

Översiktsstudie av Västmanlands län

Geologiska förutsättningar

Torbjörn Bergman, Jonas Gierup, Lutz Kübler,
Anders Lindén, Michael Stephens, Lars Kristian Stølen,
Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Juni 1999

Svensk Kärnbränslehantering AB

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



Översiktsstudie av Västmanlands län

Geologiska förutsättningar

Torbjörn Bergman, Jonas Gierup, Lutz Kübler,
Anders Lindén, Michael Stephens, Lars Kristian Stølen,
Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Juni 1999

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

| | |
|--|----|
| INNEHÅLLSFÖRTECKNING | i |
| 1 Inledning | 1 |
| 2 Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar | 1 |
| 3 Västmanlands län i ett regionalt geologiskt perspektiv | 5 |
| Berggrundsgeologi | 5 |
| Jordartsgeologi och jordskalv | 5 |
| Hydrogeologi | 9 |
| 4 Bergarter och berggrundens homogenitet | 9 |
| Ytbergarter | 9 |
| Djupbergarter | 14 |
| Gångbergarter | 15 |
| Berggrundens homogenitet | 15 |
| 5 Mineral- och bergartsresurser | 16 |
| Översikt över mineral- och bergartsresurser | 16 |
| Metalliska mineralresurser | 18 |
| Icke-metalliska mineralresurser | 18 |
| Nyttosten | 18 |
| Pågående prospektering | 19 |
| Potentiellt prospekteringsintressanta områden | 19 |
| 6 Deformationszoner | 19 |
| Definitioner och metodik | 19 |
| Plastiska skjuvzoner | 20 |
| Sprickzoner och förkastningar | 20 |
| Deformationszoner i tid och rum | 24 |
| 7 Jordarter, jorddjup samt sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan | 24 |
| Isavsmältning och postglacial utveckling | 25 |
| Jordarter och jorddjup | 25 |
| Sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv | 29 |
| 8 Hydrogeologi | 30 |
| Grundvattnets bildning och strömning | 30 |
| Grundvattentillgångar | 35 |
| Berggrundens genomsläpplighet | 35 |
| Grundvattnets kemi | 35 |
| 9 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar | 38 |
| Sammanfattande slutsatser | 38 |
| Områden lämpliga för vidare undersökning | 40 |
| 10 Referenser | 44 |
| 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 Västmanlands län, se Figur 1.

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

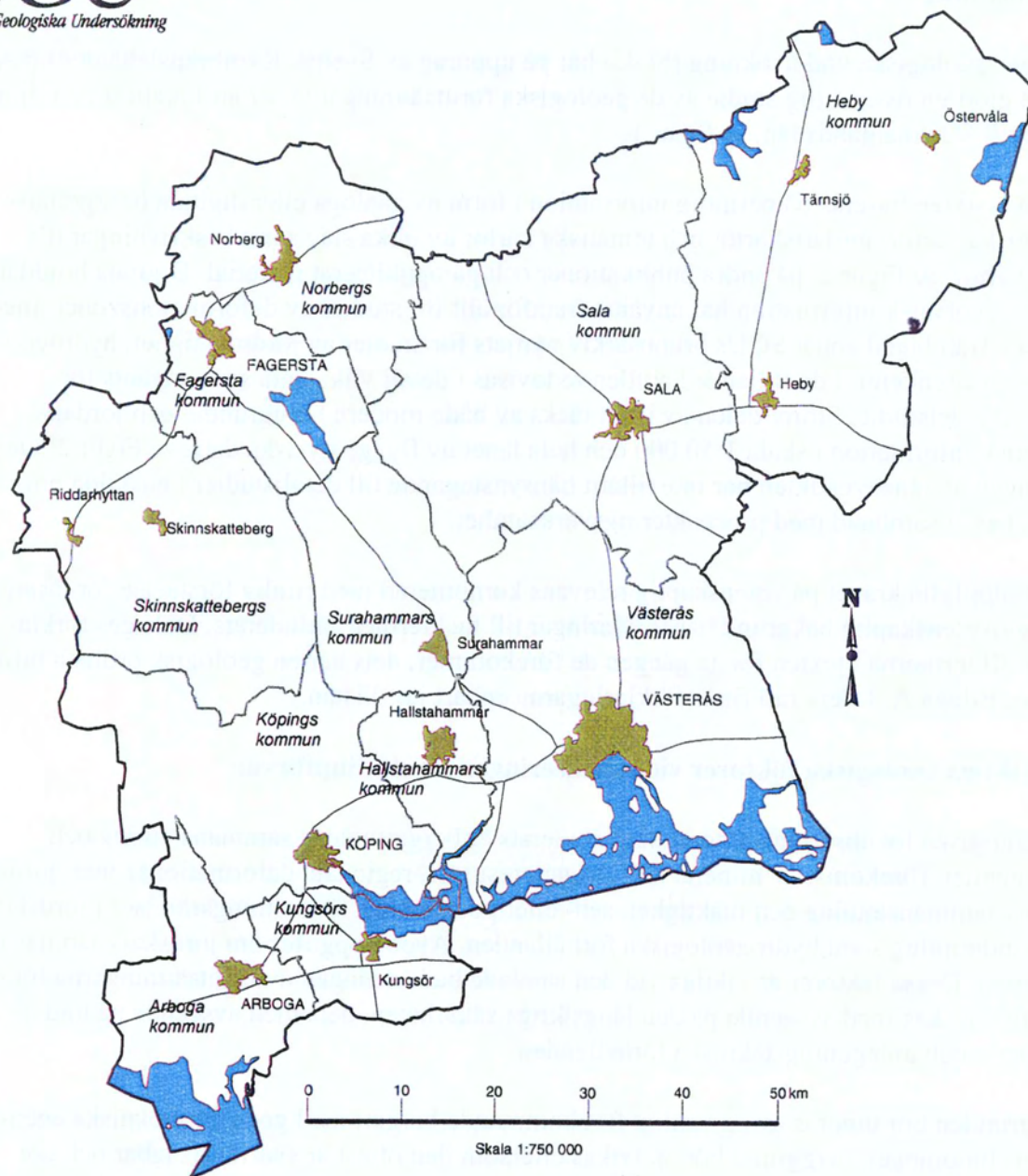
För att uppfylla kravet på vetenskaplig relevans kombinerad med rimlig förståelse för läsare utan geovetenskaplig bakgrund har förklaringar till facktermer inkluderats. Dels ges förklaringar till termerna i texten första gången de förekommer, dels har en geologisk ordlista bifogats, se Bilaga A. I flera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

2 Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar

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

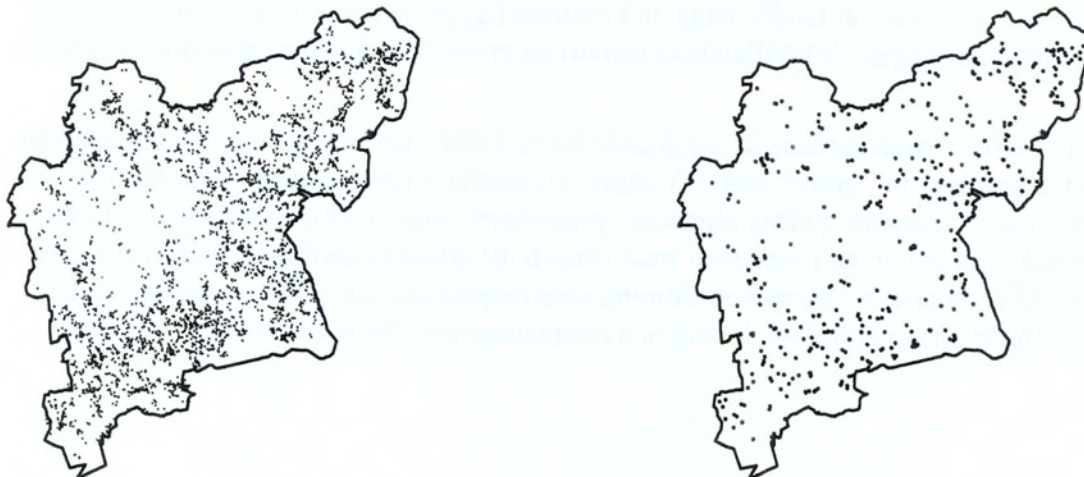
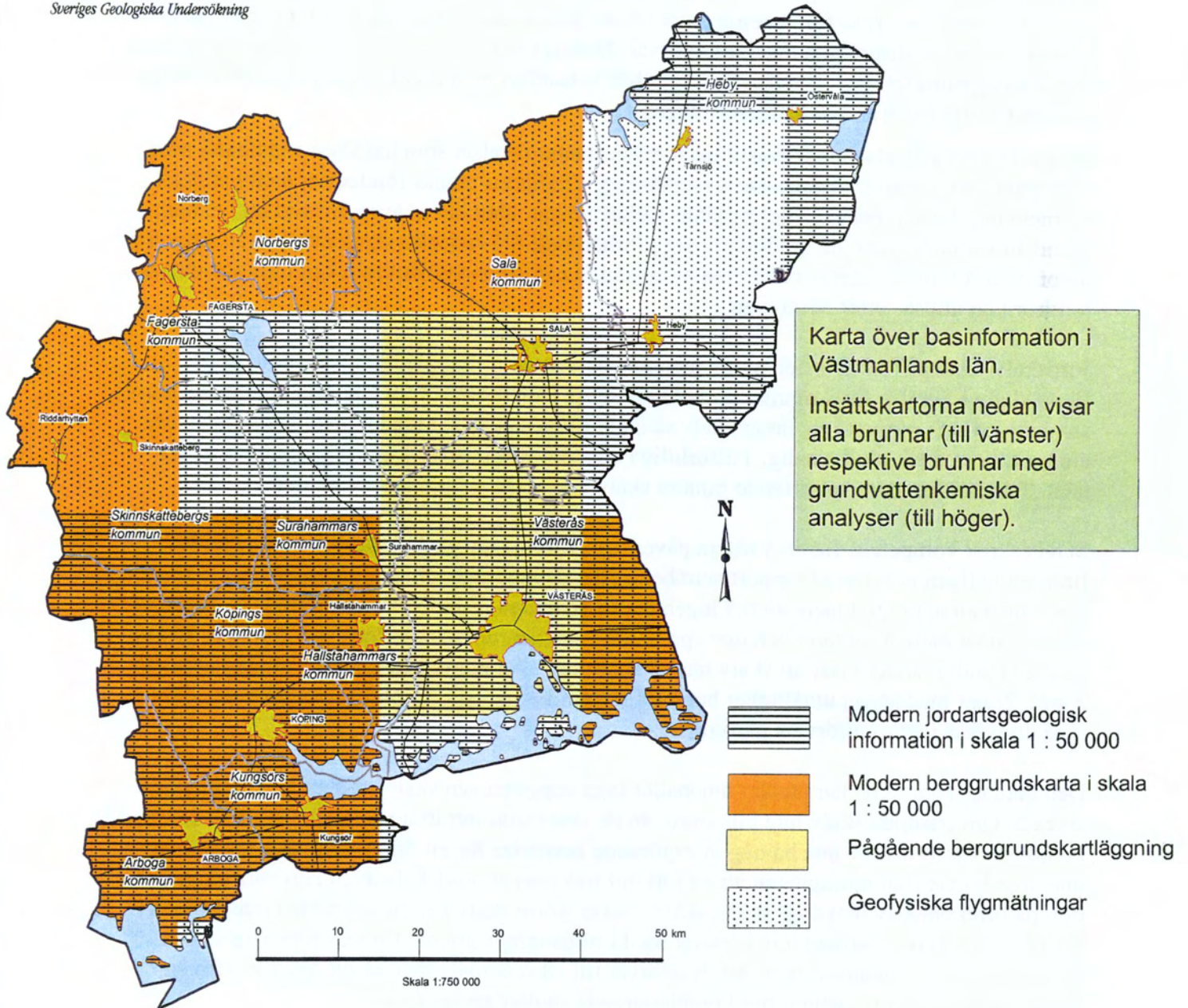
Berggrunden bör utgöras av en vanligt förekommande bergart med goda bergtekniska egenskaper. Inhomogen berggrund bör undvikas eftersom den oftast är svårförutsägbar och gör anläggningsarbetet mer komplicerat. Vidare bör bergarten inte vara eller förväntas bli aktuell som mineral- eller bergartsresurs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

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



- Tätort
- Sjö
- Stor allmän väg
- Kommungräns

Figur 1. Västmanlands län med kommuner, tätorter, sjöar och större allmänna vägar



Figur 2. Karta över basininformation i Västmanlands län (sammanställning oktober 1998)

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

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

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

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

Den databas som SGU har använt innehåller inga uppgifter om skalv med en magnitud större än ca 5. Om framtida skalv inte blir större än de skalv som inträffat i Sverige under historisk tid bör därför jordskalv inte ha någon avgörande betydelse för ett djupförvar. Samtidigt kan man inte bortse från möjligheten att en förhöjd frekvens av jordskalv även kan vara en indikation på förekomst av betydligt större skalv. Dessa större skalv kan ha skett med intervaller av många tusen år och därmed inte kommit med i tillgänglig statistik. En viss försiktighet bör därför iaktas vid 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 till ett område med så liten grundvattengenomsättning som möjligt och där tiden för grundvattnets strömning från förvar till recipient är lång och recipienten stor, helst ett hav.

3 Västmanlands län i ett regionalt geologiskt perspektiv

Berggrundsgeologi

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

Berggrunden i Västmanlands län tillhör den svekokarelska orogenen och utgörs av äldre granitoider och gabbrointrusioner, metavulkaniska och metasedimentära bergarter (ca 1900-1890 miljoner år) samt yngre, vanligtvis massformiga, graniter (ca 1850-1770 miljoner år). Prefixet ”meta” betyder att bergarten har genomgått omvandling (metamorfos). I länets sydligaste del, mot gränsen till Örebro län, finns också ett mindre område med fanerozoiska sedimentära bergarter (ca 545 miljoner år) bevarade i en större förkastningsbetingad urbergssänka.

Vidare ligger länet inom det område som räknas till Bergslagen i Mellansveriges malmprovins som, i ett historiskt perspektiv, är Sveriges viktigaste malmprovins. Inom länet finns hundratals nedlagda gruvor och skärpningar som vittnar om forna tiders gruvaktiviteter, men i dag är ingen gruva i drift. Under senare tid har dock intresset för malmprospektering ökat, vilket avspeglas i det stora antalet beviljade och ansökta undersökningstillstånd hos Bergsstaten.

Ett fåtal plastiska skjuvzoner med O-V-, NV- och NO-lig strykningsriktning genomkorsar särskilt den västra delen av länet. De utgör en del av ett regionalt nätverk av plastiska skjuvzoner i den svekokarelska orogenen i centrala Sverige. Yngre, spröda deformationszoner (sprickzoner och förkastningar) följer många av dessa zoner, s.k. reaktivering, men bildar huvudsakligen egna system.

Jordartsgeologi och jordskalv

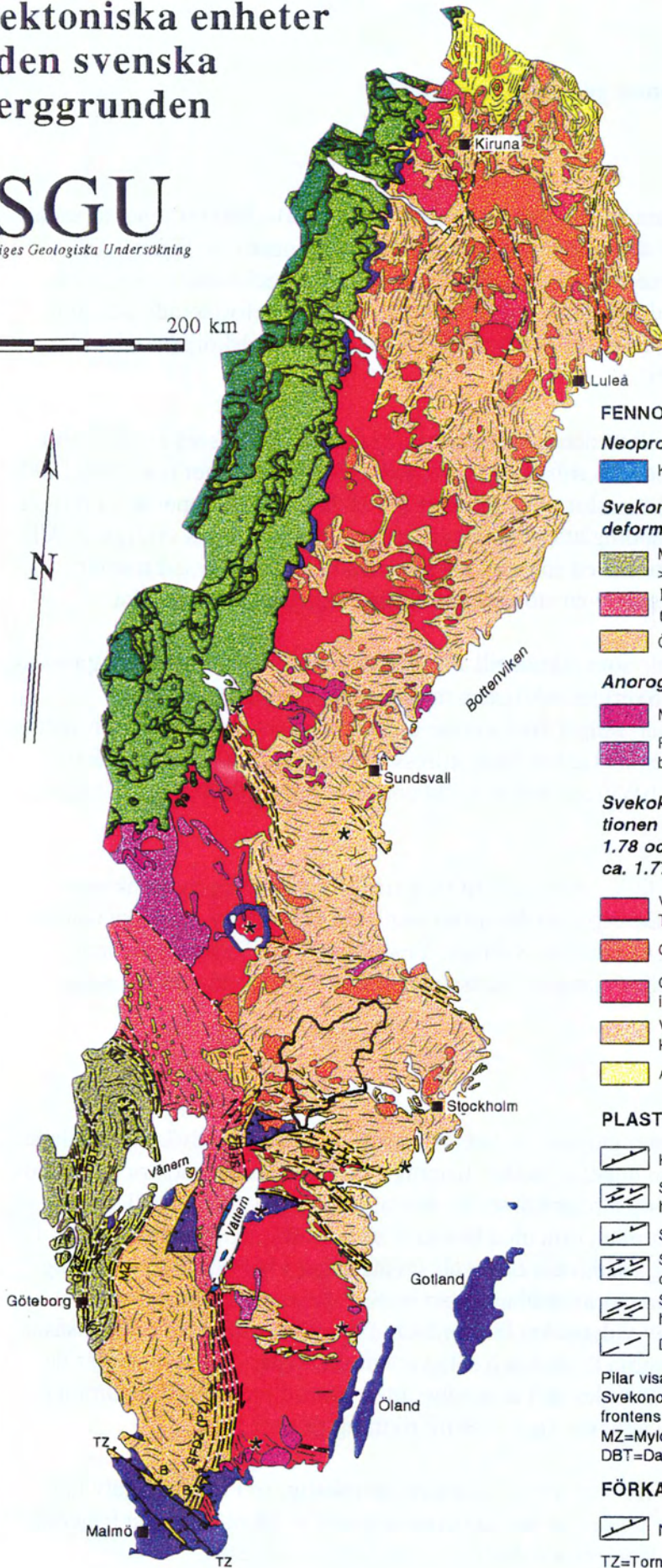
Västmanlands län tillhör två skilda regionala jordartsområden, nämligen nordvästra Svealands moränområde nordväst om en linje ungefär mellan Köping och Sala samt nordöstra Götalands och östra Svealands berg, morän och lerområde söder därom, se Figur 4 /3/. Inom det norra området dominerar kalt berg och morän, ofta med blockrik eller storblockig yta, samt torv. I dalgångarna förekommer finkorniga sediment och isälvsavlagringar i betydande omfattning. På några enstaka ställen har dubbla moränbäddar observerats. Jordartsområdet sydost om ovannämnda linje karaktäriseras av vidsträckta lerområden, flera klassiska stora rullstensåsar samt morän, se Figur 4. Torvmarkerna är små och sällsynta utom i öster och nordost där de har stor utbredning. Jordtäcket mäktighet är i allmänhet liten. Större jorddjup förekommer främst längs rullstensåsarna, vilka sträcker sig i N-S-lig riktning genom länet.

Länet ligger i en del av landet där frekvensen av jordskalv är måttlig, se Figur 5. Skalv har registrerats inom två områden. Ett utgörs av den nordvästra delen av länet öster om Fagersta och det andra av ett stråk genom den centrala delen mellan Arboga och Sala.

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=Eklolit, D=Diabas

FANEROZOISKA SEDIMENTÄRA OCH MAGMATISKA BERGARTER SAMT IMPAKTSTRUKTURER

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

FENNOSKANDISKA SKÖLDEN

Neoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter

- Klastiska sedimentära bergarter

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

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

Anorogena intrusioner och suprakrustala bergarter

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

Svekokarelska orogenen (senaste plastiska deforma- tionen 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 ökad

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

FÖRKASTNINGAR

- Normalförkastning
- TZ=Tornquistzonen

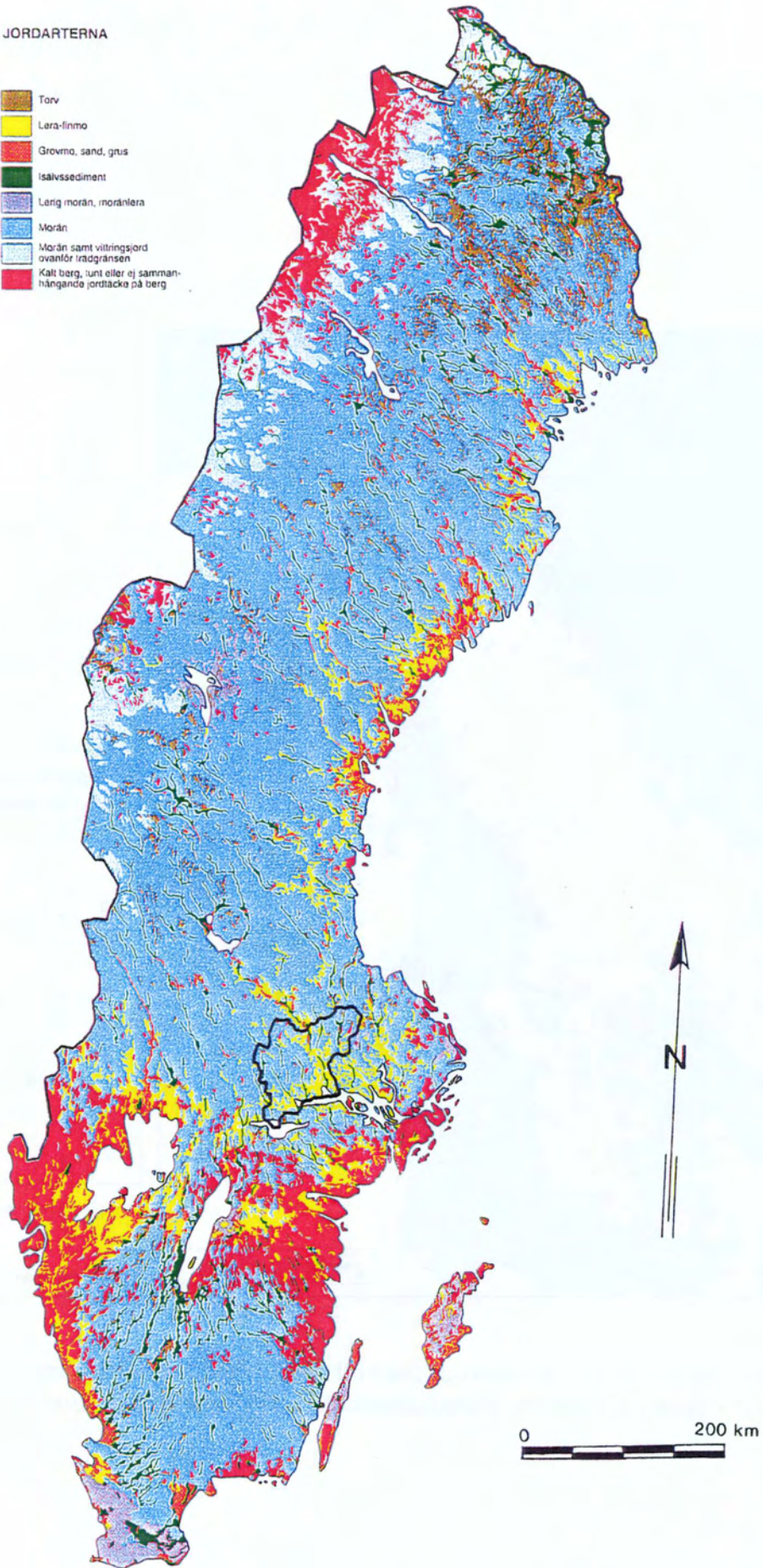
TMB*=Transskandinaviska magmatiska bältet
1 Ma=1 miljon år, 1 Ga=1000 miljoner år

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

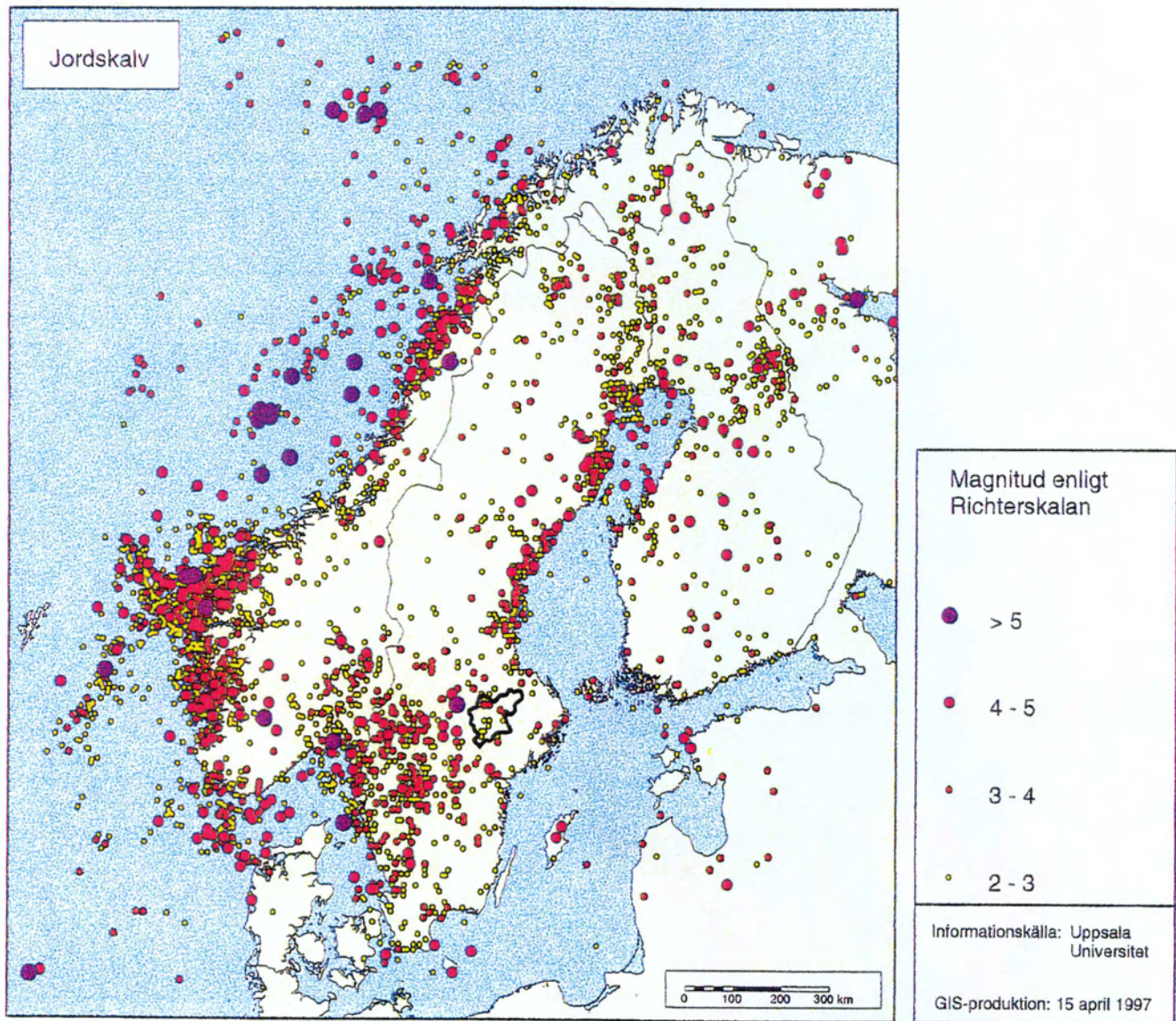
Figur 3. Huvudgeologiska enheter i den svenska berggrunden. Västmanlands län är markerat med en svart linje

JORDARTERNA

-  Torv
-  Lera-linno
-  Grovmo, sand, grus
-  Isalvsediment
-  Lurig moran, moranlera
-  Moran
-  Moran samt vittringsjord ovanfor radgransen
-  Kalt berg, lunt eller ej sammanhangande jordtacke pa berg



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



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

Hydrogeologi

Landets grundvattentillgångar i jord och berg framgår av Figur 6 /4/ och kloridhalten i berggrundsvatten för hela Sverige redovisas i Figur 7 /5/. Grundvattenförhållandena styrs av de hydrologiska, topografiska och geologiska förhållandena. Västmanlands län kännetecknas av en varierande topografi. De södra och östra delarna har en förhållandevis utslätad topografi med betydande inslag av mäktiga leror. De nordvästra delarna av länet är mer högt belägna och har en kuperad landskapsbild. Tunna jordlager eller kalt berg återfinns främst i dessa delar. Grundvattentillgångar för allmän vattenförsörjning återfinns främst i stora sand- och grusavlagringar. Grundvattnet i den kristallina berggrunden utgör en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

4 Bergarter och berggrundens homogenitet

Berggrunden inom Västmanlands län redovisas översiktligt på kartan i Figur 8. Kartan är en förminskad version av en berggrundskarta sammanställd för Bergslagens mineraljakt 1989 /6/. Den följande beskrivningen av länets bergarter grundar sig på denna karta samt information hämtad från SGUs moderna berggrundskartor i skala 1:50 000, vilka finns att tillgå för länets västra och norra delar samt för en liten del i öster, Figur 2 /7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17/. Fotografier på några av länets vanligaste bergarter visas i Figur 9.

Ytbergarter

Ytbergarterna inom Västmanlands län utgörs huvudsakligen av s.k. svekofenniska meta-vulkaniska och metasedimentära bergarter bildade för ca 1900 miljoner år sedan. De meta-vulkaniska bergarterna förekommer huvudsakligen i länets västra och nordöstra delar. De metasedimentära bergarterna följer i stor utsträckning de metavulkaniska bergarterna men förekommer också i större områden i länets sydöstra del. Sedimentära bergarter, av kambrisk ålder (ca 545 miljoner år), förekommer i länets sydligaste del vid sjön Hjälmarens.

Metavulkaniska bergarter, ca 1900 miljoner år

De metavulkaniska bergarterna i Västmanlands län (gul färg i Figur 8) utgörs huvudsakligen av sura metavulkaniska bergarter vilka är dominerade av mineralen kvarts och fältspat, se Figur 9a. Underordnat förekommer också mer basiska (kvartsfattiga) metavulkaniska bergarter vilka vanligtvis är utbildade som amfiboliter, d.v.s. omvandlade basiska bergarter dominerade av mineralen amfibol och plagioklas. De metavulkaniska bergarterna är vanligtvis finkorniga, lokalt förekommer dock även fint medelkorniga varianter. De uppvisar i allmänhet ett nära släktskap med de äldsta djupbergarterna och gradvisa övergångar till dessa förekommer i vissa områden /18/. Huvuddelen av de metavulkaniska bergarterna har primärt bildats som vulkaniska askor, men lavar, subvulkaniska intrusioner och gångar förekommer också. De metavulkaniska bergarterna är värdbergart för de flesta av länets malmförekomster och är i vissa fall starkt hydrotermalt omvandlade i samband med malmbildningen. Den senare metamorfa omvandlingen är övervägande hög (amfibolitfacies).

Grundvattentillgångar
i berggrunden, l/tim

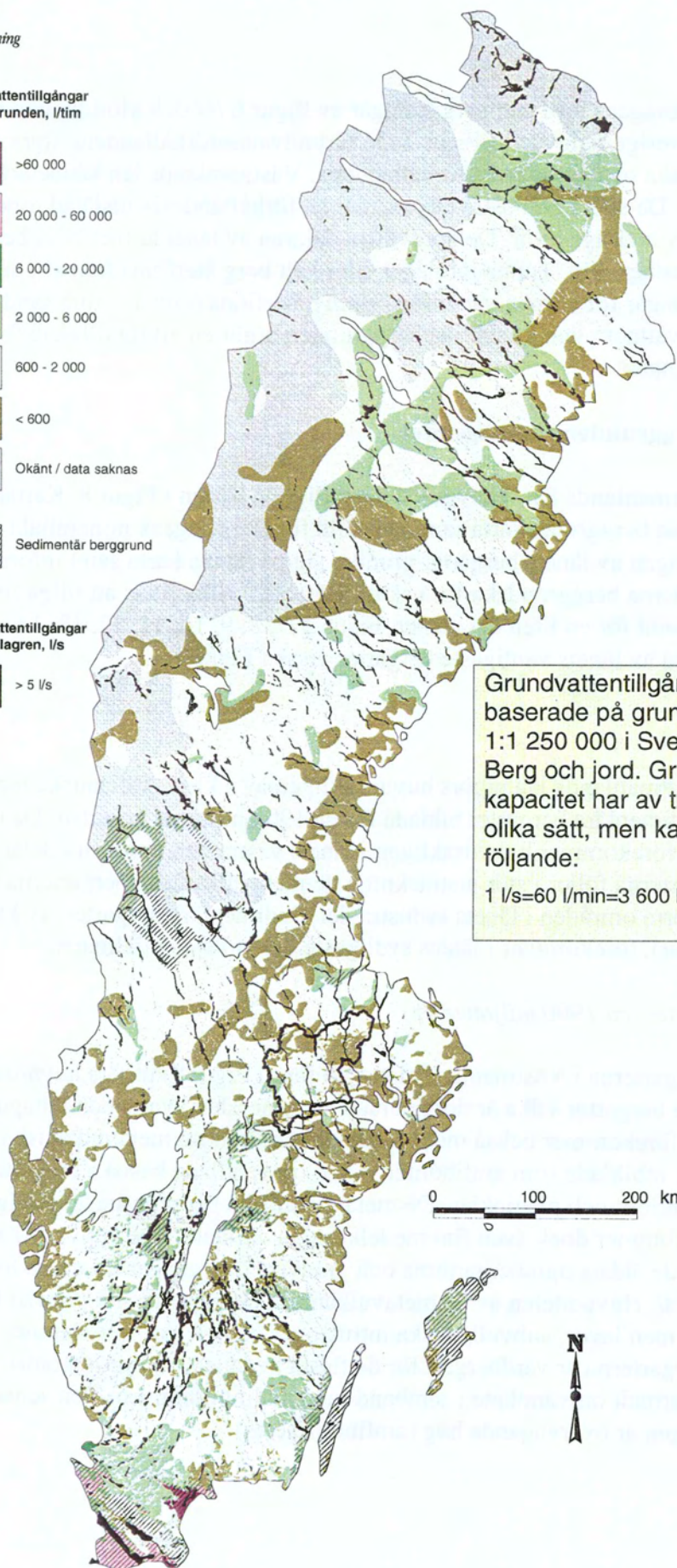


Grundvattentillgångar
i jordlagren, l/s



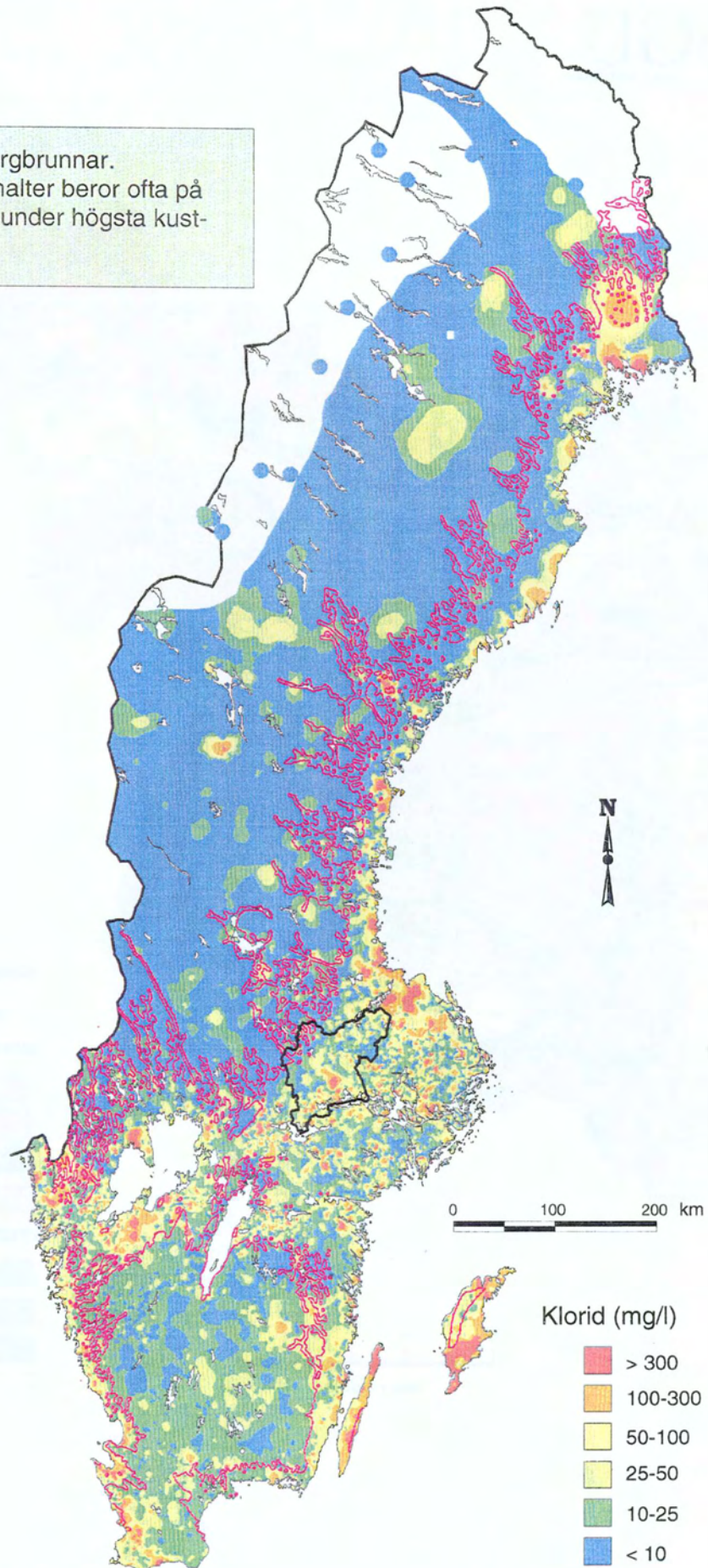
Grundvattentillgångar i jord och berg, baserade på grundvattenkartan i skala 1:1 250 000 i Sveriges Nationalatlas, Berg och jord. Grundvattentillgång och kapacitet har av tradition angivits på olika sätt, men kan lätt omräknas enligt följande:

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

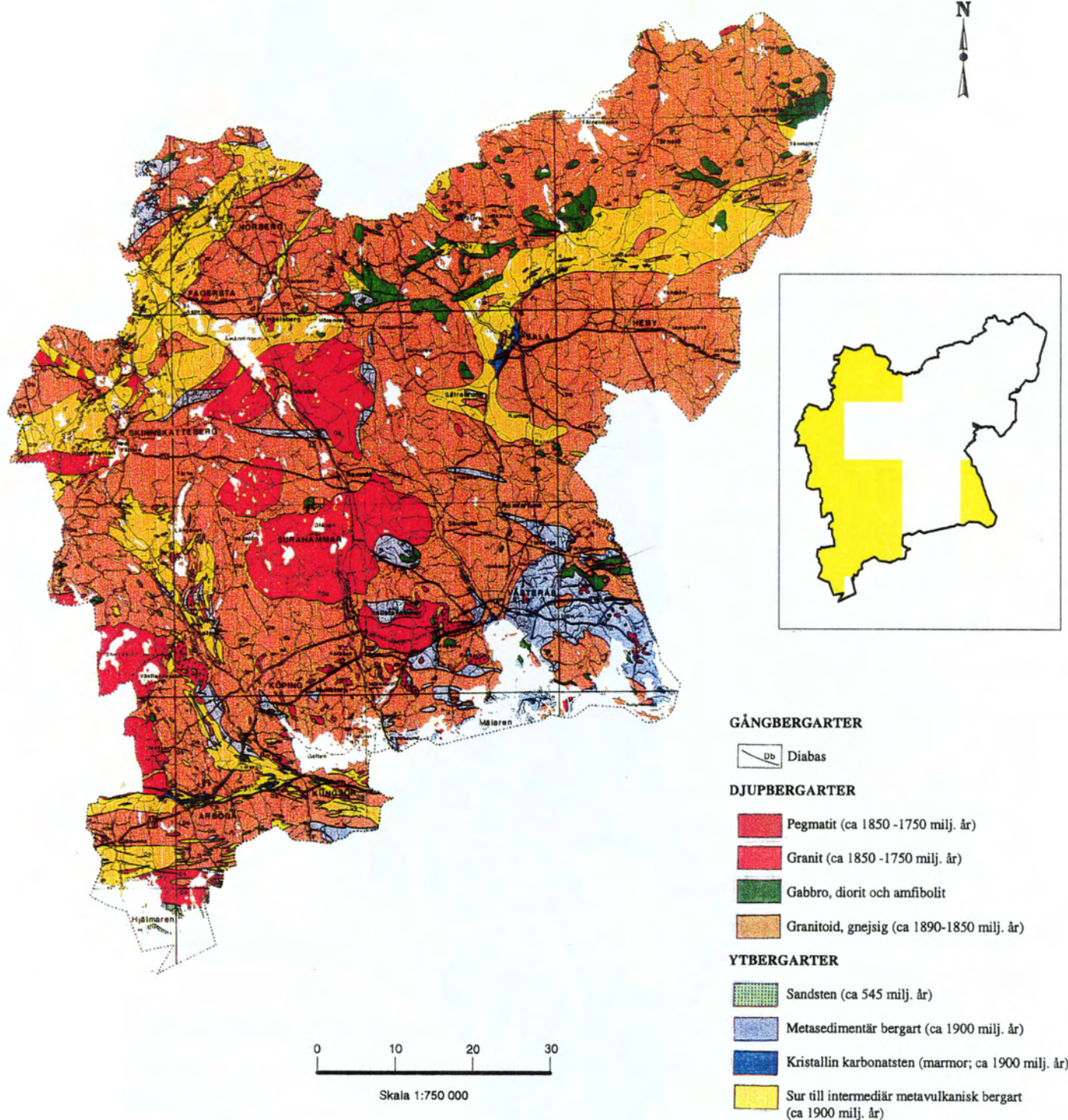


Figur 6. Grundvattentillgångar i jord och berg i Sverige. Västmanlands län är markerat med en svart linje

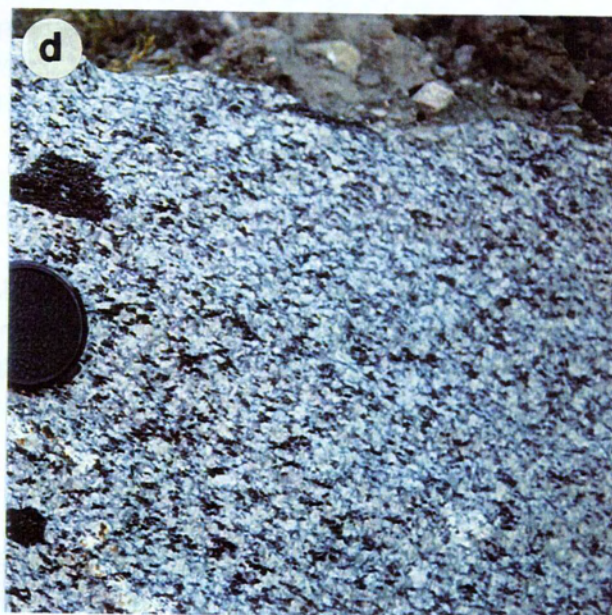
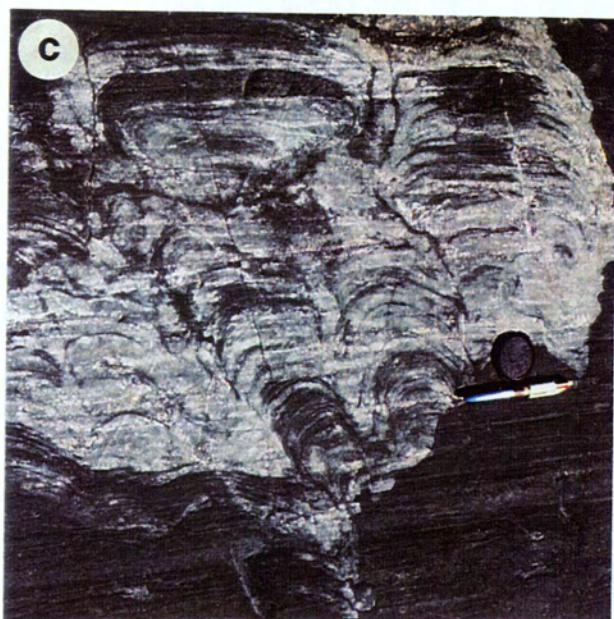
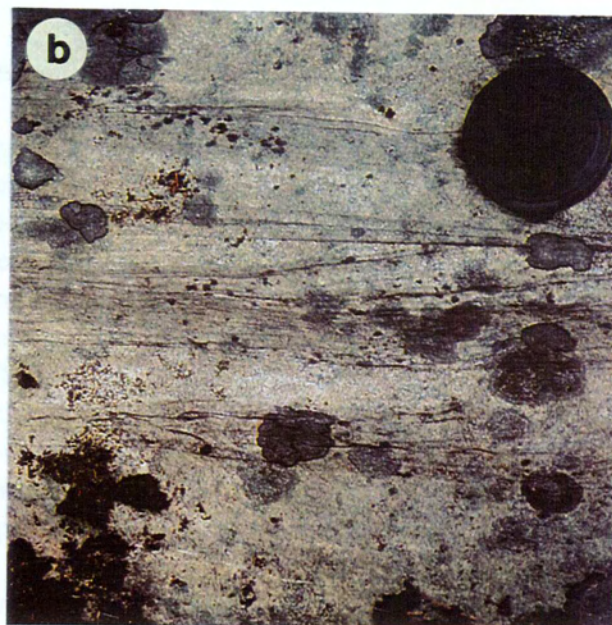
Kloridhalter i bergbrunnar.
Förhöjda kloridhalter beror ofta på
relikt saltvatten under högsta kust-
linjen.



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



Figur 8. Förenklad berggrundskarta över Västmanlands län. Kartan är en förminskad version av en karta sammanställd för Bergslagens mineraljakt 1989. Kartan baseras på modern berggrundskartering i de västra och sydöstra delarna (se gul färg i insättskarta), samt äldre berggrundskartering i övriga delar av länet



Figur 9. Bergarter i Västmanlands län.

a. Skiktad, sur metavulkanisk bergart, 2 km norr om Sala **b.** Strömskiktad metasandsten, Igeltjärnsformationen, 6 km nordväst om Norberg **c.** Stromatolitbildningar i kristallin kalksten, Sala. **d.** Svagt folierad granodiorit med mörka finkorniga basiska inneslutningar, 16 km nordväst om Sala **e.** Kontakt mellan grovkornig, massformig yngre granit, "Lisjögranit" (höger) och äldre förskiffrad granit (vänster), 5 km norr om Surahammar.



Metasedimentära bergarter, ca 1900 miljoner år

De metasedimentära bergarterna (ljusblå färg i Figur 8) förekommer i stor utsträckning tillsammans med de metavulkaniska bergarterna och utgörs vanligtvis av finkorniga, skiktade, glimmerrika bergarter. Lokalt förekommer också glimmerfattiga, kvartsdominerade metasedimentära bergarter, s.k. kvartsiter, t.ex. i ett område strax nordväst om Norberg. Kvartsiten är i detta område tydligt lagrad och lokalt förekommer även strömskiktning i bergarten, se Figur 9b. Till de metasedimentära bergarterna räknas också kristallin kalksten, s.k. marmor (mörkblå färg i Figur 8). Marmor är vanligt förekommande över hela länet tillsammans med de sura metavulkaniska bergarterna, som decimeter- till några meter tjocka inlagringar. Lokalt förekommer också mäktigare horisonter och mest betydande är marmorstråket vid Sala som lokalt är ca 300 m mäktigt, se Figur 8. I marmorn i Sala har välbevarade fossil hittats, s.k. stromatoliter, vilka bildats av urtida mikroorganismer, se Figur 9c.

I länets sydöstra del uppträder stora områden med glimmerrika metasedimentära ådergnejsjer, d.v.s. kraftigt omvandlade bergarter, där stora delar av bergarten under omvandlingsfasen (svekokarelska orogesen) blivit rekristalliserad och delvis uppsmält. Dessa nybildade smältor ses idag som pegmatit- och granitådror i bergarten. Omvandlingen har givit upphov till en mycket inhomogen bergart med stora variationer i utseende och sammansättning. Inom dessa områden är områden med yngre granit (1850-1770 miljoner år, se nedan) och pegmatit vanligt förekommande.

Fanerozoiska sedimentära bergarter, ca 545 miljoner år

Fanerozoiska sedimentära bergarter har mycket liten utbredning i Västmanlands län och täcker endast ett mindre område vid sjön Hjälmaran i länets sydligaste del. Bergarterna utgörs av kambrisk sandsten och lerskiffer (ljusgrön färg med svarta prickar i Figur 8). Naturliga blottningar saknas helt inom länet och bergarternas exakta utbredning är något osäker /8/.

Djupbergarter

Djupbergarterna inom länet kan åldersmässigt indelas i två huvudgrupper, en äldre (ca 1890 miljoner år) och en yngre (ca 1850-1770 miljoner år). Den äldre gruppen utgörs huvudsakligen av omvandlade, sura djupbergarter, s.k. "gnejsgraniter". Dessa täcker stora delar av länet, och domineras av granodiorit och tonalit. De yngre djupbergarterna består av graniter och pegmatiter bildade genom uppsmältning av äldre bergarter i samband med kulminationen av den svekokarelska orogesen. Dessa förekommer i ett flertal större områden i länets centrala och södra delar.

Djupbergarter, ca 1890 miljoner år

Stora delar av länet utgörs av äldre, sura djupbergarter (brun färg i Figur 8), vilka till största delen består av grå, medelkorniga, tämligen svagt förskiffrade och stängliga granodioriter och tonaliter, se Figur 9d. Underordnat förekommer röd granit, t.ex. i ett större område nordost om Sala, den s.k. Sala-Vängegraniten. Graniten har i detta område daterats till ca 1891 miljoner år /19/. Även porfyriska varianter av de äldre djupbergarterna förekommer, och då huvudsakligen i länets centrala del i anslutning till de yngre graniterna /11/. Mer basiska led, gabbro och diorit, finns på ett flertal platser (mörkt grön färg i Figur 8) och är till största delen associerade med granodiorit och tonalit i länets norra del.

Granit och pegmatit, ca 1850-1770 miljoner år

Till denna bergartsgrupp räknas både medel- till grovkorniga, porfyrisk graniter och finkorniga, homogena, massformiga graniter samt pegmatitiska, inhomogena typer. Bergarterna har sin största utbredning i länets centrala och södra delar (röd färg i Figur 8). De yngre graniterna har vanligtvis ett förhöjt uraninnehåll.

I länets södra del, i området omkring Köping, förekommer inhomogen yngre granit och pegmatit associerade med migmatitiserade, metasedimentära bergarter. En datering av migmatitisk granit från detta område indikerar en ålder på ca 1846 miljoner år /20/

Det större området kring Surahammar benämns i den geologiska litteraturen Lisjömassivet /21/ och utgörs huvudsakligen av homogen, grovkornig, grovporfyrisk granit med upp till 7 cm stora rektangulära kalifältspatkristaller, se Figur 9e. Lisjögraniten har daterats till ca 1770 miljoner år /21/. Likartad porfyrisk granit förekommer också i länets sydvästligaste del, s.k. Fellingsbrogranit.

Fin- till medelkornig yngre granit förekommer i ett mindre område väster om Västerås, s.k. Vändlegranit, efter den plats där graniten bryts för makadamtillverkning /22/. Granitmassivet övergår i de yttre delarna till grovkorniga pegmatitiska varianter. Det större massivet omkring Virsbo domineras av fin- medelkornig granit men gångar av pegmatit och inneslutningar av äldre djupbergarter förekommer tämligen rikligt.

Gångbergarter

Trots att gångbergarter, huvudsakligen diabas och pegmatit, är relativt vanligt förekommande i länet är det en arealmässigt underordnad bergartsgrupp. De kan regionalt sett betraktas som inhomogeniteter i berggrunden.

Diabasgångar kan, genom sina vanligtvis tydliga magnetiska signatur, identifieras på den magnetiska anomalikartan som magnetiska stråk, se Figur 11. Diabasgångar förekommer i större omfattning i ett NV-ligt stråk i den västra delen av länet. Gångarna är mycket uthålliga och går i flera fall att följa i mer än 30 km. Dessa NV-liga gångar utgör en del av ett stråk av gångar som med avbrott går att följa från Blekinge till Dalarna. Gångarna har daterats till ca 1000-900 miljoner år /23/. Diabasgångar med VNV-lig riktning förekommer också.

Berggrundens homogenitet

Berggrunden är sällan helt homogen över större områden och inhomogeniteter kan förekomma i form av t.ex. gångbergarter och inneslutningar. Generellt sett är djupbergarter mer homogena än ytbergarter.

Ytbergarterna inom Västmanlands län uppvisar stor variation i sammansättning och grad av omvandling. De metavulkaniska bergarterna är dessutom i stor utsträckning malmförande och är värdbergart för huvuddelen av länets malmer och mineraliseringar (se nedan).

Som framgår av basinformationskartan, se Figur 2, föreligger mer detaljerad berggrundsgeologisk information i skala 1:50 000 endast från länets västra och norra delar samt från ett

mindre område i länets sydöstra del. De äldre granitoiderna beskrivs inom dessa områden vanligen som relativt homogena med undantag för enstaka pegmatitiska inslag och inneslutningar av ytbergarter. Graden av omvandling (metamorfos) ökar generellt åt sydost vilket avspeglar sig i ökad frekvens av pegmatit och mer inhomogen berggrund. Avsaknaden av detaljerade berggrundskartor i länets centrala delar gör det svårt att bedöma berggrundens homogenitet i dessa områden. De yngre graniterna är i de flesta fall homogena över stora områden.

5 Mineral- och bergartsresurser

Mineral- och bergartsresurser omfattar metalliska mineral (malmer), icke-metalliska mineral (industriella mineral) och nyttosten (bergarter för byggnads- och prydnadsändamål samt industriella ändamål och bergarter för ballast, d.v.s. krossberg). Begreppet malm används i dagligt tal för metallfyndigheter i största allmänhet. Så används begreppet också i denna rapport. Definitionsmässigt är dock en malm 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 de metavulkaniska bergarterna även om fyndigheter också förekommer i djupbergarter och sedimentära bergarter. Industriella mineral och nyttosten kan uppträda i alla berggrundsmiljöer. Krossberg av god kvalitet kan erhållas från såväl djup- som ytbergarter.

Information om länets mineral- och bergartsresurser har huvudsakligen hämtats ifrån sammanställning över länets malmer /24/, äldre litteratur /25, 26/ och kartbladsbeskrivningar samt SGUs databaser. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergsstaten via SGUs mineralkontor i Malå.

Översikt över mineral- och bergartsresurser

Länets malmförekomster utgörs huvudsakligen av järnmalmer som är knutna till de metavulkaniska bergarterna. Underordnat förekommer också järnmalm i karbonatsten. Basmetallförekomster (zink, bly och koppar) är relativt ovanliga i länet och förekommande fyndigheter följer i stor utsträckning järnmalmerna. Vid sidan om basmetaller och järn har även molybden brutits i liten skala. De flesta av länets malmer uppträder inom två större malmstråk; dels i länets nordvästra del, dels i ett område i och omkring Sala, se Figur 8 och 10. Enstaka fyndigheter förekommer också i länets södra del, mellan Kungsör och Arboga.

Många av länets gruvor har en lång brytningshistoria som i vissa fall sträcker sig tillbaka till 1300-talet. Huvuddelen av gruvorna har dock brutits under 1700- och 1800-talet, ett flertal långt in på 1900-talet. Vissa delar av Riddarhytte malmfält bröts fram till 1979, vilket är den senaste brytning som bedrivits i länet.

Inom länet finns ett flertal industrimineralförekomster. För närvarande sker brytning av kvarts och fältspat i pegmatit (Kolsva). Vid sidan av detta finns också planer på produktion av wollastonit vid Banmossen i Heby kommun.

Bergtäktsverksamhet för produktion av nyttosten inklusive karbonatsten och krossberg har skett på ett flertal platser i länet. För närvarande är endast ett fåtal täkter i produktion.

Inom ett flertal områden är tillstånd beviljade för malmprospektering (s.k. undersöknings-tillstånd) och ytterligare en ansökning behandlas för närvarande av Bergsstaten, se Figur 10. Malm- och industrimineralförekomster är markerade med svarta prickar i Figur 10 och nyttostensförekomster med svarta trekanter.

Metalliska mineralresurser

Järnmalmsbrytning har förekommit på flera hundra platser inom länet, huvudsakligen i stråket Riddarhyttan-Fagersta-Norberg. Större delen av dessa malmer är skarnjärnmalmer och kvartsbandade järnmalmer i vilka malmmineralen magnetit och hematit uppträder tillsammans med magnesium- och kalciumrika silikatmineral (skarnmineral) respektive kvarts i de sura metavulkaniska bergarterna. Underordnat förekommer även järnmalmer knutna till karbonatsten.

Basmetaller har huvudsakligen brutits som biprodukt i många av järnmalmerna och rena basmetallförekomster är ovanliga. De basmetallförekomster som brutits i större omfattning förekommer huvudsakligen i karbonatbergarterna i Salatrakten och i stråket väster om Arboga.

Sala silvergruva är den mest kända gruvan i länet och har brutits under flera perioder sedan 1500-talet. De huvudsakliga malmmineralen utgörs av silverhaltig blyglans och zinkblände. Dessutom finns mindre mängder av svavelkis, magnetkis och kopparkis. Underordnat förekommer också bl.a. gediget silver, ovanliga silvermineral och gediget kvicksilver /27/. Sala silvergruva lades ned 1962. Nordost om Sala, i Heby kommun, ligger nickelförekomsten Ekedal /24/. Malmen består av nickelförande magnetkis och kopparkis i gabbro, se Figur 10.

Vid sidan om de mer klassiska järn- och basmetallmalmerna har även en mindre molybdenförekomst brutits i liten skala i Algruvan, mellan Västerås och Surahammar, se Figur 10. Malmen är knuten till en mindre kropp av yngre granit och bröts under andra världskriget /24/.

Icke-metalliska mineralresurser

Produktion av kvarts och fältspat har skett på ett flertal platser. För närvarande sker dock produktion endast vid Kolsva, nordväst om Köping. Wollastonit förekommer på ett flertal platser men har hittills inte varit föremål för brytning. Den största kända fyndigheten ligger vid Banmossen i Heby kommun, se Figur 10, och där har brytningskoncession beviljats /28, 29/. I Norbergområdet bröts grafit i liten skala från början av 1800-talet och fram till 1917 /24/. Ceritgruvan i Nya Bastnäsområdet, nordost om Riddarhyttan, bröts under några årtionden i mitten av 1800-talet för sitt innehåll av ceriumhaltiga mineral /24/.

Nyttosten

Nyttostensförekomsterna inom Västmanlands län utgörs av täkter i kristallin karbonatsten samt krossbergstäkter i granit och gnejs. Kristallin karbonatsten (marmor) har brutits på många platser sedan lång tid tillbaka. För närvarande sker dock produktion endast i Sala (Tistbrottet). Marmorn i Sala bryts huvudsakligen för industriell användning som "filler" i en mängd produkter t.ex. i färg. Krossbergstäkter förekommer på ett flertal platser över hela länet och under 1997 var sju mindre täkter i produktion i länet.

Pågående prospektering

Västmanlands län är för närvarande ett av de mest prospekteringsintressanta områdena i Mellansverige. Tillstånd för prospekteringsundersökningar har beviljats i ett ca 40-tal områden och ytterligare en ansökan för prospekteringsverksamhet föreligger inom ett område strax söder om Sala, se Figur 10. Större delen av dessa undersökningstillstånd avser prospektering efter basmetaller som t.ex. zink, bly och koppar, men även guld och silver.

Potentiellt prospekteringsintressanta områden

Framtida prospekteringsintressen kan förutses främst i områden med ytbergarter och i närheten av redan kända förekomster. Sådana områden är markerade med gul färg i Figur 10. Inom dessa områden förekommer ett stort antal malmfyndigheter och områden som redan idag är föremål för prospektering. De flesta av fyndigheterna har saknat ekonomisk betydelse under 1900-talet, men visar likväl att malmbildande processer varit aktiva inom dessa områden. Det är därmed möjligt att hittills icke kända fyndigheter kan finnas och att även andra metaller kan ha anrikats i berggrunden.

6 Deformationszoner

Definitioner och metodik

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

En *formlinje* representerar en strukturell trend i terrängen. Formlinjer för planstrukturer som bildades under varma, plastiska förhållanden, d.v.s. förskiffning och bandning, har sammanställts genom interpolation av fältmätningar av sådana strukturer. Dessa mätningar har hämtats dels från SGUs berggrundskartor i skala 1:50 000 /11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39 samt pågående arbete av M. Ripa/, dels från utförda sammanställningar av dessa mätningar i den södra delen av länet /40, 41 samt pågående arbete av M. B. Stephens och C.-H. Wahlgren/. I vissa områden har formlinjerna kompletterats med tolkning av bandade anomalimönster på den magnetiska anomalikartan, se Figur 11, s.k. *magnetiska konnektioner*. Flygmätningarna har utförts av SGU och täcker hela länet, se Figur 2.

Formlinjer och magnetiska konnektioner återspeglar berggrundens storskaliga strukturriktningar. Sammanställning av dessa linjer ger ofta en antydning om förekomsten av plastiska skjuvzoner och mellanliggande domäner. Domänerna mellan skjuvzonerna kan utgöras av områden med regionalt mer homogen deformation, egna strukturmönster eller områden med odeformerade bergarter. Plastiska skjuvzoner har markerats där planstrukturerna i långsmala stråk avviker i riktning från omgivande områden. Dessa zoner utmärks också av att planstrukturerna i den omgivande berggrunden ofta är inböjda mot skjuvzonerna. Förekomst av

starkt förskiffrade bergarter och myloniter är karakteristiskt för plastiska skjuvzoner. Vid identifiering och begränsning av plastiska skjuvzoner har information från tryckta berggrundskartor och beskrivningar, SGUs pågående arbeten och flygmagnetiska data, se Figur 11, använts.

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

På kartan i Figur 13 visas tolkade sprickzoner och plastiska skjuvzoner, formlinjer och magnetiska konnektioner. Vidare visas områden täckta av fanerozoiska sedimentära bergarter, diabaser och huvudsakligen massformiga djupbergarter yngre än ca 1850 miljoner år. Kartan över deformationszoner, se Figur 13, återspeglar zoner som huvudsakligen är tolkade i samband med denna studie. Dessa zoner behöver kontrolleras i fält innan deras existens och utbredning kan fastställas. Kartans innehåll bör därför tills vidare betraktas med försiktighet.

Plastiska skjuvzoner

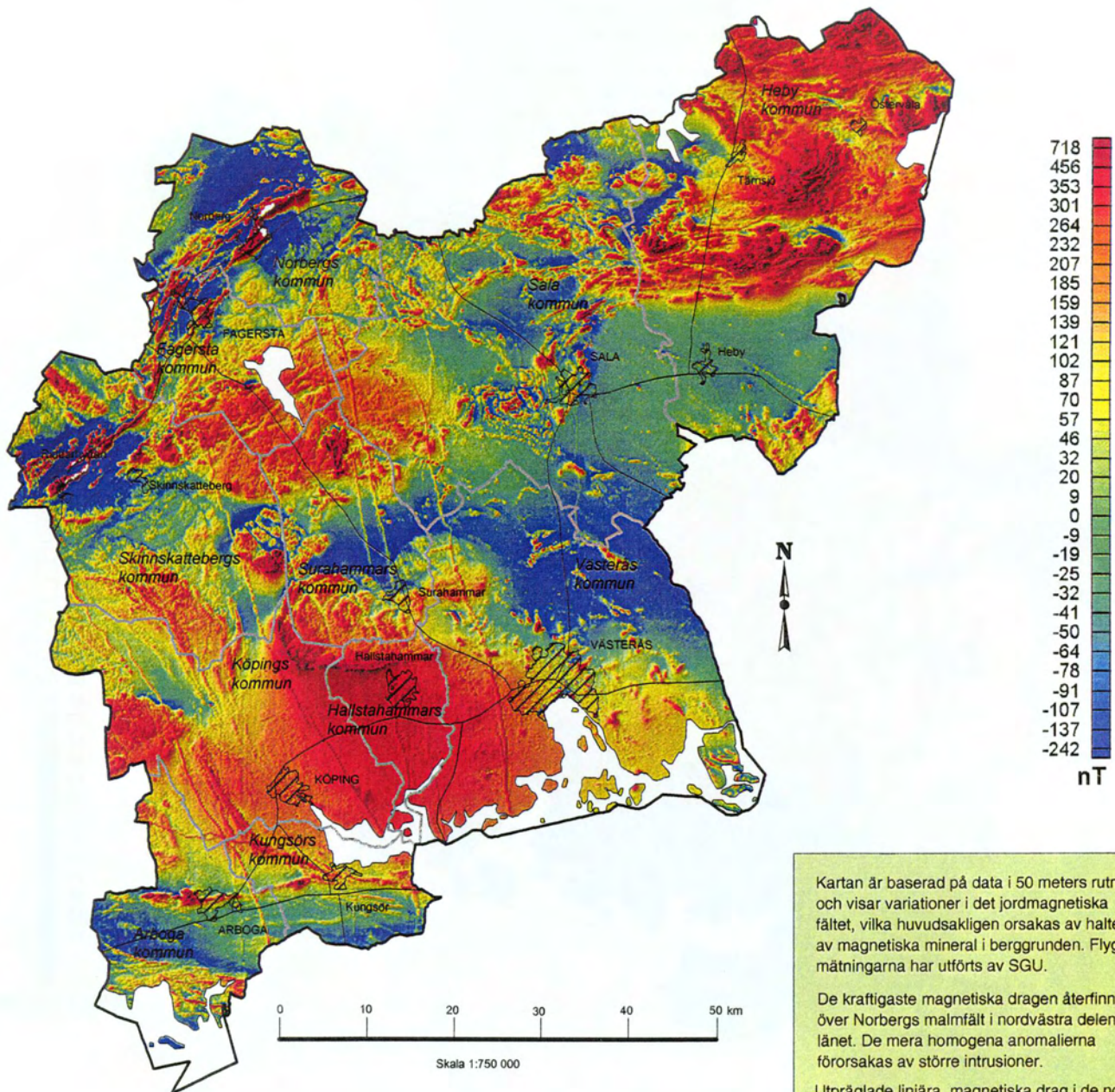
Brant stupande, plastiska skjuvzoner i O-V-, VNV- och NV-lig riktning, vilka är flera hundra meter upp till några kilometer breda, finns främst i den sydvästra delen av länet. Plastiska skjuvzoner i NO-lig riktning förekommer också, och nordost om Riddarhyttan i länets nordvästra hörn har en sådan zon markerats på kartan i Figur 13. Alla dessa zoner tillhör ett system av plastiska deformationszoner i den svekokarelska orogenen i den östra delen av centrala Sverige.

Fältarbete längs den s.k. Kolsvazonen /11/, vilken stryker i NV-lig riktning genom Köpings kommun, och i området omkring Riddarhyttan (pågående arbete av M. B. Stephens och C.-H. Wahlgren) har bekräftat förekomsten av dessa zoner. Emellertid råder betydande osäkerhet avseende utbredningen av de plastiska skjuvzoner som markerats i området omkring Arboga och Kungsör, och det är möjligt att där finns många fler zoner än vad som visas i Figur 13.

Berggrundens strukturriktningar utanför skjuvzonerna varierar starkt, t.ex. i områdena sydost om Norberg, väster om Sala och omkring Västerås, se Figur 13. Sådana kraftiga omsvängningar av den tektoniska foliationen är relaterad till storskalig veckning efter det att foliationen bildats. Områden som saknar formlinjer i Figur 13 sammanfaller med massformiga graniter, t.ex. nordnordväst om Arboga i den sydvästligaste delen av länet, mellan Hallstahammar och Fagersta i den centrala delen och i Sala-Hebyområdet. Den äldre (ca 1890 miljoner år), massformiga graniten i Sala-Hebyområdet framstår också som lågmagnetisk på den magnetiska anomalikartan, se Figur 11.

Sprickzoner och förkastningar

Spröda deformationszoner utgörs vanligen av krossat berg vilket gör dem lättroderade. De uppträder ofta 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 olika



Kartan är baserad på data i 50 meters rutnät och visar variationer i det jordmagnetiska fältet, vilka huvudsakligen orsakas av halten av magnetiska mineral i berggrunden. Flygmätningarna har utförts av SGU.

De kraftigaste magnetiska dragen återfinns över Norbergs malmfält i nordvästra delen av länet. De mera homogena anomalierna förorsakas av större intrusioner.

Utpräglade linjära, magnetiska drag i de nordvästra, västra och södra delarna av länet ramar in intrusionerna i Hallstahammars-Fagerstaområdet. Dessa linjära drag sammanfaller delvis med plastiska skjvzoner.

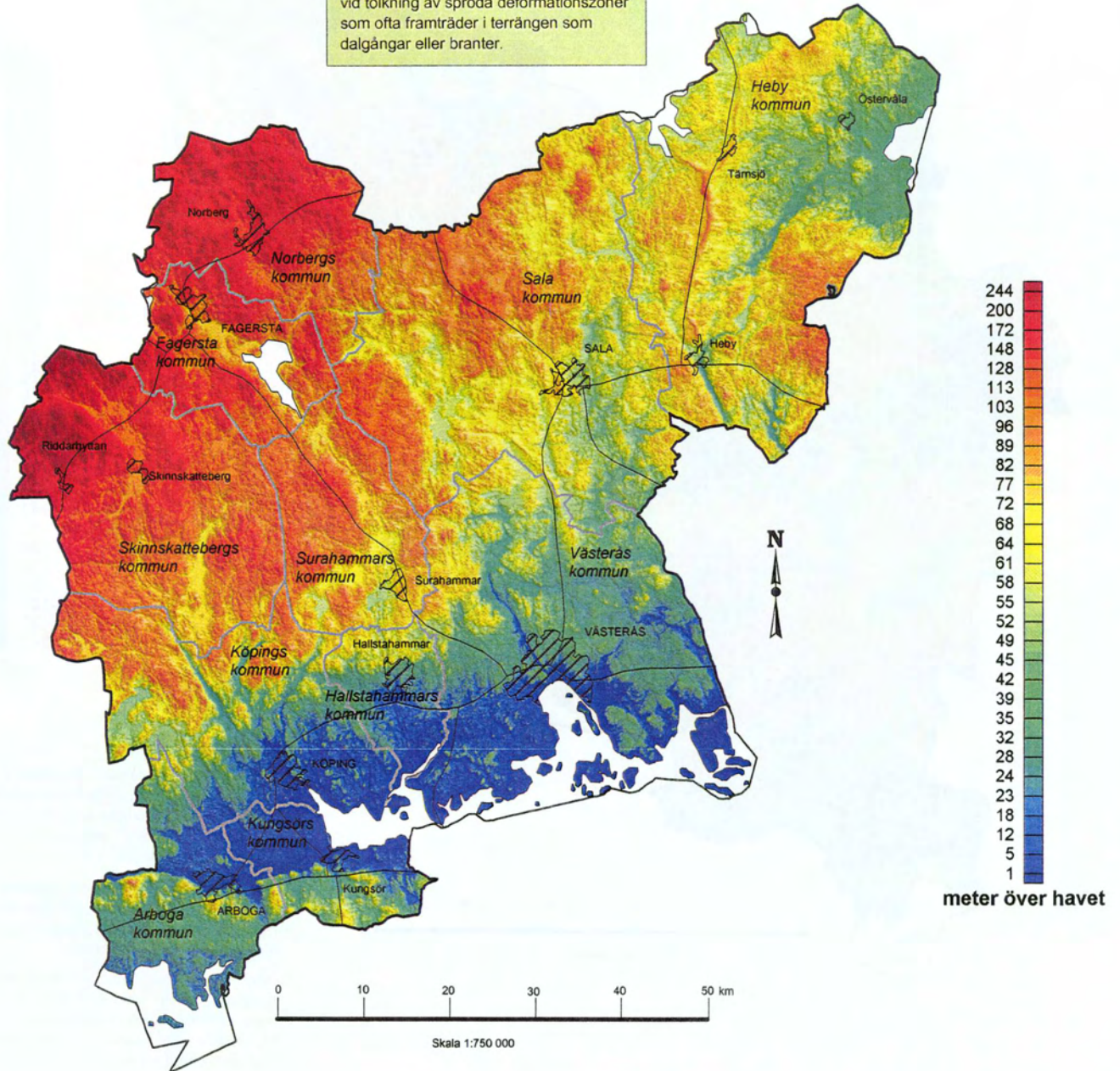
Ett speciellt drag i det magnetiska mönstret utgör det stora antalet diabasgångar, vilka sammanfaller med smala, positiva anomalier. Dessa diabaser bildar två gångsystem som stryker i NNV och VNV.

Det är karaktäristiskt att de NNV-ligt orienterade gångarna är mycket uthålliga och kan följas över hela länet, medan de VNV-ligt orienterade gångarna uppträder i svärmar av kortare intrusioner.

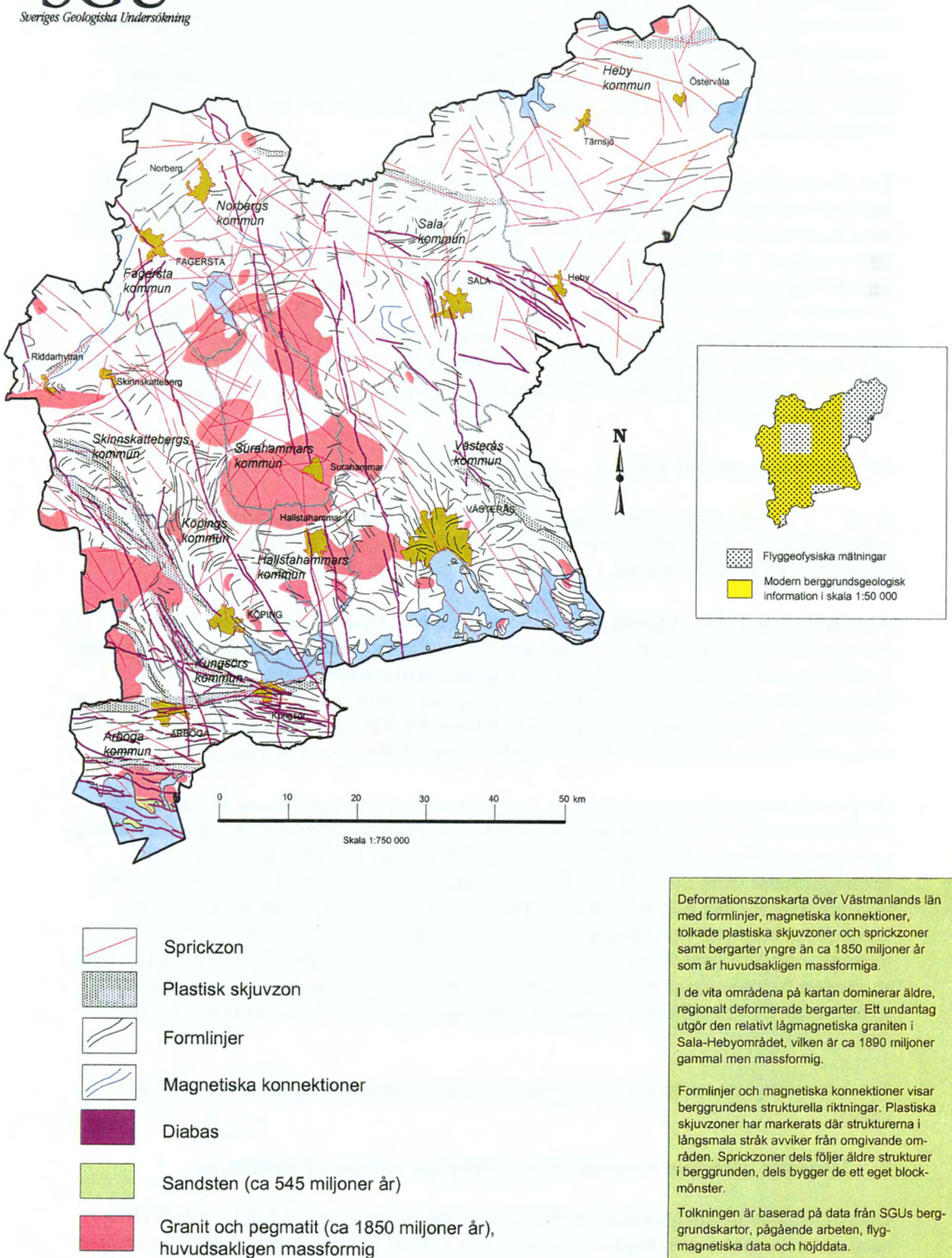
Figur 11. Magnetisk anomalikarta över Västmanlands län

Höjdreliëfkarta över Västmanlands län, baserad på digitala höjddata i 200 meters rutnät från Lantmäteriet.

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



Figur 12. Höjdreliëfkarta över Västmanlands län



Deformationszonskarta över Västmanlands län med formlinjer, magnetiska konnektioner, tolkade plastiska skjuvzoner och sprickzoner samt bergarter yngre än ca 1850 miljoner år som är huvudsakligen massformiga.

I de vita områdena på kartan dominerar äldre, regionalt deformerade bergarter. Ett undantag utgör den relativt lågmagnetiska graniten i Sala-Hebyområdet, vilken är ca 1890 miljoner gammal men massformig.

Formlinjer och magnetiska konnektioner visar berggrundens strukturella riktningar. Plastiska skjuvzoner har markerats där strukturerna i långsmala stråk avviker från omgivande områden. Sprickzoner dels följer äldre strukturer i berggrunden, dels bygger de ett eget blockmönster.

Tolkningen är baserad på data från SGUs berggrundskartor, pågående arbeten, flygmagnetiska data och höjddata.

Figur 13. Deformationszonskarta över Västmanlands län

mineral. Stupningen av sprickzonerna är i regel svår att avgöra, men antas i de flesta fall vara brant till vertikal. Flacka sprickzoner är generellt sett svåra att påvisa med hjälp av höjddata och magnetiska data. I håll kan dock små, flacka sprickzoner påträffas. Även inom de berggrundsblock som definieras av ett särskilt sprickzonsmönster förekommer sannolikt ännu mindre sprickzoner och sprickor, vilkas utbredning måste klarläggas om mer detaljerade studier blir aktuella.

Den största delen av länet ligger norr om ett stort upplyft berggrundsblock som har sin nordliga begränsning i området omkring Hjälmaran och Mälaren /42/. Sprickzonernas orientering inom länet varierar, men domineras av tre olika riktningar, nämligen NV, NO och VNV till ONO, se Figur 13. Tydligt topografiskt indikerade sprickzoner i NV-lig riktning löper t.ex. genom Köpings kommun längs äldre plastiska skjuvzoner och genom Heby i den östra delen av länet, se Figur 12 och 13. En topografiskt framträdande VNV- till O-V-lig sprickzon är följbar från området öster om Heby, genom området norr om Sala och vidare västerut till sydöstra delen av Norbergs kommun, se Figur 12 och 13. En starkt uppsprucken berggrund, vilken har markerats på SGUs berggrundskartor, har observerats längs några av de spröda deformationszonerna.

Deformationszoner i tid och rum

De äldsta deformationszonerna i Västmanlands län är de plastiska skjuvzoner i vilka deformationen kan begränsas till tidsintervallet ca 1850-1600 miljoner år. Förmodligen har de dock bildats för ca 1850-1750 miljoner år sedan och då på mer än 10-15 kilometers djup.

Som framgår av Figur 13 förekommer sprickzoner utmed några av de plastiska zonerna, vilket tyder på att dessa reaktiverats vid senare spänningsutlösningar när bergarterna legat högre upp i jordskorpan. Det är dock uppenbart att alla sprickzonsriktningar som beskrivits ovan förekommer även i områden utan plastiska skjuvzoner. Den exakta åldern av sprickzonerna är svårbestämd. De har bildats under den långa tidsrymden från ca 1600 miljoner år och framåt i tiden, och längs vissa förkastningar har rörelser förmodligen skett åtskilliga gånger.

En stor del av den nuvarande berggrundsytan i länet motsvarar i grova drag den plana erosionsyta som bildades i senprekambrisk tid (före 545 miljoner år sedan), det s.k. subkambriska peneplanet. Stora nivåskillnader i denna berggrundsytan över korta avstånd beror på förkastningsrörelser som skett efter denna tid. Tydliga brott i peneplanet finns längs några NV-liga sprickzoner i den sydvästra delen av länet, se Figur 12. Förekomster av fanerozoiska, sedimentära bergarter vid Hjälmaran i länets sydvästligaste hörn och väster därom (i Örebrotrakten), vilka är begränsade av ONO- till O-V- och NO-liga förkastningar, stöder tolkningen att rörelser har skett längs åtminstone vissa av förkastningarna i länet under fanerozoisk tid, senare än för ca 470 miljoner år sedan. I ett geologiskt perspektiv är sådana rörelser relativt unga.

Sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan, inklusive jordskalv behandlas i nästföljande kapitel.

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

Översikten över kvartärgeologiska förhållanden i länet grundar sig på SGUs jordartskartor samt olika specialarbeten. Moderna jordartskartor i SGUs serie Ae i skala 1:50 000 föreligger

över stora delar av länet /43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56/ och sådan kartläggning pågår för närvarande inom den nordöstra delen. Det är endast i de västra och norra delarna av länet som informationen är begränsad till äldre översiktliga jordartskartor utgivna kring 1860–1870 och 1930–1940 /31, 32, 33, 34, 35, 36, 57, 58/. I publikationer och rapporter redovisas också viktig information. För en allmän orientering om kvartär utveckling i landet och till en del även i regionalt perspektiv hänvisas till Fredén /59/.

Isavsmältning och postglacial utveckling

I stort sett hela länet låg under det forna Yoldiahavets yta vid tiden för inlandsisens avsmältning. Det var endast delar av Bergslagen längst i nordväst som i form av öar höjde sig över vattenytan. De högst belägna strandmärkena kallas högsta kustlinjen (HK) och nivån för denna är 185–190 m.ö.h. Inlandsisens avsmältning ägde rum för ca 10 500 år sedan /60/ och isräfflor visar att isen drog sig tillbaka i en nordlig riktning. Avsmältningshastigheten har angetts till ca 300 m/år för de norra delarna av länet /61/ och till ca 150–250 m/år för de södra delarna /46, 50/. Vid isälvarnas mynningar skedde avsmältningen snabbare genom att isen här i stor utsträckning sprack upp och kalvningsbukter utbildades i det uppemot 100 m djupa havet.

Inlandsisens mäktighet under huvudskedet har uppskattats till mellan 2000 och 2500 m /62/. Vid istidens slutskede började den av isen kraftigt nedtryckta jordskorpan att höja sig, vilket skedde som snabbast då isen lämnade trakten och därefter i en allt långsammare takt. I dag uppgår landhöjningen till ca 40 cm/100 år i södra och till ca 50 cm/100 år i de norra delarna av länet. Det totala landhöjningsbeloppet för dessa trakter har uppskattats till 400–500 m /63/.

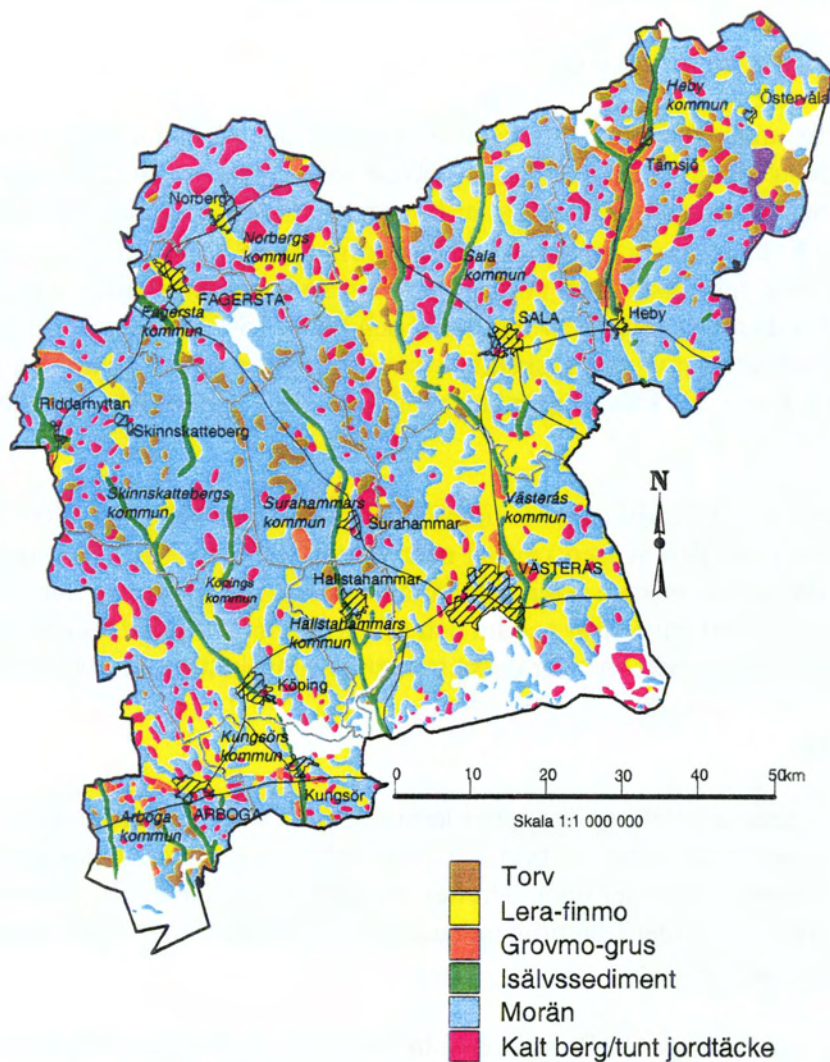
Jordarter och jorddjup

Bergblottningsgraden i länet är relativt hög utom i lerområdena i söder och öster där den är måttlig, se Figur 14. Jordarterna i länet har bildats i samband med den senaste landisens avsmältning, glaciala jordarter, och under tiden därefter, postglaciala jordarter. Vissa jordarter nybildas fortfarande. Äldre jordlager från tidigare nedisningsskeden är inte kända, men dubbla moräner har observerats, se Figur 15a.

Jordmäktigheten, se Figur 16, är generellt liten, mindre än 5 m, men lokala avvikelser förekommer. Större jorddjup (>10 m) återfinns främst längs rullstensåsarna, vilka ofta är stora.

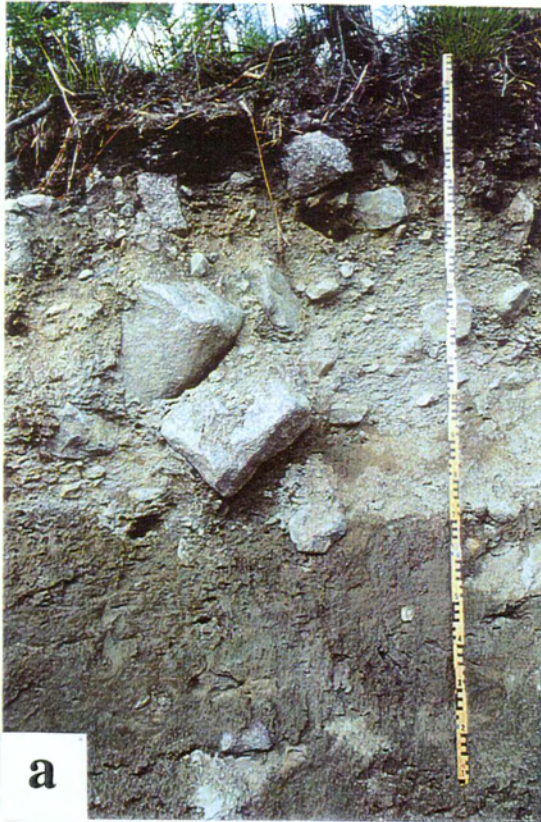
Glaciala jordarter

Morän består av det material landisen plockade upp, bearbetade och avlagrade. Denna osorterade jordart representeras i länet av flera olika moräntyper, exempelvis sandig, grusig och lerig-sandig. Den ligger också vanligen under lagren av yngre jordarter. Moränens ytblockighet är vanligen normal, men stora områden har blockrik eller storblockig yta, se Figur 15b. På några få platser förekommer blockfattiga moränitor. 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 i sjöar och hav ett stycke från iskanten som lera-finmo ofta i form av varviga sediment, t.ex. varvig glacial lera.



Jordarter inom Västmanlands län. Denna länsöversikt har en liten skala beroende på att den är baserad på den förenklade jordartskartan i skala 1:1 250 000 i Sveriges Nationalatlas "Berg och jord". Kartans skala har medfört en kraftig generalisering och för att kunna redovisas har storleken på vissa jordartsförekomster överdrivits - detta gäller t.ex. för isälvs sedimenten i rullstensåsarna.

Figur 14. Jordarter och hållmarker i Västmanlands län



a

Figur 15. Exempel på jordarter i Västmanlands län.

a. Lager av två olika moräner ca 30 km nordost om Heby (foto C. Fredén 1992).



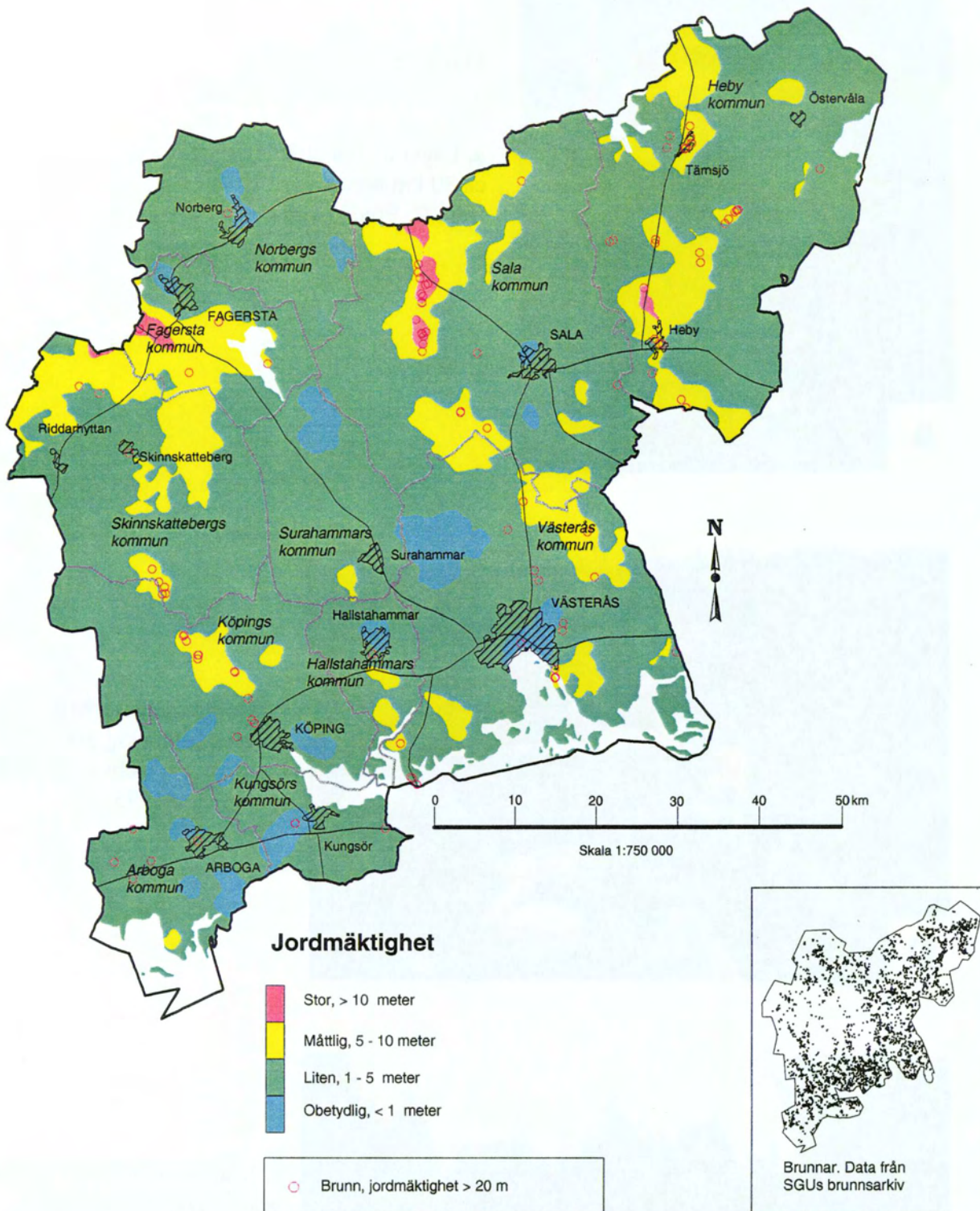
b

b. Morän med blockrik och delvis storblockig yta ca 23 km SSV om Heby (foto S.-I. Svantesson 1995).



c

c. Klapperstensfältet "Jättens grav" beläget strax under högsta kustlinjen ca 10 km SSV om Fagersta (foto E. Magnusson 1994).



Kartan visar jordmäktighet baserad på interpolation av data i SGUs brunnarsarkiv (ca 5500 brunnar). Uppe på höjder är mäktigheten oftast liten.

Figur 16. Jordmäktighet inom Västmanlands län (sammanställning oktober 1998)

Postglaciala jordarter

Efter isavsmältningen bildades svallsediment vid Yoldiahavets stränder genom vågors och strömmars omlagring av glaciala jordarter, varvid svallsand, svallgrus och klapper, se Figur 15c, avsattes. De finaste partiklarna avsattes i vikar och lugna bassänger i form av grå, postglacial lera-finmo och gyttjelera. Postglacial lera har stor utbredning i de centrala, södra och östra delarna i länet. Längs åar och andra vattendrag har älv- och svämsediment avsatts och avsätts än idag. Vindavlagrad sand (dyner) har observerats på några enstaka lokaler i norr, väster och sydväst. Organiska jordarter domineras av torv och torvmarkerna utgörs av både mossar och kärr.

Jordartsfördelning

Figur 14 visar mycket översiktligt jordarternas fördelning i länet /59/. Länet tillhör två skilda jordartsområden /64/. Området norr och nordväst om en linje mellan Köping och Sala ingår i nordvästra Svealands moränområde och domineras av urbergsmorän och torv. Moränen är ofta blockrik eller storblockig i ytan. Den utgör vanligen ett relativt tunt, utjämnande täcke på berggrunden, men på spridda ställen förekommer låga moränryggar utsträckta i isrörelseriktningen och någon gång områden med dödismorän. På något enstaka ställe i norr har dubbla moräner observerats. Isälvsavlagringar uppträder i dalstråken och utgörs huvudsakligen av långa, sammanhängande rullstensåsar. Ett stort isälvsdelta är beläget vid Riddarhyttan ca 10 km väster om Skinnskatteberg. Svallsediment förekommer på höjdområden i den centrala delen av länet och i smala strängar kring de moränhöjder i norr och nordväst som utgjorde öar i det forntida havet, således vid nivåer under HK. Svallsediment är vanliga även längs sidorna av några av isälvsavlagringarna. I dalgångarna intar finkorniga sediment, lera-finmo, ibland lite större arealer. Torvmarker förekommer främst i länets västra och centrala delar av detta jordartsområde. Hällmarker har också stor utbredning.

Området söder och sydost om linjen mellan Köping och Sala tillhör nordöstra Götalands och östra Svealands berg-, morän- och lerområde och är i huvudsak ett vidsträckt slättområde. Varvig glacial lera, ofta rödbrun, och finkorniga postglaciala sediment överväger starkt och kan i stora dalgångar och lågområden ha en mäktighet på uppemot 20 m. Moränen är av urbergstyp och har i allmänhet liten mäktighet. Karakteristiskt för stora områden från Köping och österut är en sällsynt riklig förekomst av låga moränryggar utsträckta vinkelrätt mot isrörelseriktningen, s.k. De Geermoräner. På några platser har morän med en kullig ytform observerats. Något mer vanligt förekommande är låga, små moränryggar i isrörelseriktningen. Isälvsedimenten uppträder i form av klassiska, stora rullstensåsar, vilka genomkorsar landskapet i N-S-lig riktning. I anslutning till åsarna, främst i söder, förekommer svallsediment. Torvmarkerna är små och sällsynta utom i öster och nordost där de har stor utbredning.

Sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan inkluderande jordskalv

Observationer av sen- eller postglaciala rörelser i jordskorpan i form av förkastningar, sprickbildningar och seismisk aktivitet har rapporterats från norra Sverige /65, 66/. Det finns forskare som anser att sådana rörelser även ha förekommit i andra delar av Sverige och då huvudsakligen som en följd av landhöjningen /67, 68, 69/. En sammanfattande analys av det nuvarande kunskapsläget beträffande jordskorperörelser och seismisk aktivitet i landet har presenterats av Muir Wood /70/.

I länets norra del är det enligt Fromm /61/ relativt vanligt med kraftiga störningar i den varviga glaciala leran i form av veckningar, glidningar och helt utplånade varv. Störningarna kan i något fall vara orsakade av jordskalv vid tiden för landisens avsmältning. Lokalt i isälvsavlagringar uppträder små förkastningar, veckningar, förskjutningar m.m. Dessa strukturer och lagringsförhållanden har förmodligen orsakats antingen av växlande rörelser i landisens frontzon vid avsmältningen eller av infrusna, kvarlämnade ispartier, vilka medfört tryckförändringar m.m.

I Sverige finns några områden där frekvensen av registrerade jordskalv är högre än i övriga delar av landet, se Figur 5. Detta gäller dels inom ett stråk utmed Norrlandskusten, dels i Sydvästsverige. Västmanlands län är beläget däremellan, och uppvisar endast en måttlig frekvens av registrerade skalv. Totalt 20 skalv är kända, se Figur 17. Dessa har inträffat inom två områden i länet. Ett öster om Fagersta i nordväst, vilket ingår i ett större område som innefattar sydöstra delen av Dalarna. Det andra området utgörs av ett stråk med viss koncentration av skalv mellan Arboga och Sala. Skalven har vanligen haft en magnitud på mellan 2 och 3 (14 skalv). Jordskalv med magnitud 3 eller mer har förekommit på fyra platser, tre under 1900-talet. Det kraftigaste med magnitud 3,9 inträffade år 1905 ca 10 km sydost om Norberg. Senaste skalvet ägde rum år 1990 ca 13 km sydsydväst om Heby och det hade en magnitud på 3,7.

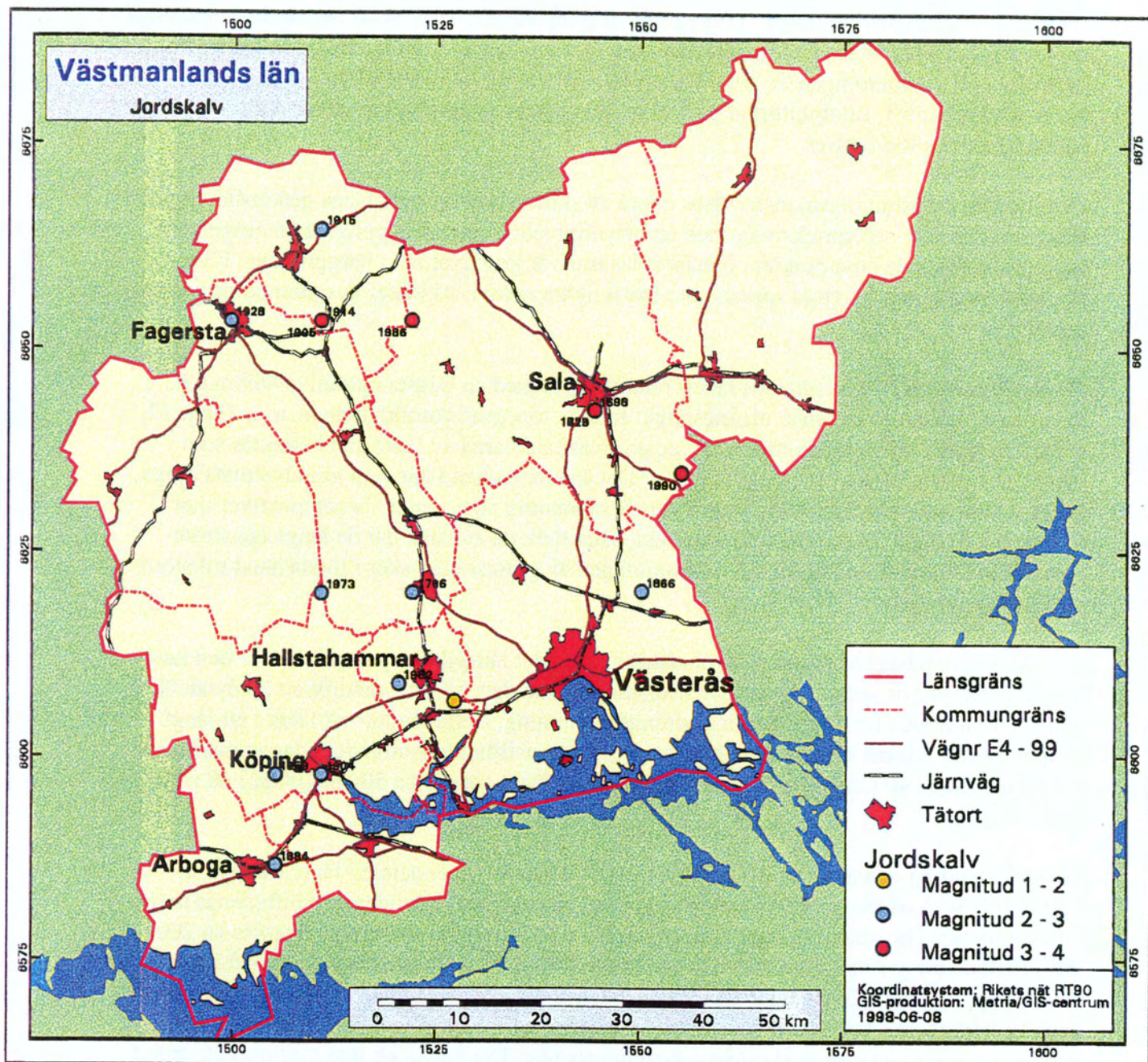
8 Hydrogeologi

I grundvattenkartan med beskrivning över Västmanlands län /71/ redovisas bl.a. grundvattentillgångar, grundvattnets kvalitet, hydrologi och vattenförsörjning. I föreliggande sammanställning av de hydrogeologiska förhållandena i länet har detta material kompletterats med analyser av Lantmäteriets höjddata, SMHIs avrinningsdata och data från SGUs brunnsarkiv. Syftet har varit att beskriva grundvattnets strömningsmönster och berggrundens hydrauliska konduktivitet (genomsläpplighet). För att beskriva grundvattnets kemiska status i Västmanlands län jämfört med övriga landet har även grundvattenkemiska data från SGUs brunnsarkiv bearbetats

Grundvattnets bildning och strömning

Grundvattnet ingår i det hydrologiska kretsloppet /4, 72/. Av den nederbörd som faller i länet avdunstar ungefär två tredjedelar /71/. 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 brukar benämnas 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 Västmanlands län framgår av Figur 18. Den har beräknats utifrån en vidareutveckling av den



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

metod som använts för beräkning av avrinning /73/. Endast en mindre del av det vatten som infiltreras i marken tillförs berggrunden. Detta beror på berggrundens, i jämförelse med jordlagrens, mycket låga genomsläpplighet och obetydliga magasinande förmåga.

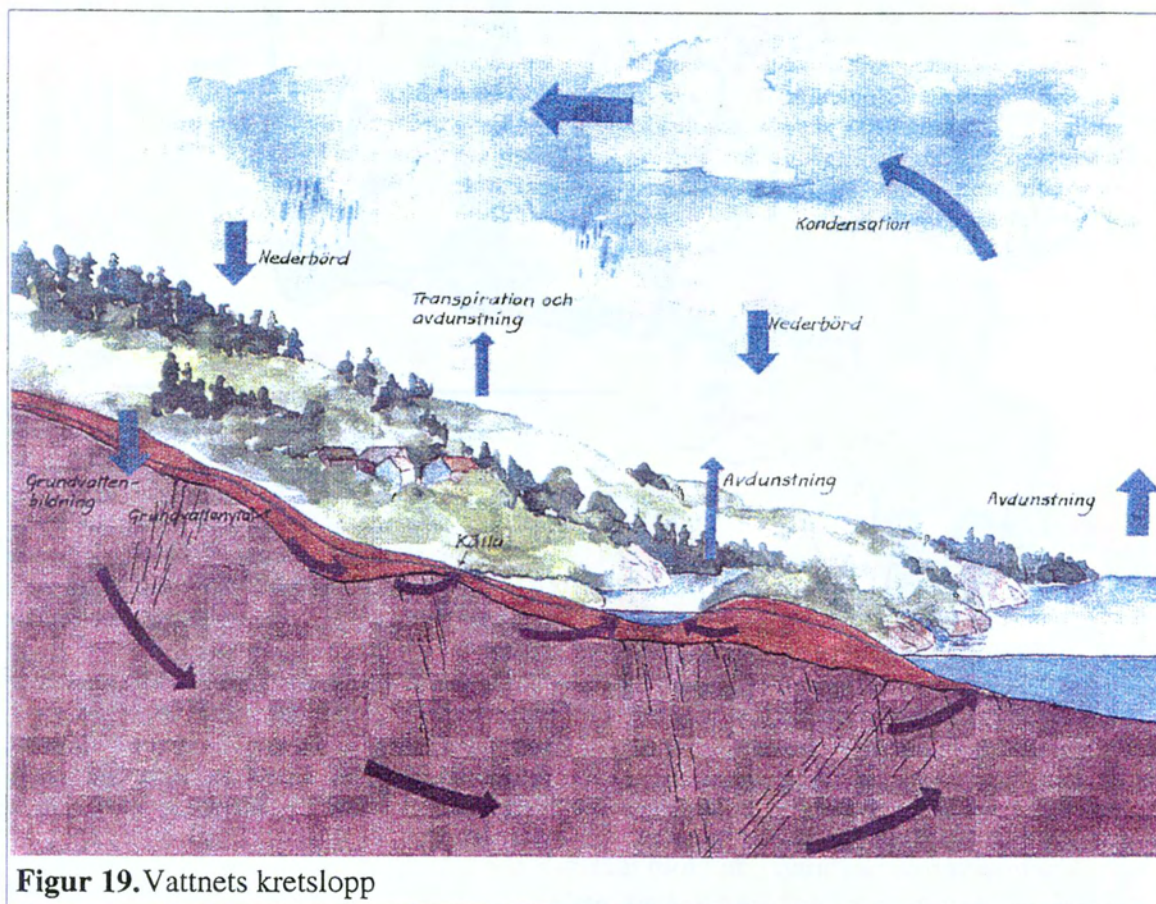
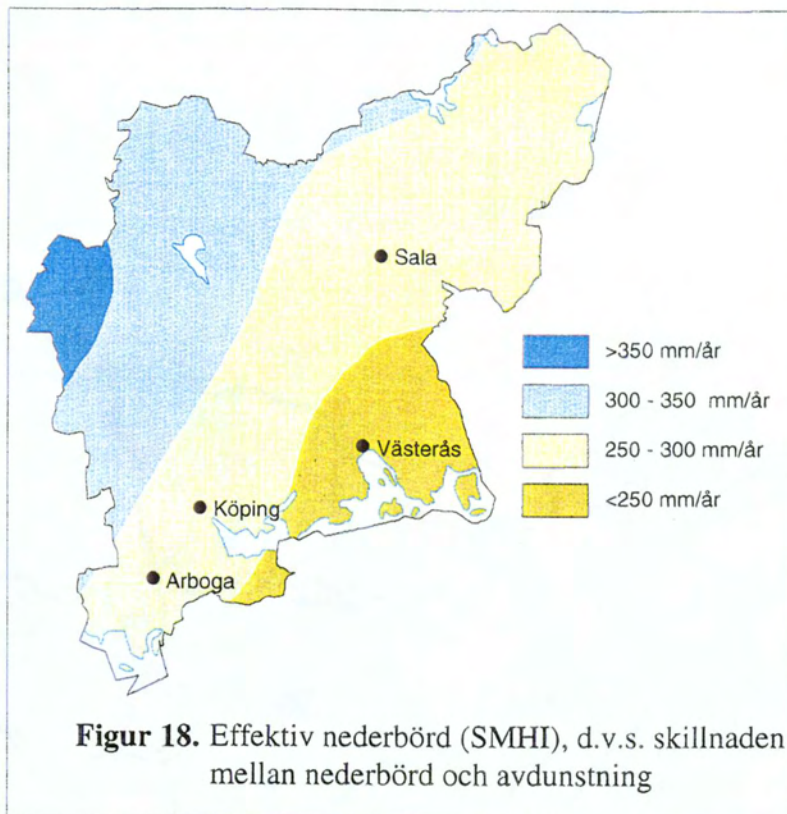
Den ytliga grundvattenströmningen i jordlagren och berggrundens övre delar styrs främst av de lokala topografiska förhållandena, se Figur 19 /72/. Uppehållstiden för grundvattnet är kort, innan utströmning sker till lågpunkter i terrängen som våtmarker, källor och recipienter. Den djupare grundvattenströmningen i berggrunden styrs däremot mer av de regionala, storskaliga topografiska förhållandena. Regionalt sett sker huvuddelen av grundvattenbildningen i höjdområden och utströmningen av grundvatten till större sjöar och vattendrag i lågområden, alternativt till havet. Ett djupförvar på 500 m djup berörs i huvudsak av dessa regionala, långsamma grundvattenrörelser.

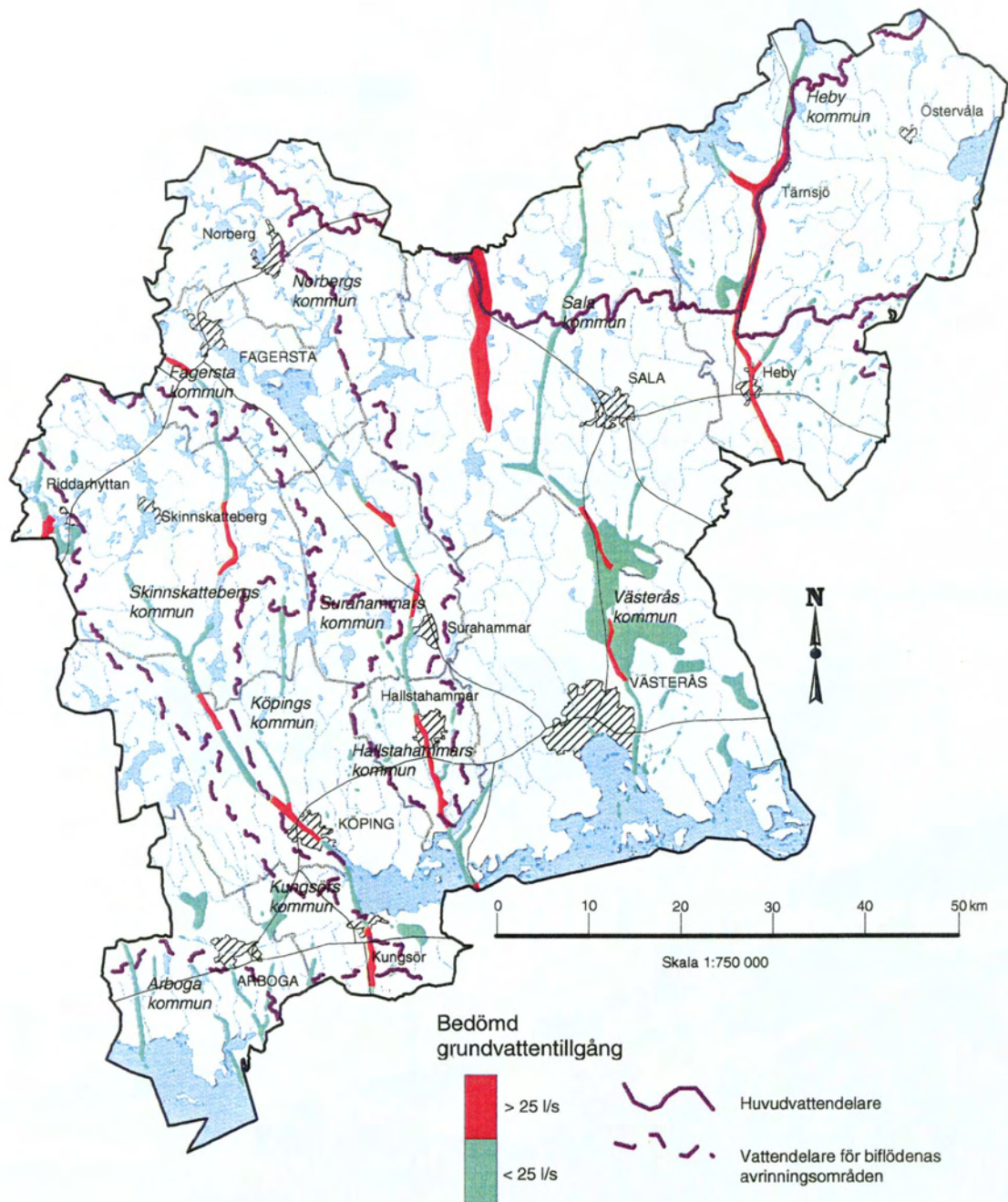
Grundvattnets strömningsmönster styrs också av skillnader i berggrundens genomsläpplighet. Enskilda sprickor och sprickzoner med en betydligt större genomsläpplighet än omgivande bergmassa utgör de huvudsakliga transportvägarna för grundvattnet i berggrunden. Förekomsten av regionalt viktiga sprickzoner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

Höjdskillnaderna i Västmanlands län är relativt stora med en högsta marknivå 469 m.ö.h. Regionala skillnader kan med utgångspunkt från de topografiska förhållandena, se Figur 12, tydligt påvisas i länet. Höjdområdena i de nordvästra delarna av länet kan betraktas som inströmningsområden av regional karaktär. Det är i första hand där som grundvattnets djupa, långa strömbanor kan utbildas. Grundvattnets strömning i det regionala perspektivet sker sedan mot de låglänta delarna i de södra och östra delarna av länet där de långväga strömbanorna i stället blir uppåtriktade. Utströmningen av grundvatten sker i första hand till större vattendrag och sjöar.

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. Detta medför att länet i ett långt tidsperspektiv alltmer får karaktären av ett regionalt inströmningsområde. I dag uppgår landhöjningen till ca 40 cm/100 år i de södra delarna av länet och till ca 50 cm/100 år i de norra delarna.

Sjöar, vattendrag och avrinningsområden med tillhörande vattendelare i länet framgår av Figur 20 /73/. 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 Västmanlands län sker ytvattnets avrinning huvudsakligen till Hjälmarens och Mälarens samt till Dalälven i norr. Grundvattnets lokala och regionala strömning följer i huvudsak ytvattnets avrinningsvägar. Det kan dock inte uteslutas att grundvatten som bildas i höjdområden utanför länet, utbildar långa strömbanor som avviker från det regionala avrinningsmönstret.





Grundvattentillgångar av regional betydelse i Västmanlands län finns i de stora isälvs-avlagringarna. Sjöar och vattendrag utgör recipienter för grundvattnet i både jordlagren och berggrunden. Vattendelare enligt SMHI.

Figur 20. Grundvattentillgångar och vattendelare i Västmanlands län

Grundvattentillgångar

Grundvattentillgångar av regional betydelse återfinns i stråken med isälvsavlagringar, t.ex. Badelundaåsen. Genom att jämförelsevis stora grundvattenmängder kan lagras och transporteras i isälvsavlagringarna, har dessa fått betydelse för den kommunala vattenförsörjningen i länet. I Figur 20 redovisas bedömda grundvattentillgångar i åsarna enligt SGUs grundvattenkarta över Västmanlands län /71/. 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. Grundvattnet i den kristallina berggrunden har ingen större betydelse för den kommunala vattenförsörjningen men utgör en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.

Berggrundens genomsläplighet

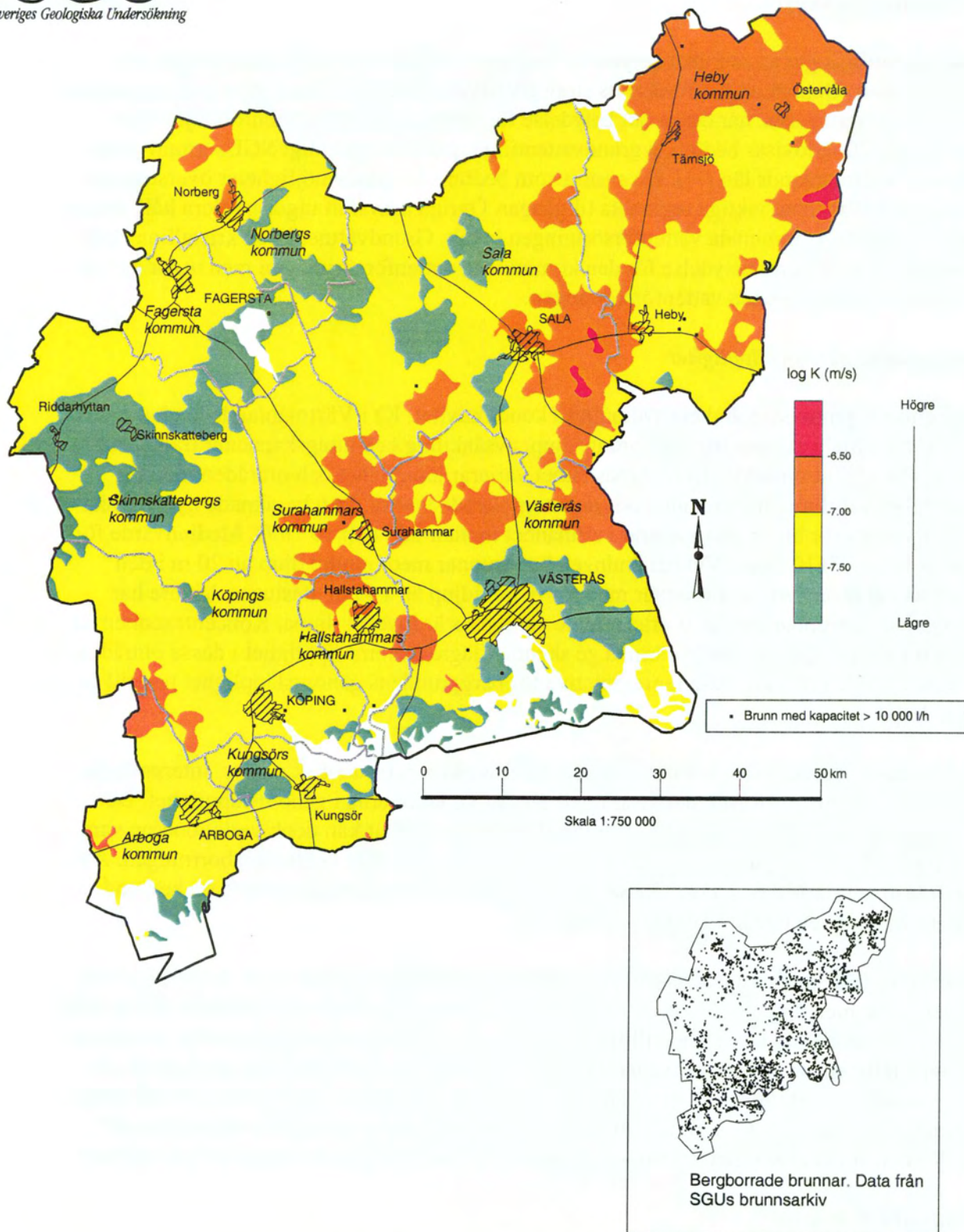
Berggrundens genomsläplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Västmanlands län har beräknats /74/ med hjälp av uppgifter om brunnsdjup, avsänkning och uttagskapacitet från ca 4200 brunnar i SGUs brunnarkiv. Brunnarnas täthet varierar inom länet och områden med låg brunnstäthet har sämre noggrannhet hos de interpolerade ytorna. Den beräknade hydrauliska konduktiviteten för brunnarna varierar i allmänhet mellan 10^{-6} och 10^{-8} m/s. Medianvärde för beräknat K är $5,7 \times 10^{-8}$ m/s. Vid beräkningen har brunnar med mindre djup än 20 m i den kristallina berggrunden samt brunnar med större totaldjup än 140 m uteslutits. Vidare har samtliga energibrunnar uteslutits eftersom de vanligtvis är mycket djupa. Koncentrationen av energibrunnar till tätorter skulle därmed ge skenbart lägre genomsläplighet i dessa områden. Beräknade värden bedöms vara representativa för berggrundens genomsläplighet ned till ca 100 m djup.

Berggrundens hydrauliska konduktivitet har, baserat på en geostatistisk analys, interpolerats över länet, se Figur 21. Resultatet visar de regionala variationerna i genomsläplighet. De nordöstra delarna av länet har förhöjd genomsläplighet. Lokalt kan dock variationerna vara stora, främst beroende på om vattenförande sprickzoner påträffats vid brunnborrningen. Av figuren framgår därför även läget för samtliga registrerade brunnar i länet med en bedömd uttagskapacitet överstigande 10 000 l/tim (26 st).

Erfarenheter från borrhålsundersökningar visar att genomsläpligheten i den kristallina berggrunden avtar med djupet /75/. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet mellan nivån 100 m och 500 m under markytan kan uppgå till flera tiopotenser, vilket har stor betydelse för grundvattnets uppehållstid och strömningsvägar. Den densitetsskillnad som föreligger mellan det söta, ytliga vattnet och det djupare, salta medför att grundvattenomsättningen ytterligare reduceras. Även på stora djup kan dock grundvattnets strömning påverkas av enskilda vattenförande sprickor och sprickzoner med en betydligt större genomsläplighet än omgivande berggrund.

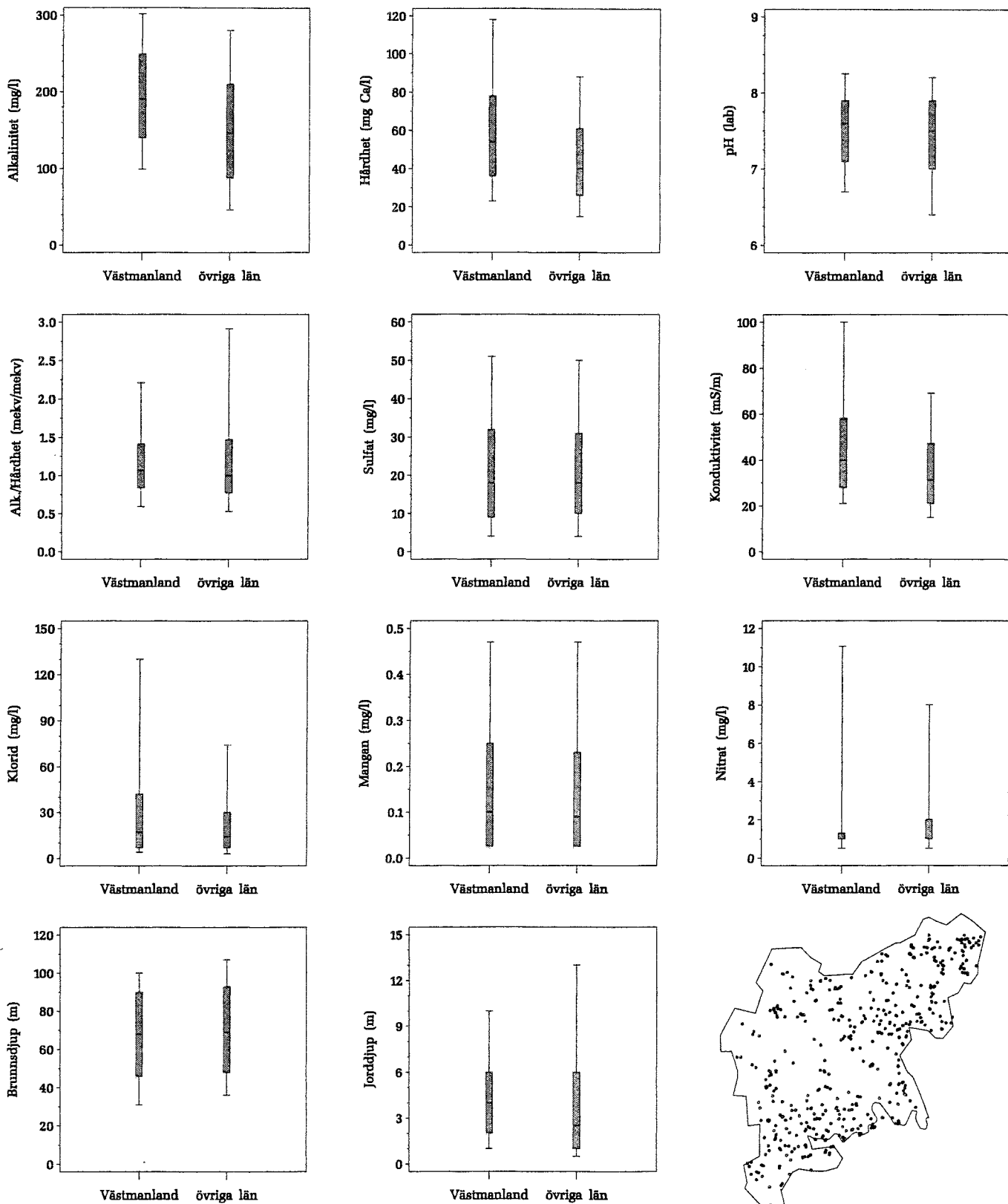
Grundvattnets kemi

Beskrivningen av grundvattnets kemiska status baseras på en jämförelse mellan ca 500 bergborrade brunnar i Västmanlands län och ca 11 500 brunnar från övriga delen av landet /5/, se Figur 22. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. Brunnarna är ofta koncentrerade till samhällen och låglänta områden. Detta medför att grundvattenkemin i de utvalda brunnarna kan avvika något från länets genomsnittliga tillstånd. Den grafiska presentationen utgörs av så kallade "box-plottar" där den undre och övre kanten på



Berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i Västmanlands län. Analys baserad på data i SGUs brunnarkiv (ca 4200 bergborrade brunnar).

Figur 21. Berggrundens genomsläpplighet i Västmanlands län (sammanställning oktober 1998)



Antal analyser i Västmanlands län och övriga delen av landet:

| | HCO ₃ | Hårdhet | pH | HCO ₃ /Hårdhet | SO ₄ | Konduktivitet | Cl | Mn | NO ₃ | Jorddjup | Brunnsdjup |
|-------------|------------------|---------|-------|---------------------------|-----------------|---------------|-------|------|-----------------|----------|------------|
| Västmanland | 518 | 517 | 520 | 516 | 359 | 433 | 516 | 515 | 516 | 498 | 520 |
| Övriga län | 11229 | 10551 | 11550 | 10533 | 6831 | 8833 | 10284 | 8903 | 8239 | 7896 | 11565 |

Figur 22. Grundvattnets kemi samt brunnsdjup och jorddjup för bergborrade brunnar i Västmanlands län jämfört med övriga delar av landet. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. 10-percentil, 1:a kvartil, median, 3:e kvartil och 90-percentil redovisas i form av "box-plottar". Uppgifter har sammanställts från brunnarsarkivets kemiarkiv och visas i insättskarta. Sammanställningen gjordes i oktober 1998.

varje ”box” visar undre respektive övre kvartilen. Den horisontella markeringen inom varje ”box” visar medianvärdet. Den understa och översta markeringen visar 10- respektive 90-percentilen.

Vittringsberoende variabler som alkalinitet, totalhårdhet, pH och konduktivitet har något högre värden i Västmanlands län än i övriga landet. En bidragande orsak till detta är troligtvis att höga kalkhalter i jordlagren i de låglänta områdena påverkar grundvattnet i den kristallina berggrunden. Kvoten mellan alkalinitet och totalhårdhet är ungefär lika stor som riksgenomsnittet vilket innebär att antropogen påverkan av starka syror från nederbörden är ungefär lika stor som i övriga delar av landet. Under ”naturliga” förhållanden är kvoten nära 1, d.v.s. alkaliniteten och totalhårdheten är ungefär lika. Nitrathalten har ungefär samma medianvärde i övriga delar av landet.

Kloridhalterna är något högre jämfört med övriga län (se även Figur 7 i inledningen). Höga kloridhalter är typiska för låglänta områden under högsta kustlinjen (HK, se röd linje på Figur 7), vilket kan bero på att relik saltvatten är vanligt förekommande. Den högsta kloridhalten som uppmätts i bergborrade brunnar i länet uppgår till 4000 mg/l att jämföra med Östersjön och världshaven som har halter omkring 4000 respektive 20000 mg/l. Sannolikt styrs förekomsten av relik saltvatten under HK till stor del av de topografiska betingelserna. I flacka och låglänta områden är grundvattnets omsättning generellt sett långsammare än i kuperad terräng med omväxlande höjd och lågområden, vilket påverkar takten av ”ursköljning” av det salta vattnet med sött grundvatten. De topografiska förhållandena i Västmanlands län varierar, med flack terräng under högsta kustlinjen i östra och södra delarna och mer kuperad terräng i de nordvästra delarna.

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

Brunnsdjupen är ungefär lika stora som i övriga län medan jorrdjupen hos de provtagna brunnarna är större än i övriga län, vilket kan bidra till höga pH-värden. Större delen av länet befinner sig också under högsta kustlinjen vilket kan bidra till högre jonstyrka hos grundvattnet.

9 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar

Sammanfattande slutsatser

Berggrunden i Västmanlands län utgörs av äldre granitoider, gabbro, metavulkaniska och metasedimentära bergarter samt yngre, vanligtvis massformiga graniter. I länets sydligaste del finns också ett mindre område med fanerozoiska sedimentära bergarter i en förkastningsbetingad urbergssänka. Gångbergarter, huvudsakligen diabas och pegmatit, är relativt vanligt förekommande men är ändå en arealmässigt underordnad bergartsgrupp. Djupbergarterna, som dominerar länets berggrund, är generellt sett gynnsamma ur säkerhets- och byggnadsteknisk synpunkt. Även metasedimentära bergarter kan i vissa fall vara gynnsamma medan övriga bergarter är generellt sett olämpliga i detta sammanhang.

Berggrundens homogenitet varierar och inhomogeniteter kan förekomma i form av t.ex. gångbergarter och inneslutningar. Mer detaljerad berggrundsgeologisk information föreligger endast från länets västra och norra delar samt från ett mindre område i den sydöstra delen. De äldre granitoiderna inom dessa områden är relativt homogena med undantag för enstaka peg-

matitiska inslag och inneslutningar av ytbergarter. Graden av omvandling (metamorfos) ökar åt sydost och berggrunden blir då mer inhomogen. Ytbergarterna uppvisar stor variation i sammansättning och omvandlingsgrad. De metavulkaniska bergarterna är dessutom i stor utsträckning malmförande. De yngre graniterna är vanligen homogena över stora områden. Avsaknaden av detaljerade berggrundskartor i länets centrala delar gör det svårt att bedöma berggrundens homogenitet i dessa områden.

Västmanlands län ligger inom det område som räknas till Bergslagen i Mellansveriges malmprovins och inom länet finns hundratals nedlagda gruvor men ingen gruva i drift. *Malmförekomsterna* utgörs huvudsakligen av järnmalm knutna till de metavulkaniska bergarterna samt, underordnat, järnmalm i karbonatsten. Basmetallförekomster (zink, bly och koppar) förekommer i mindre omfattning och då ofta i anslutning till järnmalmerna. Inom länet finns ett flertal *industrimineralförekomster* och för närvarande sker brytning av kvarts och fältspat samt planer finns på att bryta wollastonit. *Nyttostensförekomsterna* utgörs av täkter i kristallin karbonatsten samt krossbergstäkter i granit och gnejs. Produktion pågår på ett fåtal platser. Under senare tid har intresset för malmprospektering ökat, vilket avspeglas i det stora antalet beviljade och ansökta undersökningstillstånd.

Plastiska skjuvzoner, brant stupande och upp till några kilometer breda, förekommer främst i den sydvästra delen av länet. Dominerande riktningar är O-V till NV men även zoner i NO-lig riktning har påvisats. Zonerna tillhör ett system av plastiska deformationszoner i den östra delen av centrala Sverige. *Sprickzonernas* orientering varierar, men tre riktningar dominerar; NV, NO och VNV till ONO. Yngre, spröda deformationszoner följer några av de äldre, plastiska zonerna, s.k. reaktivering, men bildar huvudsakligen egna system.

Bland *jordarterna* har morän, ofta med blockrik eller storblockig yta, stor utbredning i norra och nordvästra delen av länet tillsammans med torv. I söder förekommer vidsträckta lerområden, flera klassiska stora rullstensåsar samt, i mindre omfattning, morän. Jordtäckets mäktighet är i allmänhet liten och större *jorddjup* förekommer främst längs rullstensåsarna samt i lerområdena i söder. Den nuvarande *landhöjningen* är ca 40 cm/100 år i de södra och ca 50 cm/100 år i de norra delarna av länet. I länets norra del har kraftiga störningar konstaterats i den varviga glaciala leran. Möjligen kan några av dessa störningar vara orsakade av *sen- eller postglaciala rörelser (jordskalv)* vid tiden för inlandsisens avsmältning men bevis för detta saknas. Frekvensen av *jordskalv* i historisk tid är måttlig och endast något förhöjd i den nordvästra delen av länet och i ett stråk genom den centrala delen.

Ur *hydrogeologisk synvinkel* kan konstateras att berggrundens genomsläplighet är förhöjd i de nordöstra delarna av länet. De lokala variationerna är dock stora, främst beroende på om vattenförande sprickzoner påträffats vid brunnsborringen. Grundvattnets djupa, långa strömbanor utbildas i höjdområdena i nordväst medan utströmning sker till i första hand större vattendrag och sjöar. Grundvattentillgångar av stor betydelse för den kommunala vattenförsörjningen återfinns i stråken med isälvsavlagringar. Berggrundsvatten utnyttjas också men är framför allt en viktig tillgång för den enskilda försörjningen.

Grundvattnets kemiska sammansättning visar på för riket normal påverkan av syror från nederbörden. Nitrathalten har ungefär samma medianvärde som i övriga delar av landet. Kloridhalterna är något högre jämfört med övriga län. Höga kloridhalter är typiska för låglänta

områden under HK vilket kan bero på att relik saltvatten är vanligt förekommande. Alkalinitet, totalhårdhet, pH och konduktivitet har något högre värden än i övriga landet, troligtvis beroende på att höga kalkhalter i jordlagren i de låglänta områdena påverkar grundvattnet i den kristallina berggrunden.

Områden lämpliga för vidare undersökning

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

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

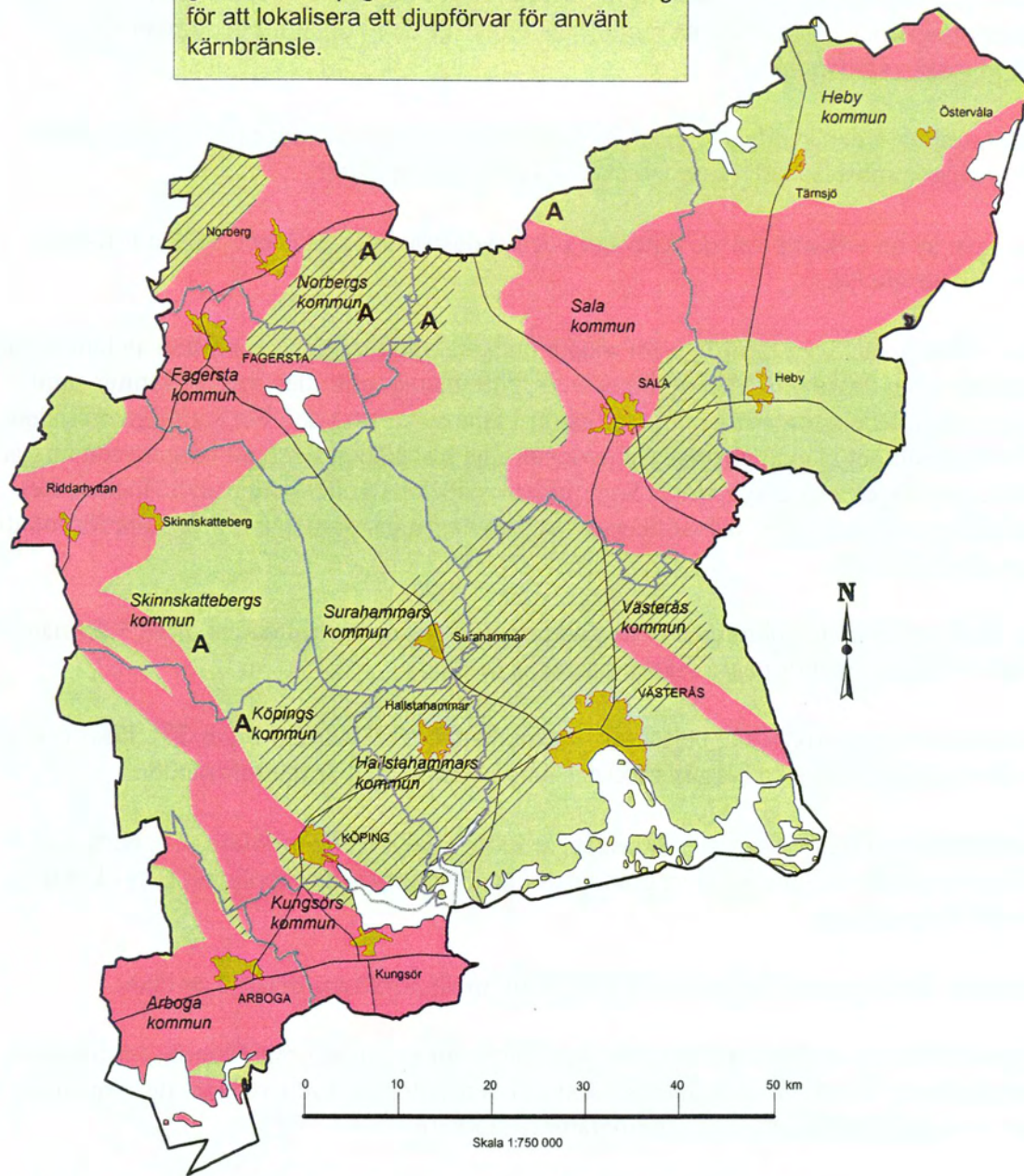
Vidare är det en fördel om jordmäktigheten är måttlig. Vattengenomsläppligheten bör vara låg vilket vanligen är fallet om berggrunden är homogen och sprickfrekvensen låg. Utströmning av vatten från förvaret bör ske till en stor recipient, helst havet. Isälvsavlagringar bör behandlas med försiktighet på grund av deras betydelse som grundvattentillgångar. Försiktighet bör 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. Sådana zoner måste också undvikas. Detta innebär att gynnsamma områden utgörs av berggrundsblock mellan uthålliga sprickzoner inom regioner som inte är påverkade av plastisk skjuvdeformation och som uppfyller de andra villkoren noterade ovan.

Västmanlands län har, ur geologisk synvinkel, indelats i områden som bedöms olämpliga respektive lämpliga för vidare studier med syfte att lokalisera ett djupförvar för använt kärnbränsle, se Figur 23. Områden som bedömts som olämpliga har utökats med en ca 1 km bred randzon för att undvika att olämpliga områden på grund av osäker gränsdragning klassificeras som lämpliga. Någon rangordning mellan intressanta områden är inte möjlig på grundval av befintligt material. I gränsområdet mot omgivande län har resultaten av motsvarande undersökningar av dessa län beaktats.

Bedömningen i länet baseras på undersökningsområdets förutsättningar med avseende på berggrundens sammansättning, framtida prospekteringsintresse och tolkade deformationszoner. Åtminstone några av de kraftiga störningarna i den varviga glaciala leran kan vara ett resultat av jordskalv vid tiden för landisens avsmältning, men bevis för detta saknas. Generellt kan konstateras att frekvensen av registrerade jordskalv är något förhöjd inom två områden inom länet. Jordtäckets sammansättning och mäktighet samt de hydrogeologiska förhållandena har i denna skala inte legat till grund för att gradera områden med olika geologiska förutsättningar. Detaljerade undersökningar, exempelvis förstudier av enskilda kommuner och platsundersökningar, krävs för att slutgiltigt identifiera berggrundsblock som uppfyller ovan nämnda förutsättningar och andra krav som ställs på ett djupförvar.

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



- Område lämpligt för vidare undersökning
- Område lämpligt för vidare undersökning men med något förhöjd frekvens av jordskalv
- Område olämpligt för vidare undersökning

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

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

- Flera områden i de sydvästra, nordvästra och nordöstra delarna av länet som tillhör en av de mest prospekteringsintressanta regionerna i Sverige och dessutom genomkorsas av några plastiska skjuvzoner.
- Ett litet område i den sydligaste delen av länet, vilket tillhör en större provins som innehåller senprekambriska och fanerozoiska, sedimentära bergarter.
- Förekomst av en tolkad plastisk skjuvzon i den sydöstra delen av länet, vilken fortsätter österut i Uppsala län.

Områden vilka tolkats som **lämpliga** för vidare undersökning utgör över hälften av länets yta. Berggrunden inom dessa områden domineras av äldre metagranitoider, yngre graniter samt ådergnejsomvandlade metasedimentära bergarter i länets sydöstra del. 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 av de potentiellt gynnsamma områdena inom Västmanlands skulle bli aktuella bör några faktorer särskilt beaktas:

- Förekomst av metavulkaniska bergarter i ett fåtal små områden (A i Figur 23). Dessa bergarter har tolkats tillhöra en bergartssekvens som på annat håll är malmförande.
- Den relativt höga frekvensen av diabasgångar inom länet och de problem som detta kan medföra i form av inhomogen berggrund och ökad vattengenomsläpplighet längs kontakterna till dessa gångar.
- En tendens för högre vattengenomsläpplighet inom de nordöstra delarna av länet.
- Berggrundens homogenitet inom alla de områden som eventuellt blir föremål för fortsatta undersökningar bör noggrant studeras, särskilt i den sydöstra delen av länet där omvandlingen av berggrunden under hög temperatur är starkare.
- Slutligen bör, om vidare studier skulle bli aktuella i något av de områdena som visar en förhöjd frekvens av registrerade jordskalv, kompletterande studier göras avseende jordskalvens betydelse för ett djupförvar.

Förekomst och utsträckning av områden som är av intresse för vidare undersökning har definierats utifrån ett översiktligt och delvis ofullständigt underlag. Som redan påpekats krävs stegvis mer detaljerade undersökningar för att med säkerhet avgöra om ett område är geologiskt lämpligt för ett djupförvar. Det kan förväntas att potentiellt gynnsamma områden som framkommer i en mer detaljerad studie är mindre och mera väldefinierade än de större, mera generaliserade områden som länsöversikten ger. Mer detaljerade undersökningar kan i vissa fall komma att påvisa gynnsamma 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 göra 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 **Lundegårdh, P.H., Sundberg, A. & Källberg, I., 1989:** Berggrundskarta över Västmanlands län. Sammanställd för Bergslagens mineraljakt. Sveriges geologiska undersökning.
- 7 **Gorbatshev, R., 1972:** Beskrivning till kartbladet Örebro NO. Sveriges geologiska undersökning Af 103, 1-70.
- 8 **Lundegårdh, P.H., Karis, L. & Magnusson, E., 1973:** Beskrivning till berggrundskartan Örebro SO. Sveriges geologiska undersökning Af 104, 1-76.
- 9 **Lundegårdh, P.H., 1974:** Beskrivning till berggrundskartan Eskilstuna NV. Sveriges geologiska undersökning Af 111, 1-75.
- 10 **Stålhös, G., 1976:** Beskrivning till berggrundskartan Enköping SV. Sveriges geologiska undersökning Af 118, 1-45.
- 11 **Lundegårdh, P.H. & Nisca, D., 1978:** Beskrivning till berggrundskartan och geofysiska kartorna Västerås SV. Sveriges geologiska undersökning Af 122, 1-60.
- 12 **Ambros, M., 1983:** Beskrivning till berggrundskartan Lindesberg NO. Sveriges geologiska undersökning Af 141, 1-75.
- 13 **Lundegårdh, P.H., 1983:** Beskrivning till berggrundskartan Lindesberg SO. Sveriges geologiska undersökning Af 139, 1-58.
- 14 **Strömberg, A., 1983:** Beskrivning till berggrundskartan 12F Ludvika SO. Sveriges geologiska undersökning Af 128, 1-99.
- 15 **Stålhös, G., 1984:** Beskrivning till berggrundskartorna Strängnäs NV och NO. Sveriges geologiska undersökning Af 144/145, 1-96.

- 16 **Ambros, M., 1988:** Beskrivning till berggrundskartorna Avesta NV och SV. Sveriges geologiska undersökning Af 152, 153, 1-84.
- 17 **Persson, L., 1997:** Beskrivning till berggrundskartorna Avesta SO och NO. Sveriges geologiska undersökning Af 189, 197, 1-69.
- 18 **Allen, R., Lundström, I., Ripa, M., Simeonov, A. & Christofferson, H., 1996:** Facies analysis of a 1.9 Ga continental margin, back-arc, felsic caldera province with diverse Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) sulphide and Fe oxide deposits, Bergslagen region, Sweden. *Economic Geology* 91, 979-1008.
- 19 **Ripa, M. & Persson, P.-O., 1997:** The U-Pb zircon age of the Sala-Vänge granite at Sala, south central Sweden. *I: T. Lundqvist (red.), Radiometric dating results 3.* — Sveriges geologiska undersökning C 830, 57-62.
- 20 **Romer, R.L. & Öhlander, B., 1995:** Tectonic implications of an 1846 ± 1 Ma old migmatitic granite in south-central Sweden. *GFF* 117, 69-74.
- 21 **Öhlander, B. & Romer, R., 1996:** Zircon ages of granites occurring along the Central Swedish Gravity Low. *GFF* 118, 217-225.
- 22 **Arnbom, J.O., 1999:** Beskrivning till berggrundskartan 11G Västerås SO. Sveriges geologiska undersökning Af 204, 1-46.
- 23 **Patchett, P.J., 1978:** Rb-Sr ages of Precambrian dolerites and syenites in southern and central Sweden. Sveriges geologiska undersökning C 747, 1-63.
- 24 **Statens industriverk, 1982:** Berg och malm i Västmanlands län. SIND PM 1982:8, 1-196.
- 25 **Geijer, P., 1936:** Norbergs berggrund och malmfyndigheter. Sveriges geologiska undersökning Ca 24, 1-162.
- 26 **Geijer, P. & Magnusson, N.-H., 1944:** De mellansvenska järnmalmernas geologi. Sveriges geologiska undersökning Ca 35, 1-654.
- 27 **Kieft, C., Holmgren, J. & Eriksson, G., 1987:** The silver-mercury-antimony minerals of Sala, Sweden. *The Canadian Mineralogist* 25, 647-657.
- 28 **Ehrenborg, J.-E., Claesson, J.-Å., Johansson, R., Säker, S. & Håkansson, B., 1989:** Wollastonit Frösvidal, Banmossen och Vaskebäcken. SGAB PRAP 89541, 1-36.
- 29 **SGU PM, 1997:** Grus, sand och industrimineral. Produktion och tillgångar 1996. Sveriges geologiska undersökning 1997:3, 1-50.
- 30 **Kugelberg, O.F., 1862:** Några ord till upplysning om bladet "Skultuna". Sveriges geologiska undersökning Aa 3, 1-32.

- 31 **Erdmann, E., 1865:** Några ord till upplysning om bladet "Lindsbro". Sveriges geologiska undersökning Aa 14, 1-67.
- 32 **Gumaelius, O., 1868:** Några ord till upplysning om bladet "Sala". Sveriges geologiska undersökning Aa 26, 1-127.
- 33 **Gumaelius, O., 1871:** Några ord till upplysning om bladet "Engelsberg". Sveriges geologiska undersökning Aa 42, 1-50.
- 34 **Karlsson, V., 1873:** Beskrifning till "kartbladet Riddarhyttan". Sveriges geologiska undersökning Aa 46, 1-39.
- 35 **Lundqvist, G. & Hjelmqvist, S., 1946:** Beskrivning till kartbladet Avesta. Sveriges geologiska undersökning Aa 188, 1-127.
- 36 **Sandegren, R. & Asklund, B., 1946:** Beskrivning till kartbladet Möklinta. Sveriges geologiska undersökning Aa 186, 1-99.
- 37 **Sandegren, R. & Asklund, B., 1948:** Beskrivning till kartbladet Söderfors. Sveriges geologiska undersökning Aa 190, 1-91.
- 38 **Lundegårdh, P.H. & Lundqvist, G., 1954:** Beskrivning till kartbladet Västerås. Sveriges geologiska undersökning Aa 196, 1-75.
- 39 **Lundegårdh, P.H. & Lundqvist, G., 1959:** Beskrivning till kartbladet Eskilstuna. Sveriges geologiska undersökning Aa 200, 1-125.
- 40 **Persson, L., 1998:** Bergkvalitetskartan 11H Enköping SV. Sveriges geologiska undersökning Af 118 Bk.
- 41 **Persson, L., Göransson, M., Lundqvist, S., Pannert, M. & Sträng, T., 1998:** Bergkvalitetskartan 11G Västerås SO. Sveriges geologiska undersökning Af 204 Bk.
- 42 **Lidmar-Bergström, K., 1994:** Berggrundens ytformer. I: C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas, 44-54.
- 43 **Magnusson, E. & Gorbatshev, R., 1972:** Beskrivning till geologiska kartbladet Örebro NO. Sveriges geologiska undersökning Ae 7, 1-74.
- 44 **Magnusson, E. & Lundegårdh, P.H., 1972:** Beskrivning till geologiska kartbladet Örebro SO. Sveriges geologiska undersökning Ae 8, 1-96.
- 45 **Magnusson, E., 1975:** Beskrivning till jordartskartan Eskilstuna NV. Sveriges geologiska undersökning Ae 18, 1-83.
- 46 **Magnusson, E., 1979:** Beskrivning till jordartskartan Västerås SV. Sveriges geologiska undersökning Ae 35, 1-70.

- 47 **Magnusson, E., 1982:** Beskrivning till jordartskartan Lindesberg SO. Sveriges geologiska undersökning Ae 49, 1-76.
- 48 **Magnusson, E., 1984:** Beskrivning till jordartskartan Västerås SO. Sveriges geologiska undersökning Ae 64, 1-76.
- 49 **Magnusson, E., 1986:** Beskrivning till jordartskartan Eskilstuna SV. Sveriges geologiska undersökning Ae 79, 1-68.
- 50 **Magnusson, E., 1989:** Beskrivning till jordartskartan Eskilstuna NO. Sveriges geologiska undersökning Ae 103, 1-73.
- 51 **Magnusson, E., 1993:** Beskrivning till jordartskartan Västerås NO. Sveriges geologiska undersökning Ae 117, 1-80.
- 52 **Magnusson, E., 1997:** Beskrivning till jordartskartan Västerås NV. Sveriges geologiska undersökning Ae 120, 1-68.
- 53 **Grånäs, K., 1985:** Beskrivning till jordartskartan Söderfors NV. Sveriges geologiska undersökning Ae 74, 1-63.
- 54 **Grånäs, K., 1990:** Beskrivning till jordartskartan Söderfors SO. Sveriges geologiska undersökning Ae 104, 1-84.
- 55 **Möller, H., 1985:** Beskrivning till jordartskartan Enköping SV. Sveriges geologiska undersökning Ae 28, 1-64.
- 56 **Ericsson, B. & Lidén, E., 1988:** Beskrivning till jordartskartan Söderfors NO. Sveriges geologiska undersökning Ae 87, 1-69.
- 57 **Hummel, D., 1865:** Några ord till upplysning om bladet "Skattmansö". Sveriges geologiska undersökning Aa 15, 1-60.
- 58 **Högbom, A. & Lundqvist, G., 1930:** Beskrivning till kartbladet Malingsbo. Sveriges geologiska undersökning Aa 194, 1-181.
- 59 **Fredén, C., (red.), 1994:** Berg och jord. Sveriges Nationalatlas. , 208 s.
- 60 **Lundqvist, J., 1994:** Inlandsisens avsmältning. I: C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas, 124-135.
- 61 **Fromm, E., 1991:** Varve chronology and deglaciation in south-eastern Dalarna, central Sweden. Sveriges geologiska undersökning Ca 77, 1-49.
- 62 **Boulton, G.S., Smith, G.D., Jones, A.S. & Newsome, J., 1985:** Glacial geology and glaciology of the last mid-latitude ice sheets. *Journal of the Geological Society of London* 142(3), 447-474.

- 63 **Eriksson, L. & Henkel, H., 1994:** Geofysik. I: C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas, 76-101.
- 64 **Persson, C., 1994:** Sveriges jordartsregioner. I: C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas, 143-149.
- 65 **Lagerbäck, R., 1979:** Neotectonic structures in northern Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 100, 263-269.
- 66 **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.
- 67 **Mörner, N.-A., 1978:** Faulting, fracturing, and seismicity as functions of glacioisostasy in Fennoscandia. *Geology* 6(1), 41-45.
- 68 **Mörner, N.-A., 1979:** Earth movements in Sweden, 20 000 BP to 20 000 AP. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 100, 279-286.
- 69 **Mörner, N.-A., 1979:** The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence. *GeoJournal* 3.3, 287-318.
- 70 **Muir Wood, R., 1993:** A review of the seismotectonics of Sweden. SKB TR 93-13, 1-225.
- 71 **Wikner, T., Söderholm, H., Müllern, C.-F. & Engqvist, P., 1982:** Beskrivning och bilagor till hydrogeologiska kartan över Västmanlands län. Sveriges geologiska undersökning Ah 2, 1-66.
- 72 **SGU, 1994:** Grundvattnet i Sverige. Sveriges geologiska undersökning Ah 17 (karta, 1:1 miljon).
- 73 **SMHI, 1995:** Sveriges Vattensystem. I: B. Raab & H. Vedin (red.), *Klimat, sjöar och vattendrag*. — Sveriges Nationalatlas, 116-123.
- 74 **Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977:** Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock. *Nordic Hydrology* 8, 103-116.
- 75 **SKB, 1992:** SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten.

BILAGA A

GEOLOGISK ORDLISTA

Förklaringarna bygger i huvudsak på ordlistan i Sveriges Nationalatlas, Band 12, Berg och jord, ordlistan i Bengt E H Loberg: Geologi, 4:e upplagan samt TNC 86 Geologisk ordlista.

- Albit.** Natriumrik plagioklasfältspat.
- Alkalin bergart.** Magmatisk bergart karakteriserad av hög halt av natrium och kalium i förhållande till kisel och aluminium.
- Alkalinitet.** Förmåga hos vatten att binda syror.
- Amfibol.** En grupp av silikater med prismatisk kristallform. De viktigaste mineralen i gruppen är hornblände och aktinolit-tremolit.
- Amfibolit.** Metamorft bergart bestående av huvudsakligen amfibol och plagioklas.
- Anatektisk.** Bildad genom uppsmältning av äldre bergarter.
- Andalusit.** Aluminiumsilikat.
- Andesit.** Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas och mörka mineral t.ex. hornblände, pyroxen, biotit.
- Anomali.** Lokal avvikelse.
- Antiform.** En rygghöjning som uppkommit genom veckning av en lagerserie. Motsats till synform.
- Antropogen.** Orsakad eller påverkad av människan.
- Aplit.** Finkornig, granitisk bergart med låg halt av mörka mineral. Uppträder vanligtvis som gångar.
- Arenit (sandsten).** Sedimentär bergart med kornstorlek 0,06-2 mm.
- Argillit.** Finkornig sedimentär bergart som bildats ur lera och silt.
- Arkos.** Sandsten som innehåller minst 25% fältspatfragment.
- Aureol.** Område med speciell karaktär kring en bergartsintrusion.
- Axialplan.** Se veckaxelplan.
- Baltiska Issjön.** En av flera isdämda sjöar som bildades i nuvarande Östersjö-området i samband med inlandsisens avsmältning. Baltiska Issjön dränerades för ca 11 200 år sedan.
- Bandning.** Omväxlande mer eller mindre parallella lager med olika färg, kornstorlek, mineralsammansättning osv.
- Basalt.** Basisk vulkanisk bergart.
- Basisk bergart.** Bergart med 45-52 viktprocent SiO₂.
- Bergart.** Sammanhållet aggregat av ett eller vanligen flera mineral.
- Bentonit.** Mjuk, plastisk lera.
- Biotit.** Mörkt glimmermineral.
- Blyglans.** Sulfidmineral. Blyglans är det viktigaste blymineralet.
- Breccia.** Bergart som består av kantiga bitar i en mer finkornig mellanmassa.
- Böljeslagsmärke.** Symmetrisk, vågliknande struktur i sediment bildad genom vattnets vågrörelser över sedimenten.
- Charnockit.** Granit som innehåller mineralen ortopyroxen (en pyroxen med rombisk kristallstruktur).
- Cordierit.** Ett silikatmineral vanligt i metamorfa bergarter.
- Dacit.** Intermediär vulkanisk bergart som domineras av plagioklas, kvarts och mörka mineral.
- Deformationszon.** En svaghetszon i berggrunden utefter vilken berggrunden på ömse sidor rört sig i förhållande till varandra.
- Diabas.** En gångbergart som bildar mer eller mindre branta skivor i berggrunden.
- Diabasgång.** Se diabas.
- Diamantborrning.** Undersökningsborrning med diamantsatt borrkrona. Borrningen syftar till att ta upp en serie prov, borrkärna, av berggrunden.
- Digital.** Representation av data med hjälp av siffror.
- Diorit.** Intermediär djupbergart som domineras av plagioklas och mörka mineral.
- Diopsid.** Se pyroxen.
- Diskordans.** Avbrott i en lagerserie där lagren över och under avbrottet bildar vinkel mot varandra.
- Dissemination.** Spridd fördelning i bergart av ett eller flera mineral.
- Djupbergart.** Magmatisk bergart som kristalliserat (stelnat) i djupare delar av jordskorpan.
- Dolomit.** Bergart huvudsakligen bestående av mineralet dolomit (Kalcium-magnesiumkarbonat).
- Drumlin.** I inlandsisens eller glaciärs rörelseriktning utsträckt elliptisk rygg, huvudsakligen bestående av morän.
- Eem.** Värmeperioden före Weichsel-istiden.
- Epicentrum.** Punkt på jordytan belägen rakt ovanför en jordbävningens centrum.
- Epidot.** Ett mossgrönt vattenhaltigt silikat med kalcium, aluminium och järn. Mineralet är vanligt som sprickfyllnad
- Erosion.** Nednötning. Den process vid vilken material på jordytan lösgörs och förs bort av vatten, rörlig is, vind eller vågor.
- Fanerozoikum.** Geologisk tidsålder, yngre än 545 miljoner år.
- Fennoskandiska skölden.** Urbergsområde som omfattar Sverige med undantag av fjällkedjan och

sydvästra Skåne, större delen av Finland, nordvästra Ryssland och delar av Sydnorge.

Finmo. Jordart med kornstorleken 0.02-0.06 mm.

Flygsand. Sand avlagrad av vinden.

Flyttblock. Stora av inlandsisen transporterade block.

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

Fossil. Förstenade lämningar efter djur och växter.

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

Förskiffning. Planstruktur i en bergart definierad av parallellorientering av mineralkorn. Bildad under högt tryck och temperatur.

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

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

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

Glaciation. Nedisning.

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

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

Gnejsgranit. Omvandlad (förgnejsad) granit.

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

Granatådergnejs. Granatförande ådergnejs.

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

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

Grus. Jordart med kornstorlek 2-20 mm.

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

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

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

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

Hematit. Järnoxidmineral.

HK = Högsta Kustlinjen

Hornblände. Se amfibol.

Hybridbergart. Blandbergart.

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

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

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

Ignimbrit. Vulkanisk bergart avlagrad av ett pyroklastiskt flöde.

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

Illit. Glimmerliknande lermineral.

Inlandsis. Ismassa som täcker stora delar av en kontinent.

Interglacial. Tiden mellan två istider.

Intermediär bergart. Bergart med 52-65 viktprocent 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 isälvsediment.

Isälvsediment. Sediment som transporterats av isälvar och smältvattenströmmar för att sedan avlagras vid isfronten i samband med avsmältningen.

Jordart. Lösa avlagringar på jordytan.

Jordskorpa. Den yttersta delen av jordklotet, ned till 5-10 km under oceanerna och till ca 35 km under kontinenterna.

Kalcit. Kalciumkarbonat. Huvudmineral i kalksten.

Kalifältspat. En kaliumrik fältspat.

Kalksten. Bergart bestående av i huvudsak kalcit.

Kame. Kulle med markanta sidor eller oregelbunden rygg, huvudsakligen uppbyggd av isälvsediment i kontakt med inlandsis.

Kaolinit. Ett lermineral. Se kaolin.

Kaolin. Grå eller vit lera huvudsakligen bestående av kaolinit.

Kaxborrning. Undersökningsborrning i berg utan att något prov i form av borrhärna erhålles (jfr diamantborrning). Det finkorniga material som bildas vid borrningen kallas borrhärax. Kaxet kan studeras på olika sätt och ge information om berggrunden i borrhålet.

Klorit. Glimmerliknande, vanligen grönt, silikatmineral.

Koboltglans. Ett silvervitt kobolthaltigt sulfidmineral.

Konduktivitet. Elektrisk ledningsförmåga hos vatten.

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

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

Kraton. Konsoliderad och stabil del av den kontinentala jordskorpan.

Kratonisering. Konsolidering och stabilisering av jordskorpan.

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

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

Kvarts. Kiseldioxid (SiO_2).

Kvartsit. Mycket hård, kvartsrik, sedimentär bergart.

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

Landhöjning. Höjning av landytan i förhållande till havsytan.

Laumontit. Silikatmineral bildat genom omvandling av fältspat.

Lava. Magma som trängt ut på jordytan.

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

Lera. Jordart med kornstorlek < 0.002 mm.

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

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

Lineament. Rak eller svagt böjd långsträckt struktur.

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

Magma. Smält berg.

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

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

Magnetiska konnektioner. Se formlinjer.

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

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

Magnitud. Mått på styrkan av en jordbävning

Malm. En mineralkoncentration som är ekonomiskt brytvärd.

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

Marmor. Genom metamorfos omkristalliserad kalksten eller dolomit.

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

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

Metabasit. Omvandlad basisk bergart.

Metamorf. Omvandlad.

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

Metasedimentär bergart. Omvandlad, ursprungligen sedimentär bergart.

Metavulkanisk bergart. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

Metavulkanit. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

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

Migmatitgranit. Granit bildad genom uppsmältning av äldre berggrund.

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

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

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

Mjåla. Jordart med kornstorlek 0.002-0.02 mm.

Mo. Jordart med kornstorlek 0.02-0.2 mm.

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

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

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

Moränbacklandskap. Kuperad terräng av morän.

Muskovit. Ljust glimmermineral.

Mylonit. Finkornig bergart bildad genom mycket stark plastisk deformation.

Mylonitzonen. En starkt mylonitiserad zon i Sydvästsveriges gnejsberggrund.

Nefelin. Ett fältspatliknande mineral rikt på natrium.

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

Neosom. Nybildat (rekristalliserat) material i en migmatit.

Neotektonik. Unga tektoniska rörelser i jordskorpan.

Norit. Basisk djupbergart.

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

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

Orogen. Se orogent bälte.

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

Orogenes. Bergskedjebildning.

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

Paleosom. Rester av moderbergarten i en migmatit.

Pechblände. Uranmineral.

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

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

Permeabel. Genomsläpplig.

pH. Surhetsgrad hos vatten.

Pimpsten. Ljus, porös, pyroklastisk bergart.

Plagioklas. En fältspat rik i sodium och kalcium.

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

Plastisk skjuvzon. Se plastisk deformation.

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

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

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

Postglacial. Efter istiden (post=efter)

Prehmit. Silikatmineral.

Prekambrium. Geologisk tidsålder, äldre än 545 miljoner år.

Primorogen. Se tidigorogen.

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

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

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

Pyroklastiskt fall. Nedfall av vulkaniska utbrottsprodukter från luften.

Pyroxen. Mineralgrupp med prismatisk kristallform.

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

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

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

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

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

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

Motsats till transgression.

Resistivitet. (Elektriskt) motstånd.

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

Rörelsebelopp. Mått på storleken av t ex en förkastning.

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

Sandsten. Se arenit.

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

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

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

Sedimentgnejs. Gnejsomvandlad sedimentär bergart.

Sedimentär bergart. Till en bergart hopläkt sediment.

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

Sen-glacial förkastning. Se neotektonik.

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

Siljansringen. Rund struktur vid Siljan bildad vid meteoritnedslag.

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

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

Sillimanit. Aluminiumsilikat.

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

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

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

Skjuvzon. Ett linjärt berggrundsområde som kännetecknas av intensiv deformation.

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

Sköl. Zon med svagare berg än omgivningen.

Slira. Ett oregelbundet slingrande parti i en bergart.

Smektit. Ett lermineral. Viktig beståndsdel i bentonit.

Susceptibilitet. En bergarts förmåga att magnetiseras.

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

Sprickzon. Se spröd deformation.

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

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

Stratigrafiska (undersökningar).

Undersökningar som syftar till att utreda bergarternas inbördes åldersförhållanden.

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

Strukturella formlinjer. Se formlinjer.

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

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

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

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

Sur bergart. Bergart med > 65 viktprocent SiO₂.

Svallning. Vågornas eroderande verkan på en strand.

Svallsediment. Genom svallning frigjort material som sedan avsatts.

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

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

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

Tidigorogen. Beteckning på de äldsta djupbergarterna i en orogenes.

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

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

Torkspricka. Spricka uppkommen genom uttorkning av en finkornig sediment.

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

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

Totalhårdhet. Sammanlagda halten av kalcium och magnesium i vatten.

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

Tremolit. Se amfibol.

Tuff. Bergart bestående av bl a vulkanisk aska.

Tuffit. Bergart bestående av vulkanisk aska blandad med sediment.

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

Ultrabasisisk bergart. Djupbergart med extremt låg (< 45 viktprocent) SiO₂.

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

Ur. Se units of radiation.

Urbergssköld. Se kraton.

Urgranit. Äldre benämning på tidigorogena sura djupbergarter.

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

Veckaxel. Omböjningslinjen för ett veck.

Veck. Böjd planstruktur i berg.

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

VLF (Very Low Frequency) -mätning.

Elektromagnetisk mätmetod som kan användas för påvisning av brantstående kroppar eller strukturer med hög elektrisk ledningsförmåga.

Vulkanisk aska. Finkornig produkt vid vulkanutbrott.

Vulkanisk bergart. Bergart bildad genom vulkaniska processer.

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

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

Vulkanit. Se vulkanisk bergart.

Weichsel-Istiden. Den senaste istiden i Sverige.

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

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

Ådergnejs. En form av migmatit med ådrig struktur.

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