats av isälvar och smältvattenströmmar för att sedan avlagras vid isfronten i samband med avsmältningen.
- Jordart.** Lösa avlagringar på jordytan.
- Jordskorpa.** Den yttersta delen av jordklotet, ned till 5-10 km under oceanerna och till ca 35 km under kontinenterna.
- Kalcit.** Kalciumkarbonat. Huvudmineral i kalksten.
- Kalifältspat.** Se fältspat.
- Kalksten.** Bergart bestående av i huvudsak kalcit.
- Kame.** Kulle med markanta sidor eller oregelbunden rygg, huvudsakligen uppbyggd av isälvs sediment i kontakt med inlandsis.
- Kaolinit.** Ett lermineral. Se kaolin.
- Kaolin.** Grå eller vit lera huvudsakligen bestående av kaolinit.
- Kaxborrning.** Undersökningsborrning i berg utan att något prov i form av borrkärna erhålles (jfr diamantborrning). Det finkorniga material som bildas vid borrningen kallas borrkax. Kaxet kan studeras på olika sätt och ge information om berggrunden i borrhålet.
- Klorit.** Glimmerliknande, vanligen grönt, silikatmineral.
- Koboltglans.** Ett silvervitt kobolthaltigt sulfidmineral.
- Konglomerat.** Sedimentär bergart som består av rundade stenar i en oftast sandig eller grusig mellanmassa.
- Kopparkis.** Ett kopparsulfidmineral. Det i Sverige viktigaste mineralet för utvinning av koppar.
- Kraton.** Konsoliderad och stabil del av den kontinentala jordskorpan.
- Kratonisering.** Konsolidering och stabilisering av jordskorpan.
- Krossbreccia.** Bergart bildad genom mycket kraftig spröd deformation. Består av kantiga fragment i en finkornig mellanmassa.
- Kuddlavestruktur.** Kuddliknande struktur i basisk bergart, bildad genom att lava flutit ut på havsbotten.
- Kvarts.** Kiseldioxid (SiO₂).
- Kvartsitisk.** Omvandlad kvartsrik bergart.
- Kvartärtid.** Den senaste geologiska tidsperioden, vilken omfattar tiden från ca 2 milj år sedan till nutid.
- Landhöjning.** Höjning av landytan i förhållande till havsytan.
- Laumontit.** Silikatmineral bildat genom omvandling av fältspat.
- Lava.** Magma som trängt ut på jordytan.
- Leptit.** Äldre beteckning, särskilt i Bergslagen, på en omvandlad sur vulkanisk bergart (metavulkanit)
- Lera.** Jordart med kornstorlek < 0.002 mm.
- Lermineral.** Olika grupper av mineral som bygger upp leriga sediment.
- Lervarvmätningar.** Studier av varvig lera. Ett varv motsvarar avsättningen under ett år.
- Lineament.** Rak eller svagt böjd långsträckt struktur.
- Läsidesmorän.** Moränrygg avsatt längs med isrörelseriktningen. I allmänhet sydost om en håll.
- Magma.** Smält berg.
- Magmatisk bergart.** Bergart bildad ur en bergarts-smälta (magma).
- Magnetiska konnektioner.** Se formlinjer.
- Magnetiskt lineament.** Rak eller svagt böjd långsträckt struktur som kan ses på en magnetisk karta.
- Magnetit.** Magnetiskt mineral (järnoxid). Viktigt mineral för utvinning av järn.
- Magnitud.** Mått på styrkan av en jordbävning.
- Malm.** En mineralkoncentration som är ekonomiskt brytvärd.

- Mantel.** Den del av jordklotet som ligger under jordskorpan, ned till ca 2 900 m djup.
- Marmor.** Genom metamorfos omkristalliserad kalksten eller dolomit.
- Massformig.** Slumpmässig fördelning och orientering av mineralen i en bergart.
- Meta-** Prefix som används framför bergartsnamn för att indikera omvandlad karaktär (t.ex. metavulkanit). Jämför metamorfos.
- Metabasit.** Omvandlad basisk bergart.
- Metamorf.** Omvandlad.
- Metamorfos.** Den omvandling som en bergart genomgår när den utsätts för ändrat tryck och/eller ändrad temperatur.
- Metasedimentär bergart.** Omvandlad, ursprungligen sedimentär bergart.
- Metavulkanisk bergart.** Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.
- Metavulkanit.** Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.
- Migmatit.** Bergart bildad genom delvis uppsmältning och rekristallisation av äldre berggrund.
- Migmatitgranit.** Granit bildad genom uppsmältning av äldre berggrund.
- Migration.** Vandring. Exempelvis ett ämnes rörelse i ett medium.
- Mikroklin.** Vanligen ljusröd fältspat. Ett av de vanligaste bergartsbildande mineralen.
- Mineral.** Fast, oorganisk substans som är definierad genom sin kemiska sammansättning och kristallsymmetri.
- Mjåla.** Jordart med kornstorlek 0.002-0.02 mm.
- Mo.** Jordart med kornstorlek 0.02-0.2 mm.
- Monzodiorit.** En djupbergart.
- Monzonit.** En djupbergart.
- Morän.** Jordart som avlagrats av inlandsisen. Moränen har varierande sammansättning av block, sten, grus, sand, mo, mjåla och ler.
- Moränbacklandskap.** Kuperad terräng av morän.
- Muskovit.** Ljust glimmermineral.
- Mylonit.** Finkornig bergart bildad genom mycket stark plastisk deformation.
- Mylonitzonen.** En starkt mylonitiserad zon i Sydvästsveriges gnejsberggrund.
- Nefelin.** Ett fältspatliknande mineral rikt på natrium.
- Neosom.** Nybildat (rekristalliserat) material i en migmatit.
- Neotektonik.** Unga tektoniska rörelser i jordskorpan.
- Norit.** Basisk djupbergart.
- Olivin.** Järn-magnesiumsilikat som främs förekommer i basiska bergarter.
- Ordovicisk.** Från den tidsperiod ca 495-443 miljoner år sedan som benämns ordovicium.
- Orogen.** Se orogent bälte.
- Orogent bälte.** Vanligen långsmalt område av jordskorpan inom vilket bergskedjebildning sker eller har skett.
- Orogenes.** Bergskedjebildning.
- Ortofoto.** En bild av marken där hela bilden gjorts skalriktig.
- Paleosom.** Rester av moderbergarten i en migmatit.
- Pechblände.** Uranmineral.
- Pegmatit.** En grovkristallin granitisk bergart som vanligen bildar gångar eller mindre massiv.
- Peneplan.** En utbredd flack, relativt jämn berggrundsytta bildad genom långvarig erosion.
- Permeabel.** Genomsläpplig.
- Plagioklas.** Se fältspat.
- Plastisk deformation.** Deformation vid vilken berggrunden reagerar plastiskt, dvs betar sig som en trögflytande massa. Vid denna deformation bildas t ex plastiska skjuvzoner med kraftig förskiffring och linjärstruktur.
- Plastisk skjuvzon.** Se plastisk deformation.
- Plattektonik.** Modell som beskriver jordskorpan uppdelning i plattor och hur plattorna rör sig.
- Porfyr.** Bergart som karaktäriseras av att enskilda större kristaller (strökorn) ligger spridda i en finkornig mellanmassa (matrix).
- ppm.** Parts per million. "en miljondel" Vanligt sätt att uttrycka låga halter. Jfr procent = "en hundraedel"
- Postglacial.** Efter istiden (post=efter)
- Prehnit.** Silikatmineral.
- Prekambrium.** Geologisk tidsålder, äldre än 545 miljoner år.
- Primorogen.** Se tidigorogen.
- Protoginzonen.** En ungefär nord-sydlig zon från Skåne till norra Värmland. Den östra begränsningen av den svekonorvegiska orogena
- Pyroxen.** Mineralgrupp med prismatisk kristallform.
- Radioaktivitet.** Spontant sönderfall av ett radioaktivt ämne, ofta via en sönderfallskedja, till ett stabilt ämne. Vid sönderfallet utsänds olika typer av strålning
- Radon.** En färg- och luktlös radioaktiv ädelgas som bildas genom sönderfall av radium.
- Randzon.** Område där isfronten tidvis har stått stilla eller ryckt fram.
- Refraktionsseismik.** Geofysisk metod som utnyttjar seismiska vågors brytning (refraktion) i kontakten mellan olika media som t ex jord-berg i marken.
- Resistivitet.** (Elektriskt) motstånd.
- Ryolit.** Sur vulkanit (ytbergart) med granitisk sammansättning.
- Rörelsebelopp.** Mått på storleken av t ex en förkastning.
- Sand.** Jordart med kornstorlek 0.2-2.0 mm.
- Satellitdata.** Mätningar, vanligen av elektromagnetisk strålning, gjorda från satelliter som cirklar runt jorden.
- Sediment.** Från luft, vatten eller is avlagrat fast material samt material som ackumulerats genom kemisk utfällning.
- Sedimentgnejs.** Gnejsomvandlad sedimentär bergart.

- Sedimentär bergart.** Till en bergart hopläkt sediment.
- Seismicitet.** 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.
- Skjuvzon.** Se plastisk deformation.
- Skolla.** Ett bergartspaket som skjutits fram över den underliggande berggrunden längs en flack yta.
- Sköl.** Zon med svagare berg än omgivningen.
- Slira.** Ett oregelbundet slingrande parti i en bergart.
- Smektit.** Ett lermineral. Viktig beståndsdel i bentonit.
- Susceptibilitet.** En bergarts förmåga att magnetiseras.
- Spektralmätning.** Strålningsmätning som till skillnad från totalmätning mäter strålningen fördelad på olika våglängder.
- Sprickzon.** Se spröd deformation.
- Spröd deformation.** Deformation vid vilken berggrunden reagerar genom uppsprickning. Vid denna deformation bildas enskilda sprickor och ansamlingar av sprickor till sk sprickzoner.
- Stadial.** Kallare period under en istid, när inlandsisen tillväxer.
- Stratigrafiska (undersökningar).** Undersökningar som syftar till att utreda bergarternas inbördes åldersförhållanden.
- Stromatoliter.** Skiktade kupolformade strukturer i kristallin kalksten troligtvis bildade av alger.
- Strukturella formlinjer.** Se formlinjer.
- Strykning.** Riktning av en planstruktur (t.ex. förskiffring, sprickzon, bergartskontakt).
- Stupning.** Vinkel som en planstruktur (t.ex. förskiffring, sprickzon, bergartskontakt) bildar med horisontalplanet.
- Subkambriska peneplanet.** Ett peneplan (jämn berggrundsytta) som hade bildats innan för 545 miljoner år sedan.
- Sur bergart.** Bergart med > 65 viktprocent SiO₂.
- Svallning.** Vågornas eroderande verkan på en strand.
- Svallsediment.** Genom svallning frigjort material som sedan avsatts.
- Syenit.** Intermediär djupbergart som domineras av kalifältspat och mörka mineral.
- Synform.** En trågformad sänka i jordskorpan. Motsats till antiform.
- Tektonik.** Den storskaliga uppbyggnaden av jordskorpan. Termen omfattar geologiska processer och strukturer relaterade till rörelser i berggrunden.
- Tidigorogen.** Beteckning på de äldsta djupbergarterna i en orogenes.
- Tonalit.** Se granitoid.
- Topografiskt lineament.** Rak eller svagt böjd långsträckt struktur i naturen.
- Tornquistzonen.** En zon av förkastningar i nordväst-sydost mellan Svarta Havet och Nordsjön. Zonen går genom Skåne och markerar där sydvästra randen av den Baltiska skölden.
- Torv.** Organisk jordart som bildas genom nedbrytning av döda växt- och djurdelar.
- Transgression.** När havet successivt tränger in över ett landområde. Motsats till regression.
- Tremolit.** Se amfibol.
- Tuff.** Bergart bestående av bl a vulkanisk aska.
- Tuffit.** Bergart bestående av vulkanisk aska blandad med sediment.
- Täljsten.** Mjuk bergart som består av klorit och talk (ett magnesiumsilikat)
- Ultrabasit.** Djupbergart med extremt låg (< 45 viktprocent) SiO₂.
- Units of radiation (ur).** 1 ur motsvarar strålningen från 1 ppm uran i en bergart.
- Ur.** Se units of radiation.
- Urbergssköld.** Se kraton.
- Urgranit.** Äldre benämning på tidigorogena sura djupbergarter.
- Veckaxelplan.** Det plan som sammanbinder veckaxlarna för varje lager i en veckad bergartsserie.
- Veckaxel.** Omböjningslinjen för ett veck.
- Veck.** Böjd planstruktur i berg.
- Vittring.** Sönderdelning och omvandling av berg och jord genom mekaniska och kemiska processer.
- Vulkanisk aska.** Finkornig produkt vid vulkanutbrott.
- Vulkanisk bergart.** Bergart bildad genom vulkaniska processer.
- Vulkanisk process.** Utströmning vid jordytan av magma, fragment, aska, gaser etc.
- Vulkanit.** Se vulkanisk bergart.
- Weichsel-Istiden.** Den senaste istiden i Sverige.
- Ytbergart.** Bergart bildad på eller nära jordens yta genom sedimentära eller vulkaniska processer.
- Zinkblände.** Ett gult, brunt eller svart diamantglänsande sulfidmineral (zinksulfid).
- Ådergnejs.** En form av migmatit med ådrig struktur.
- Överskjutning.** Den process vid vilken berggrundsskivor (skollor) skjuts upp över ursprungligen högre belägna lager.