

R-98-40

Översiktsstudie av Norrbottens län (urbergsdelen)

Geologiska förutsättningar

Stefan Bergman, Jonas Gierup, Lutz Kübler,
Robert Lagerbäck, Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Augusti 1998

Svensk Kärnbränslehantering AB

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



Översiktsstudie av Norrbottens län (urbergsdelen)

Geologiska förutsättningar

Stefan Bergman, Jonas Gierup, Lutz Kübler,
Robert Lagerbäck, Bo Thunholm

Sammanställning och slutsatser
Michael Stephens och Rune Johansson

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

Augusti 1998

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

i

1	Inledning	1
2	Viktiga geologiska faktorer vid lokaliseringen av ett djupförvar	1
3	Urbergsdelen av Norrbottens län i ett regionalt geologiskt perspektiv	5
	Berggrundsgeologi	5
	Jordartsgeologi, sen- eller postglaciala förkastningsrörelser och jordskalv	5
	Hydrogeologi	8
4	Bergarter och berggrundens homogenitet	8
	Ytbergarter	8
	Djupbergarter	12
	Gångbergarter	17
	Berggrundens homogenitet	17
5	Mineral- och bergartsresurser	18
	Översikt över mineral- och bergartsresurser	18
	Metalliska mineralresurser	18
	Icke-metalliska mineralresurser	20
	Nyttosten	21
	Pågående prospektering	21
	Potentiellt prospekteringsintressanta områden	21
6	Deformationszoner	21
	Definitioner och metodik	21
	Plastiska skjuvzoner	22
	Sprickzoner och förkastningar	26
	Deformationszoner i tid och rum	26
7	Nedisningar, jordarter, jorddjup samt sen- eller postglaciala förkastningsrörelser	27
	Nedisningar, isfria perioder samt postglacial utveckling	27
	Jordarter och jorddjup	28
	Sen- eller postglaciala förkastningsrörelser och jordskalv	37
8	Hydrogeologi	40
	Grundvattnets bildning och strömning	40
	Grundvattentillgångar	42
	Berggrundens genomsläpplighet	44
	Grundvattnets kemi	44
9	Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar	47
	Sammanfattande slutsatser	47
	Områden lämpliga för vidare undersökning	49
10	Referenser	53

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 urbergsdelen av Norrbottens 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. Flyggeofysiska data täcker i stort sett hela undersökningsområdet medan modern berggrunds- och jordartsgeologiska kartor i skalorna 1:50 000 och 1:100 000 täcker drygt hälften respektive endast mindre delar av området, se Figur 2. Omfattningen av länsöversikten har inte tillåtit hänsynstagande till detaljstudier i enskilda områden, t.ex. SKBs typområden vid Gallejaur, Kamlunga och Taavinunnanen, se Figur 1.

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

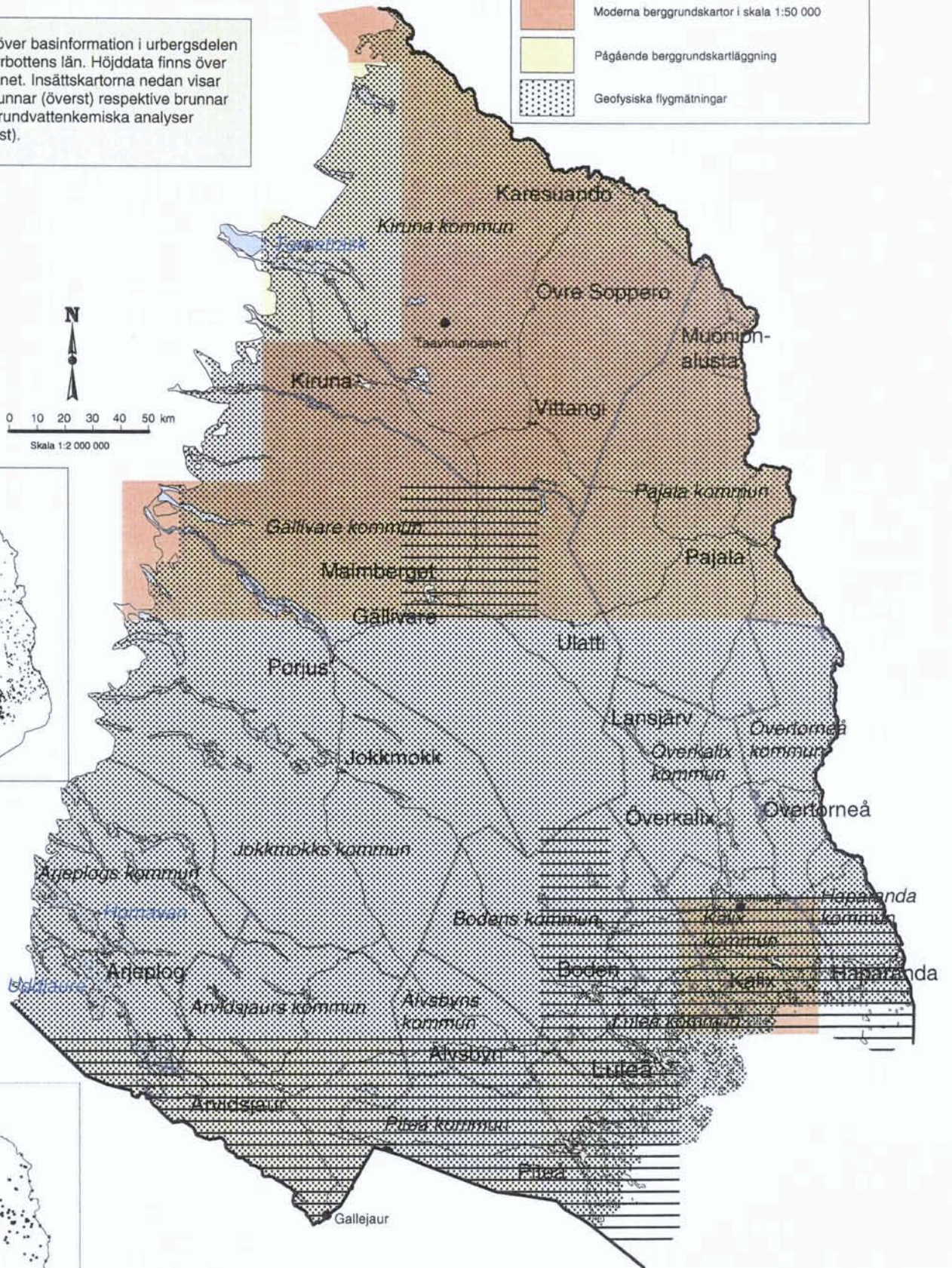
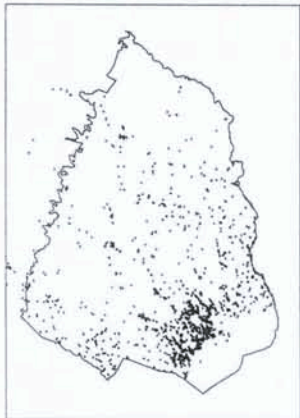
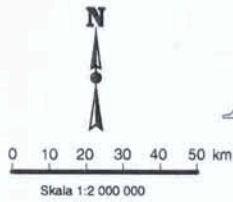
Uthålliga deformationszoner, som innefattar plastiska skjuvzoner samt spröda sprickzoner och förkastningar utefter vilka berggrunden rört sig, bör undvikas. Längs många zoner har de senaste rörelserna visserligen skett för många tiotals, ibland hundratals miljoner år sedan men det finns en tendens att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



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

Karta över basinformation i urbergsdelen av Norrbottens län. Höjddata finns över hela länet. Insättskartorna nedan visar alla brunnar (överst) respektive brunnar med grundvattenkemiska analyser (nederst).

	Modern jordartsgeologisk information i skala 1:50 000 eller 1:100 000 och pågående arbete
	Moderna berggrundskartor i skala 1:50 000
	Pågående berggrundskartläggning
	Geofysiska flygmätningar



Figur 2. Karta över basinformation i urbergsdelen av Norrbottens län (sammanställning januari 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 beskriver skalv så långt tillbaka som till medeltiden. Kunskapen om äldre skalv är dock ofullständig. Tillförlitliga data om större skalv finns från slutet av 1800-talet. Tillförlitliga data beträffande mindre skalv finns från de senaste ca 30 åren.

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

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

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

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

3 Urbergsdelen av Norrbottens län i ett regionalt geologiskt perspektiv

Berggrundsgeologi

Berggrunden i norra Sveriges urberg bildades och omvandlades för ca 2800-1800 miljoner år sedan under flera perioder av bergskedjebildning, den viktigaste av dessa är den s.k. sveko-karelska orogenesen (bergskedjebildningen), se Figur 3 /2/. Under dessa perioder 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 ca 10-15 km djup i jordskorpan och vid temperaturer i intervallet 400-800°C.

Den äldsta berggrunden i Sverige återfinns i den nordligaste delen av Norrbottens län och består främst av granitoida gnejser och granit (ca 2800-2600 miljoner år gamla). Yngre djupbergarter (ca 1950-1850 miljoner år) har stor utbredning i södra och nordöstra delen av länet. De yngsta djupbergarterna (1880-1770 miljoner år) har också stor utbredning, med tyngdpunkt i den centrala delen. Basiska metavulkaniska bergarter och metasedimentära bergarter som bildades i ett tidigare skede (2500-1950 miljoner år) finns främst i länets norra och östra delar. Ytbergarter som bildades i ett senare skede (1950-1870 miljoner år) är vanligast i södra och västra delen. Prefixet "meta" betecknar att bergarten har genomgått omvandling (metamorfos).

I urbergsdelen av Norrbottens län finns betydande malmförekomster inom norra Norrbottens och Arjeplogs malmprovinser. För närvarande pågår brytning av järn, koppar och guld i tre gruvor. Bly bryts också väster om urberget i bergarter som tillhör fjällranden. En intensiv prospekteringsverksamhet pågår inom urbergsdelen av länet som är ett av de mest prospekteringsintressanta områdena i Sverige.

Ett stort antal regionala plastiska skjuvzoner förekommer i urbergsdelen av länet. De största och mest betydelsefulla skjuvzonerna finns mellan Karesuando och Arjeplog och mellan Pajala och Kalix. Yngre, spröda deformationszoner (sprickzoner och förkastningar) följer i många fall de äldre plastiska zonerna, s.k. reaktivering, men bildar också egna system.

Jordartsgeologi, sen- eller postglaciala förkastningsrörelser och jordskalv

Morän och torv är de dominerande jordarterna inom urbergsdelen av Norrbottens län, se Figur 4 /3/. Längs kusten, under högsta kustlinjen (HK), förekommer dock vattenavsatta sediment som lera, sand och grus i betydande omfattning. Även hållmarker har större utbredning längs kusten än i resten av undersökningsområdet. Längre in i landet, västerut och framför allt mot nordväst, ökar inslaget av torv för att sedan åter avta upp mot fjällranden till förmån för morän och hållmark. Isälvssediment förekommer i hela länet men har särskilt stor utbredning i de norra och nordöstra delarna.

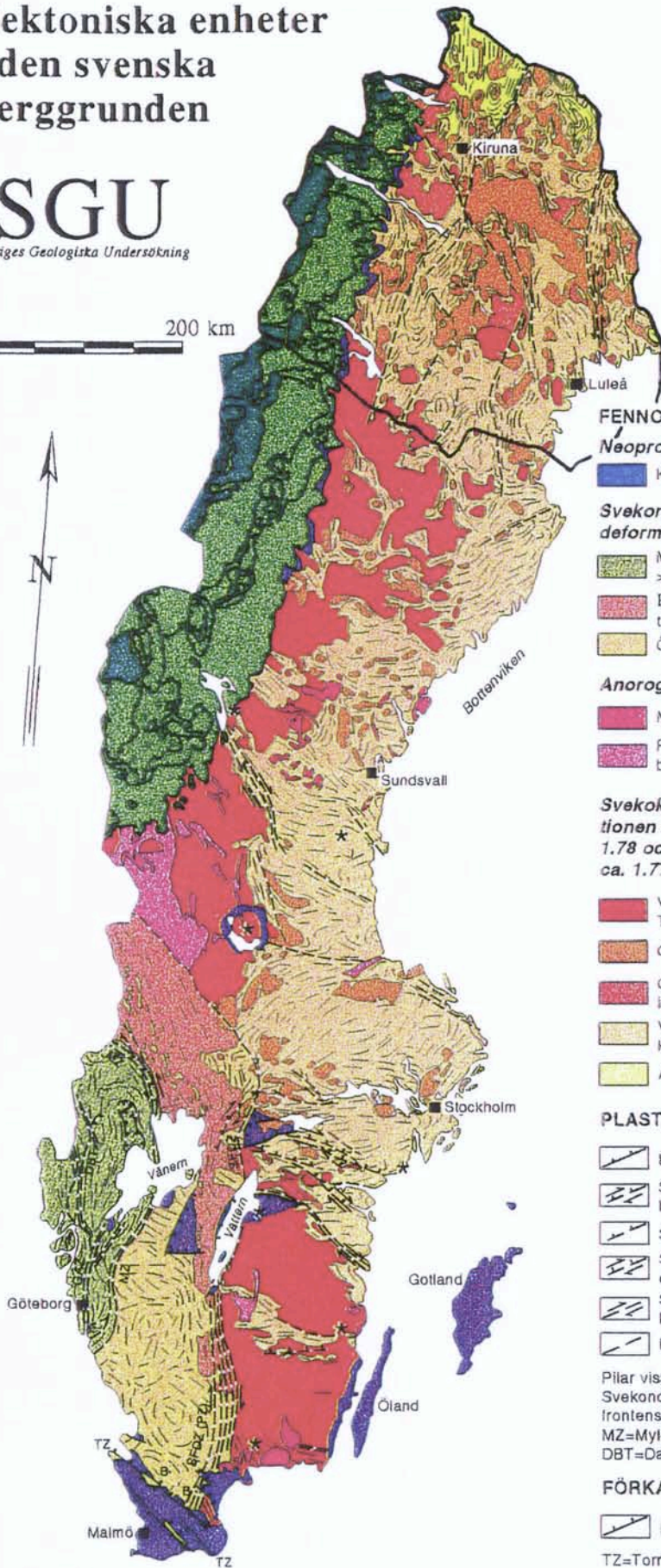
Under den senaste nedisningens slutskede inträffade ett flertal större förkastningsrörelser inom länet. Jordbävningarna som åtföljde dessa rörelser var mycket kraftiga. De nutida, jämförelsevis svaga jordskalven är främst koncentrerade till en zon längs kusten och två svärmar i den

Tektoniska enheter i den svenska berggrunden

SGU

Sveriges Geologiska Undersökning

0 200 km



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

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

FANEROZOISKA SEDIMENTÄRA OCH MAGMATISKA BERGARTER SAMT IMPAKTSTRUKTURER

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

FENNOSKANDISKA SKÖLDEN

Neoproterozoiska klastiska sedimentära bergarter

- Klastiska sedimentära bergarter

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

- Mellersta och västra segmentet (inkluderande >ca. 1.56 Ga främmande terrånger?)
- 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

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

- Vulkaniska och intrusiva bergarter tillhörande TMB* och Revsund-Sorsele-sviten (ca. 1.85–1.65 Ga)
- Granit och pegmatit (ca. 1.85–1.75 Ga)
- Granit, monzonit och underordnade maliska 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
- Svekokareisk deformationszon, horisontell och "norra-sidan-ner" rörelse
- Svekokareisk deformationszon med horisontell rörelse
- Deformationszon, rörelse okänd

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

FÖRKASTNINGAR

- Normalförkastning

TZ=Tomquistzonen

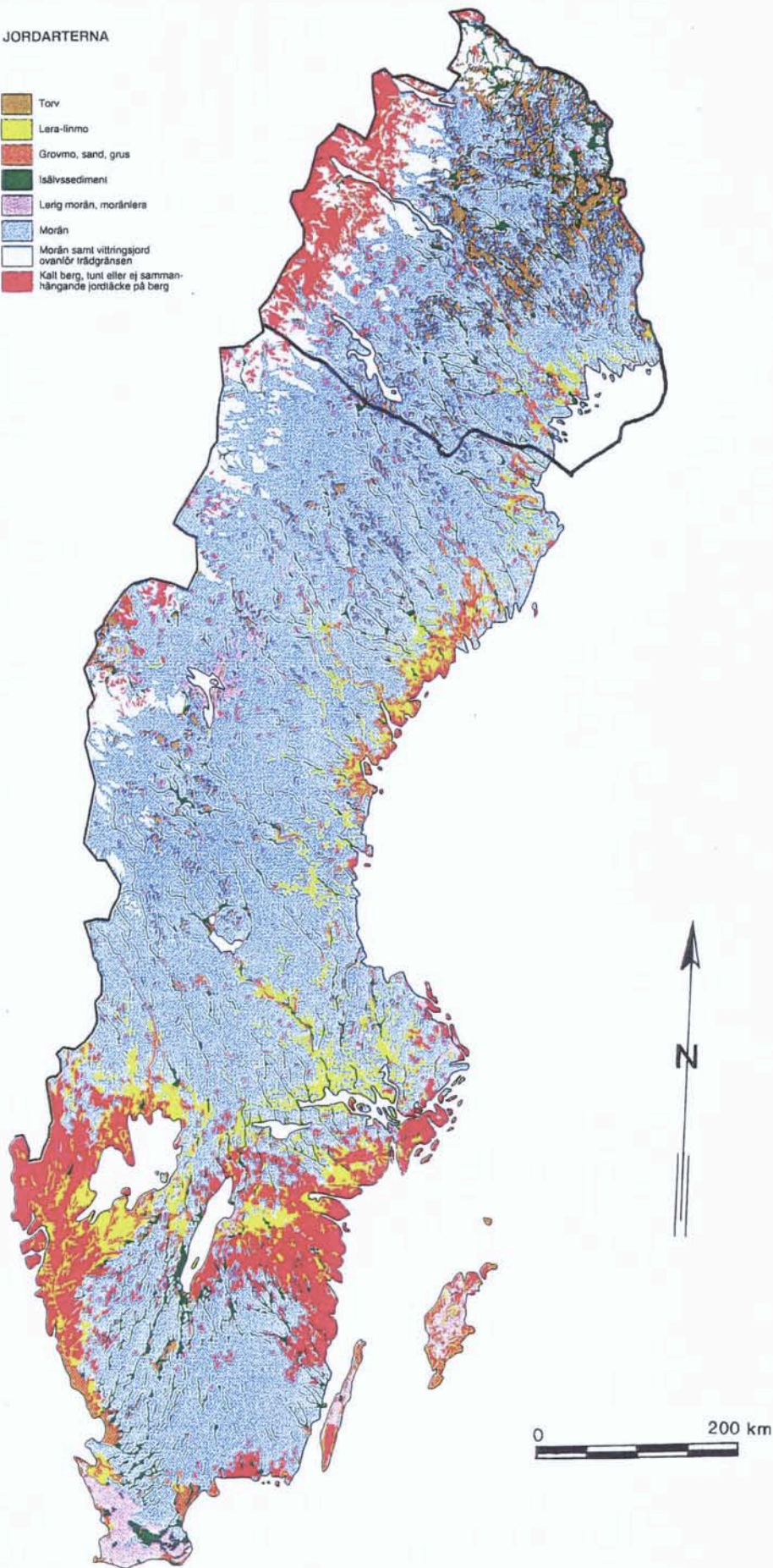
TMB*=Transskandinaviska magmatiska bältet
1 Ma=1 miljon år, 1 Ga=1000 miljoner år

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

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

JORDARTERNA

- Torv
- Lera-linmo
- Grovmo, sand, grus
- Isåvssediment
- Lurig morän, moränlera
- Morän
- Morän samt vittringsjord ovanför trädgränsen
- Kall berg, tunt eller ej sammanhängande jordläcke på berg



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

norra delen av länet. Dessa jordskalv tycks till stor del vara knutna till de ovan nämnda förkastningarna, vilket antyder att dessa fortfarande är aktiva. Skalven längs kusten utgör den norra delen av ett bälte med förhöjd frekvens av jordskalv som sträcker sig från sydvästra Sverige mot nordost och vidare norrut längs norrlandskusten, se Figur 5.

Hydrogeologi

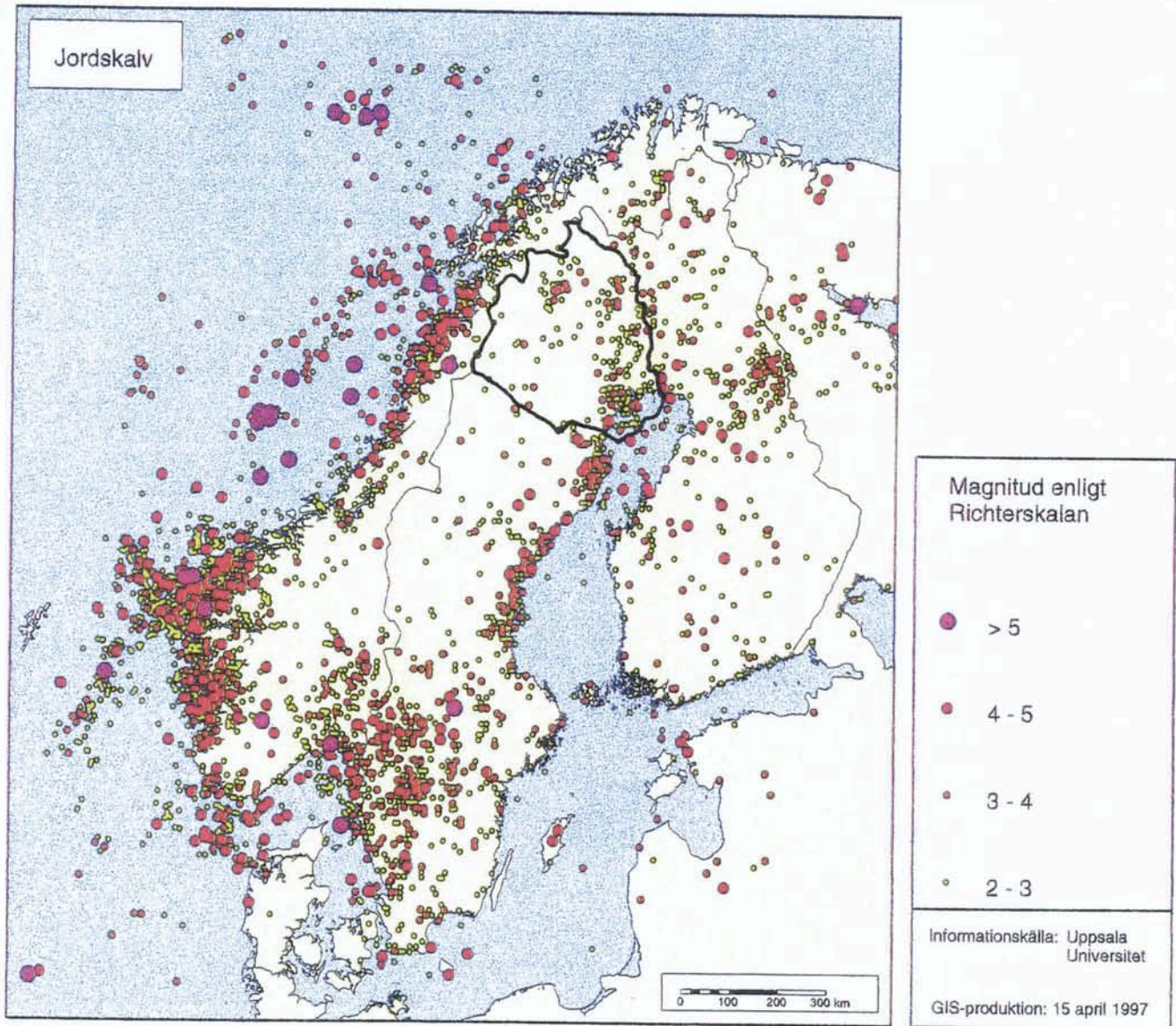
Landets grundvattentillgångar i jord och berg framgår av Figur 6 /4/ och kloridhalten i berggrundsvatten för hela Sverige redovisas i Figur 7 /5/. Grundvattenförhållandena styrs av de hydrologiska, topografiska och geologiska förhållandena. Urbergsdelen av Norrbottens län kännetecknas av en varierande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

4 Bergarter och berggrundens homogenitet

Berggrunden inom urbergsdelen av Norrbottens län redovisas översiktligt i Figur 8, förenklad från berggrundskartan i Sveriges Nationalatlas, bandet "Berg och Jord" /6/. Fjällberggrunden i väster redovisas inte här. Den följande beskrivningen av länets bergarter grundar sig huvudsakligen på information hämtad från beskrivningarna till berggrundskartorna i skala 1: 50 000 /7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23/, beskrivningen till berggrundskartan över Norrbottens län /24/ samt från Lindström m.fl. /25/. Berggrundskartor i skala 1:50 000 utan beskrivning finns över vissa områden i norr /26, 27, 28, 29/. Området täcks i sin helhet av översiktskartorna över Nordkalott- och Mittnordenområdena /30, 31/. Berggrundskartering pågår för närvarande i länets sydligaste del samt norr om Kiruna. I Figur 2 visas områden täckta av moderna berggrundskartor (utgivna 1967-1996) i skala 1:50 000, samt områden där kartläggning pågår. Fotografier av några av länets vanligaste bergarter visas i Figur 9.

Ytbergarter

Länets ytbergarter består både av metavulkaniska och metasedimentära bergarter. De kan grovt indelas i två tidsgrupper, dels de äldre som bildades i tidsintervallet för ca 2500-1950 miljoner år sedan, dels de yngre, s.k. Svekofenniska, som bildades för ca 1950-1870 miljoner år sedan. Den äldre gruppen avsattes i en riftmiljö medan den yngre gruppen bildades under en tid av intensiv bergskedjebildning. Längs fjällranden finns sedimentära bergarter som avsattes för ca 600-500 miljoner år sedan och på havsbotten i Bottenviken finns sandsten och konglomerat som bildades för ca 1500-1250 (jotnisk) och för ca 600-500 miljoner år sedan. Dessa relativt unga bildningar redovisas inte på berggrundskartan.

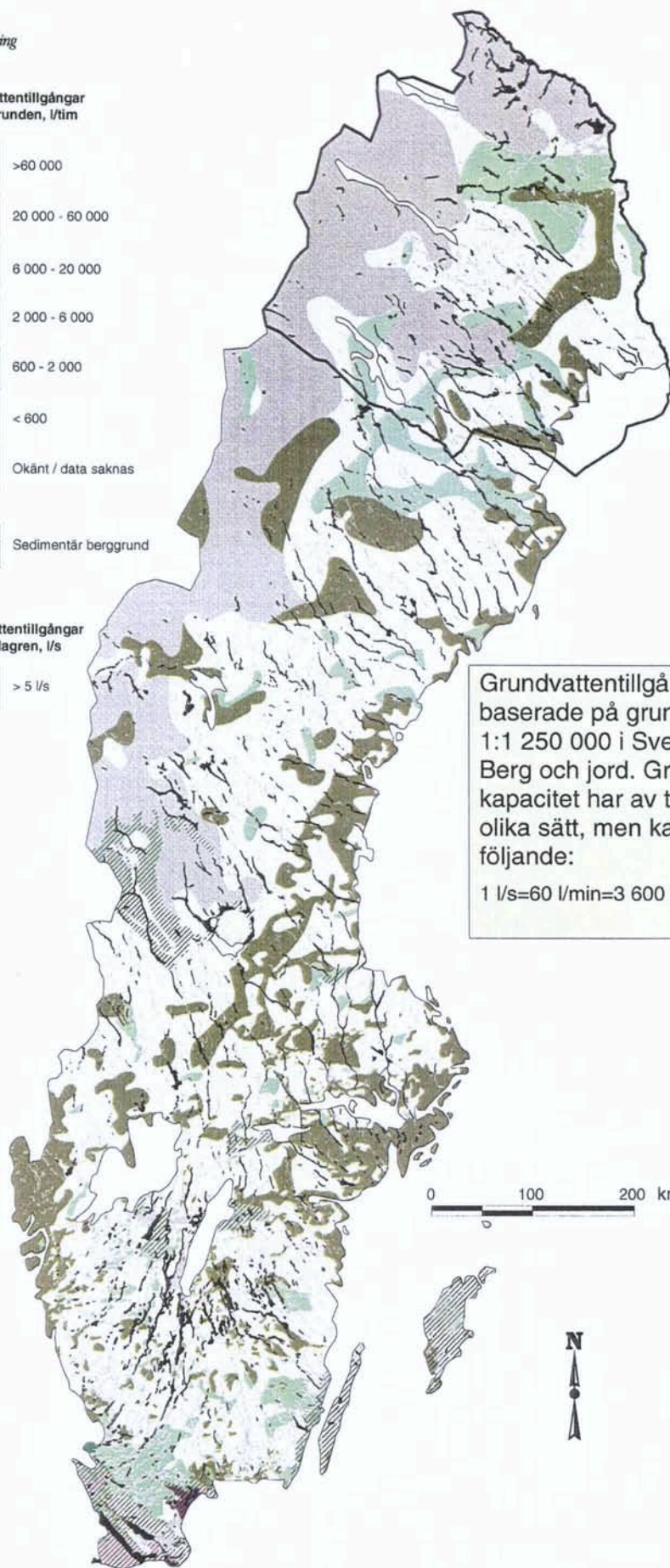


Figur 5. Registrerade jordskalv i Nordeuropa fram till 1993. Uppgifterna har hämtats från en databas vid Uppsala universitet. Norrbottens län är markerat med en svart linje

Grundvattentillgångar
i berggrunden, l/tim



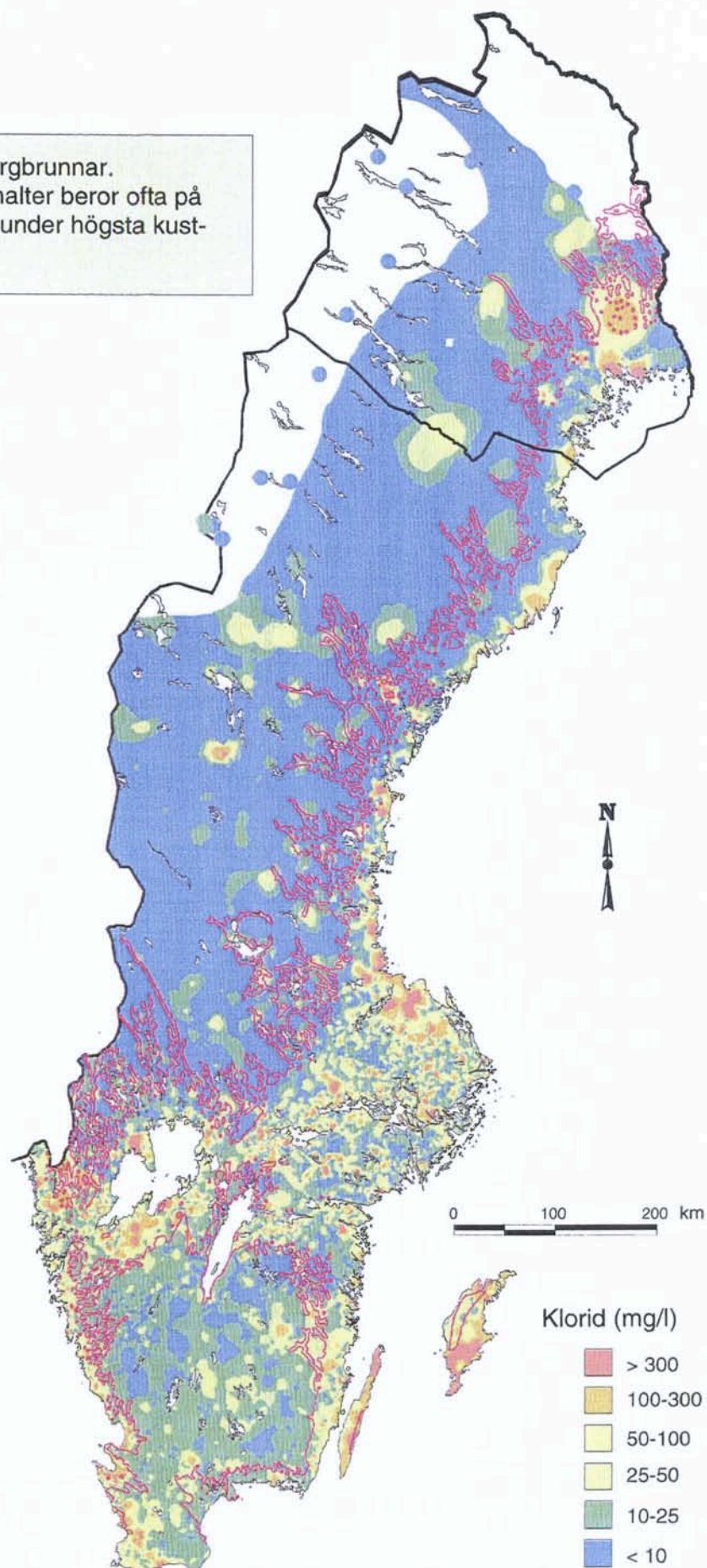
Grundvattentillgångar
i jordlagren, l/s



Grundvattentillgångar i jord och berg, baserade på grundvattenkartan i skala 1:1 250 000 i Sveriges Nationalatlas, Berg och jord. Grundvattentillgång och kapacitet har av tradition angivits på olika sätt, men kan lätt omräknas enligt följande:
1 l/s=60 l/min=3 600 l/tim=86,4 kbm/dygn

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

Metavulkaniska bergarter

De äldre metavulkaniska bergarterna domineras av basiska (kiseldioxidfattiga) bergarter, och utgör en viktig komponent i länets norra och östra berggrund (blågrön färg på kartan i Figur 8). De förekommer som kuddlavor, se Figur 9a, mandelstensförande lavar och tuffer eller tuffiter. De är associerade med ekonomiskt viktiga koppar- och guldfyndigheter samt skarnjärnmalmer.

Sura (kiseldioxidrika) och intermediära bergarter dominerar bland de yngre metavulkaniska bergarterna (gul och ljus grön färg på kartan i Figur 8). Basiska metavulkaniska bergarter förekommer också i denna grupp. Intermediära bergarter är vanligare på lägre stratigrafiska nivåer medan de sura dominerar på högre nivåer [32]. I Kiruna och Malmberget är dessa metavulkaniter värdbergarter till stora järnmalmer. Strökorn av fältspat eller kvarts är vanliga, och i vissa områden finns andra ytterst välbevarade primära vulkaniska strukturer och texturer, t.ex. i Arvidsjaurområdet, se Figur 9b. Vid länsgränsen i sydväst finns en mindre förekomst av sur vulkanisk bergart som är betydligt yngre (ca 1800 miljoner år) än övriga ytbergarter i urbergsdelen av länet.

Metasedimentära bergarter

Störst utbredning har de äldre metasedimentära bergarterna (mörkt blå färg på kartan i Figur 8) i den östra delen av länet, där det vanligen är fråga om starkt omvandlade metaargilliter, metaareniter och kvartsiter. Metakonglomerat förekommer underordnat. Kvartsit och metakonglomerat utgör bottenbildningar på det arkeiska underlaget längst i norr. De äldre metasedimentära bergarterna förekommer allmänt tillsammans med de äldre metavulkaniska bergarterna. Som inlagringar i dessa är metaargilliter (i många fall grafitförande) särskilt vanliga. Dolomitiska karbonatstenar är också en viktig komponent i detta sammanhang, även om den geografiska utbredningen är begränsad. I Kalixområdet finns välbevarade algstrukturer (stromatoliter) i dolomit.

De yngre metasedimentära bergarterna (ljus blå färg på kartan i Figur 8) har störst utbredning i länets södra del. Mer eller mindre omvandlad metaargillit och metagråvacka är de vanligaste bergarterna, se Figur 9c. Kvartsit, metakonglomerat och kristallin karbonatsten (marmor) förekommer underordnat. På många ställen finns en nära association, s.k. växellagring, med de yngre metavulkaniska bergarterna. På den högsta stratigrafiska nivån, över huvuddelen av metavulkaniterna, finns konglomerat, metasandsten och kvartsit. Välbevarade primära sedimentära strukturer är allmänt förekommande i metasandstenarna vid Stora Sjöfallet, nära fjällranden väster om Gällivare.

Djupbergarter

Djupbergarter är de vanligaste av länets bergarter. På kartan, se Figur 8, kan fyra grupper urskiljas. De bildades i skilda geologiska miljöer under tidsperioderna ca 2800-2600, ca 2500-2400, ca 1950-1850 respektive ca 1880-1770 miljoner år sedan.

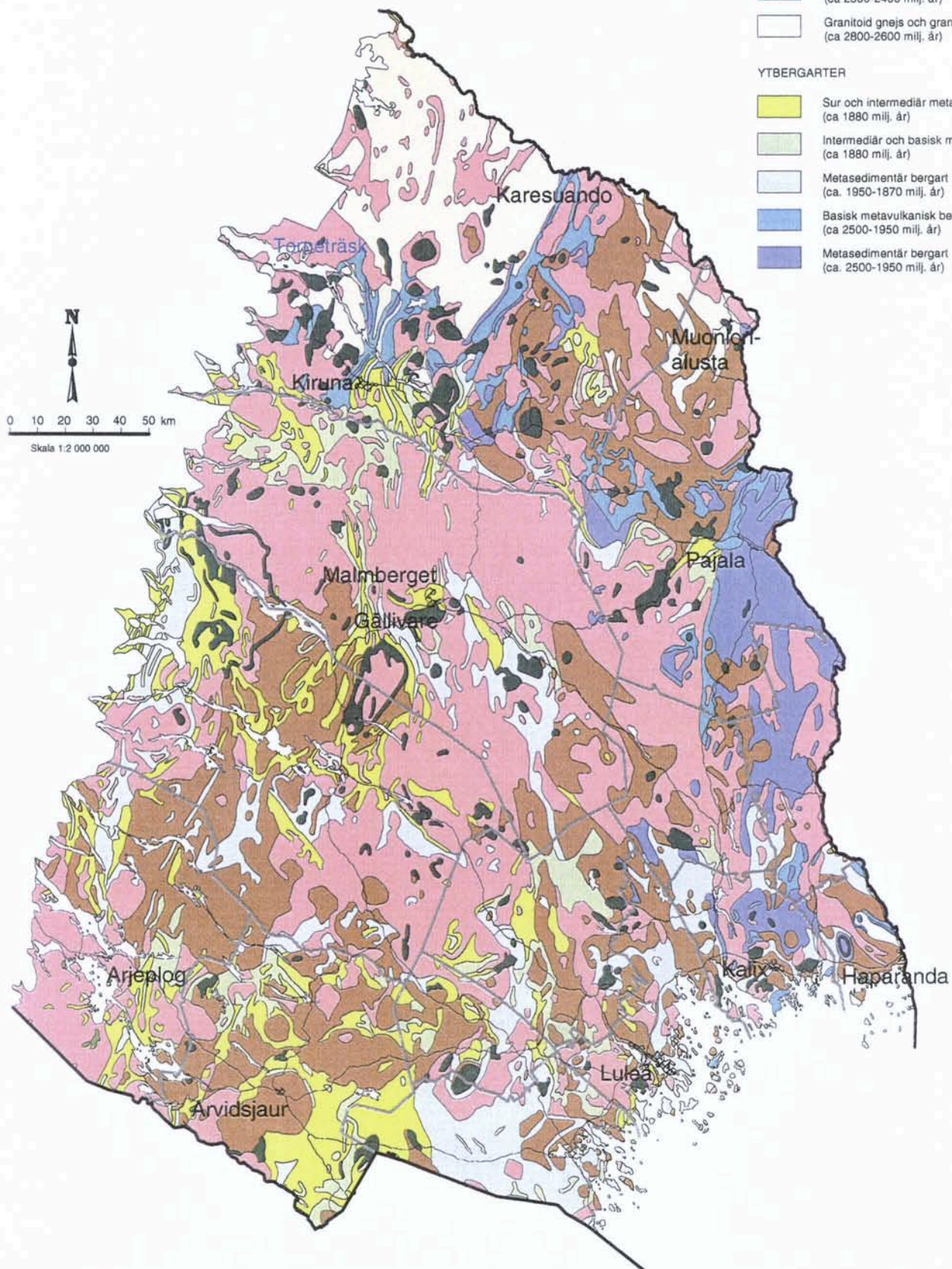
Förenklad berggrundskarta över urbergsdelen av Norrbottens län. Kartan är baserad på nationalatlasens berggrundskarta i skala 1:1 250 000.

DJUPBERGARTER

- Granit, pegmatit, syenit, monzonit, underordnat sur vulkanisk bergart (ca 1880-1770 milj. år)
- Gabbro (ca 1800 milj. år)
- Metagranit, metagranodiorit, metatonalit (ca 1950-1850 milj. år)
- Metagabbro, metadiorit, amfibolit (ca 1950-1850 milj. år)
- Lagrad metagabbro (ca 2500-2400 milj. år)
- Granitoid gnejs och granit (ca 2800-2600 milj. år)

YTBERGARTER

- Sur och intermediär metavulkanisk bergart (ca 1880 milj. år)
- Intermediär och basisk metavulkanisk bergart (ca 1880 milj. år)
- Metasedimentär bergart (ca. 1950-1870 milj. år)
- Basisk metavulkanisk bergart (ca 2500-1950 milj. år)
- Metasedimentär bergart (ca. 2500-1950 milj. år)



Figur 8. Förenklad berggrundskarta över urbergsdelen av Norrbottens län

Arkeiska djupbergarter (ca 2800-2600 miljoner år)

Sveriges äldsta berggrund finns längst i norr (beige färg på kartan i Figur 8). Den består av arkeiska gnejsiga djupbergarter med främst granodioritisk till tonalitisk sammansättning, se Figur 9d. Gnejsiga ytbergarter av både vulkaniskt och sedimentärt ursprung samt granit ingår i mindre omfattning. Ett stort antal yngre intrusioner förekommer tillsammans med de arkeiska bergarterna. Mindre område med starkt förskiffrade och omvandlade arkeiska granitoider finns norr om Haparanda och söder om Luleå. Vid Muonionalusta finns ingen säkert påvisad arkeisk berggrund.

Lagrad metagabbro (ca 2500-2400 miljoner år)

I anslutning till den arkeiska berggrunden norr om Haparanda finns lagrade och omvandlade gabbro-ultramafitin intrusioner (mörkt blågrön färg i Figur 8). I Finland finns betydande kromförekomster i liknande bergarter. De har ett tidsmässigt och troligen bildningsmässigt samband med vissa av de äldre basiska metavulkaniska bergarterna.

Djupbergarter i Haparandasviten (ca 1950-1850 miljoner år)

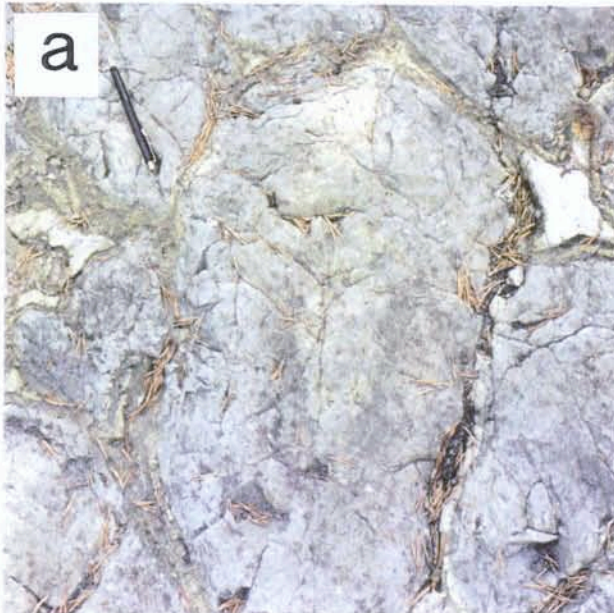
Djupbergarter i Haparandasviten (brun färg i Figur 8) utgör en betydande del av länets södra och nordöstra berggrund. Huvudkomponenterna är metatonalit, metagranodiorit och metagranit, se Figur 9e. Bergarterna är medelkorniga eller fint medelkorniga och omvandlingsgraden varierar kraftigt mellan olika områden. I länets södra och västra del finns områden med låg omvandlingsgrad medan den är hög i t.ex. Muonionalustaområdet där berggrunden är starkt deformerad, omkristalliserad och innehåller rikligt med kvarts-fältspatådror.

De områden som markerats som metagabbro, metadiorit och amfibolit (mörkt grön färg i Figur 8) tillhör delvis Haparandasviten men även yngre intrusionssviter. I många fall är de mindre deformerade än omgivande berggrund.

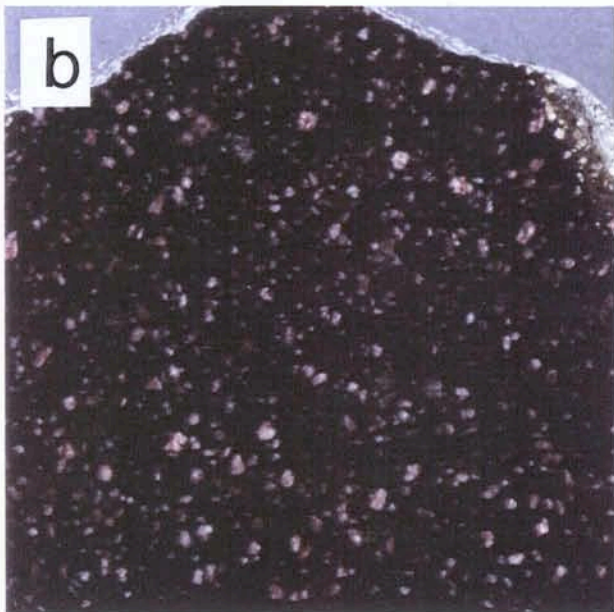
Övriga djupbergarter (ca 1880-1770 miljoner år)

De med röd färg på kartan, se Figur 8, markerade djupbergarterna är en åldersmässigt heterogen grupp som består av flera intrusiva sviter. Den äldsta sviten (tidigare kallad pertitmonzonitsviten) består av granit, syenit och monzonit. Den är likåldrig med de yngsta intrusionerna i Haparandasviten (ca 1880-1860 miljoner år) men skiljer sig från dessa i flera avseenden, t.ex. sammansättning, textur och relation till den tidiga regionala deformationen. Bergarterna är i allmänhet medel- till grovkorniga och massformiga. I kontaktzoner mellan basiska och sura intrusioner förekommer heterogena blandningszoner med bildning av hybridbergarter och områden rika på inneslutningar, se Figur 9f. Den största utbredningen har de i länets västra del och i ett område väster om Pajala.

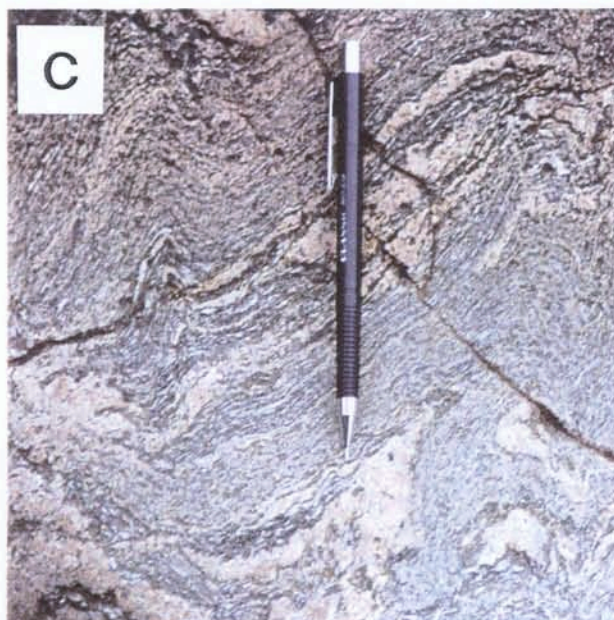
Den s.k. Sorselegraniten i länets sydvästligaste del har en likartad karaktär som den äldsta sviten men är betydligt yngre (ca 1800 miljoner år). Några mindre områden med likåldrig gabbro finns i graniten (grön färg på kartan i Figur 8). Sorselegraniten ingår i det transskandinaviska magmatiska bältet som har stor utbredning i mellersta och sydöstra Sverige.



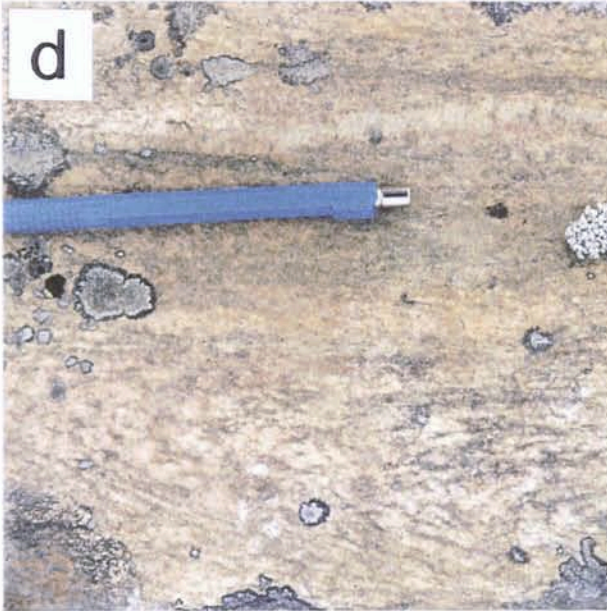
Figur 9a. Metabasalt med kuddlavestruktur (Kirunagrönsten). Valkeasiipivaara, NNV om Kiruna. Foto: S. Bergman.



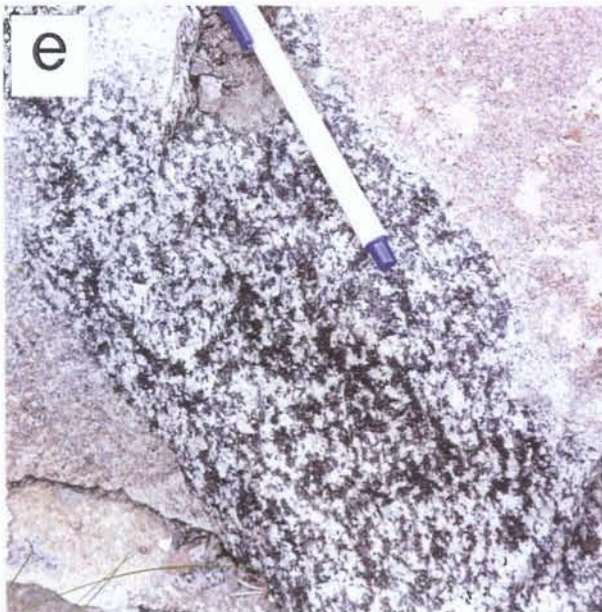
b. Ryodacit med strökor av fältspat (Arvidsjaurvulkanit). 1,5 km sydväst om Hej, Arvidsjaur. Bildens bredd motsvarar ca 11 cm. Foto: R. Hanning.



c. Ådrad och veckad gnejs av sedimentärt ursprung. Kalixälven, ca 50 km väster om Pajala. Foto: S. Bergman.



Figur 9d. Veckad gnejsig arkeisk djupbergart. Ca 20 km NNV om Övre Soppero. Foto: S. Bergman.



e. Folierad tonalit i Haparandaviten, intruderad av röd yngre granit (Lina-granit). Graniten är endast svagt folierad. 10 km sydost om Vittangi. Foto: S. Bergman.



f. Grovporfyrisk syenit med basisk inneslutning (hybridenklav). Ca 40 km VSV om Gällivare. Foto: S. Bergman.

Ytmässigt störst utbredning har granit och pegmatit i den s.k. Linagranitsviten (ca 1800 miljoner år). Typdrag för denna svit är en riklig förekomst av fragment från sidoberget som är mer eller mindre upplösta samt en snabb växling mellan granit och pegmatit. Det finns dock stora områden med homogen granit, t.ex. norr och nordost om Gällivare. Höga thoriumhalter utmärker detta område /33/. Graniten är medelkornig till fint medelkornig, i många fall ljus röd och fattig på mörka mineral, se Figur 9e. Generellt har den endast en svagt utbildad foliation förutom i plastiska deformationszoner där den är starkt deformerad (mylonitiserad).

Gångbergarter

Basiska gångbergarter förekommer särskilt rikligt i den arkeiska berggrunden längst i norr och i de äldre basiska metavulkaniska bergarterna. Förekomsten av s.k. albitdiabas (eller leucodiabas) är karakteristisk för detta område. Åldersbestämningar har gett resultat mellan ca 2200 och 1870 miljoner år. Även ultrabasiska gångar förekommer. Gångarna är decimeterbredda till flera hundra meter breda.

Gångar av diabas respektive diorit och gabbro är kända från kustområdet mellan Kalix och Piteå samt i trakten av Niemisel, i norra delen av Luleå kommun. I skärgården sydväst om Kalix finns ett stort antal kimberlitgångar, och amfibolitgångar är kända från Arvidsjaurområdet. Gångformigt uppträdande gabbro eller amfibolit av tillräcklig dimension att visas på kartan (mörkgrönt i Figur 8) finns väster och sydväst om Gällivare samt kring Muonionalusta.

Porfyriska gångar med sur eller intermediär sammansättning förekommer främst inom kustkommunerna samt i södra delen av Jokkmokks kommun. Gångar av granit och pegmatit är vanliga i och kring områden av Linagranit.

Berggrundens homogenitet

Berggrunden är sällan helt homogen över större områden och inhomogeniteter kan förekomma i form av t.ex. sprickor, gångbergarter och inneslutningar. Generellt sett är områden med djupbergarter mer homogena jämfört med områden med ytbergarter. I allmänhet är blottningsgraden i länet låg, vilket försvårar bedömningen.

Lokalt kan riklig förekomst av basiska gångbergarter orsaka heterogenitet i berggrunden, som t.ex. sydväst om Kalix (se ovan). De metasedimentära och metavulkaniska bergarterna är i hållskala vanligtvis mycket inhomogena genom sammansättningsvariationer och ådring. En generellt uppträdande ådring gör dock att bergarten i ett större perspektiv (100 m-skala) ofta kan betraktas som relativt homogen. På länskartan /24/ finns migmatitiserade områden och områden med granit- och pegmatitgångar markerade, varav de största finns i huvudsak i studieområdets randzoner: den norra och östra delen av Kiruna och Pajala kommuner, hela Övertorneå kommun, nordöstra delen av Kalix kommun, kustområdet kring Luleå, större delen av Piteå kommun, norra delen av Arjeplogs kommun samt Jokkmokk-Parjusområdet. Störst möjlighet att finna större homogena bergvolymmer torde finnas i djupbergarterna som är yngre än 1950 miljoner år.

5 Mineral- och bergartsresurser

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

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

Information om länets mineral- och bergartsresurser har huvudsakligen hämtats från Malm i Sverige del 2 /34/ och Nyttosten i Sverige /35/. Uppgifter finns även i Sundius /36/, Frietsch /37/, Martinsson & Perdahl /38/, Martinsson /39/, en inventering av industriella mineral och bergarter i Norrbottens län /40/, SGUs fyndighetsdatabas samt SGUs register över bergtäkter som är baserat på uppgifter från länsstyrelsen. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästarämbetet via SGUs Mineralkontor i Malå.

Översikt över mineral- och bergartsresurser

I urbergsdelen av Norrbottens län finns betydande malmförekomster inom norra Norrbottens och Arjeplogs malmprovinser /41/, se Figur 10. Länets malmfyndigheter utgörs huvudsakligen av järn- och kopparmalmer knutna till de metavulkaniska bergarterna.

För närvarande pågår malmbrytning i tre gruvor i urbergsdelen av Norrbottens län: järnmalm bryts i Kiruna och Malmberget, och kopparmalm i Aitikgruvan öster om Gällivare. Väster om urberget bryts blymalm i Laisvall vid fjällranden. Ett stort antal områden är beviljade för prospektering efter bl.a. koppar, guld, silver, zink, bly, volfram, molybden, nickel, krom och platina.

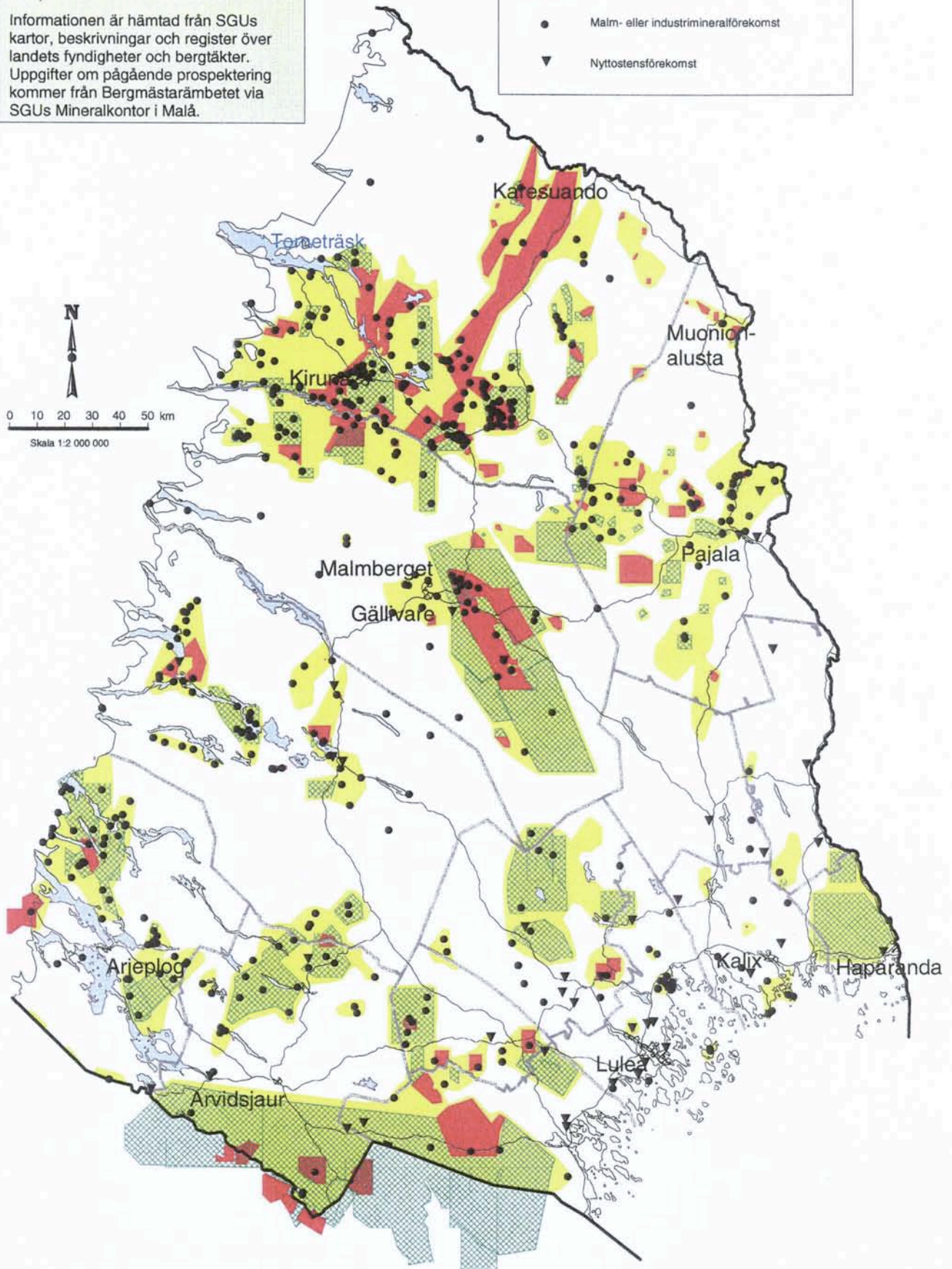
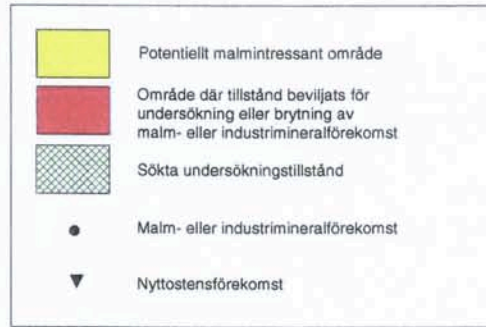
Dolomit bryts för närvarande i Masugnsbyn sydost om Vittangi och olivin bryts sydost om Malmberget, båda för användning till järnmalmsförädling. Produktion av krossberg sker idag på ett 40-tal platser i länet.

Metalliska mineralresurser

Järnmalmer finns av flera typer varav apatitjärnmalmerna i Kiruna och Malmberget är de ekonomiskt viktiga. Malmerna som mest består av magnetit (men även hematit) förekommer dels som långsträckta skivformiga kroppar, dels som ett oregelbundet ådernät i sidostenen, s.k. malmbreccia. De har bildats i samband med samma vulkanism som gett upphov till de sura till intermediära metavulkaniska bergarterna i sidostenen (ca 1880 miljoner år gamla). Andra större förekomster av apatitjärnmalm finns i områdena 30-50 km sydväst till nordväst om Kiruna, 30-35 km sydost om Kiruna och i Svappavaaraområdet väster om Vittangi.

Mineral- och bergartsresurskarta över urbergsdelen av Norrbottens län med malm-, industrimineral- och nyttostensförekomster, undersökningstillstånd och potentiellt malmintressanta områden.

Informationen är hämtad från SGUs kartor, beskrivningar och register över landets fyndigheter och bergtäkter. Uppgifter om pågående prospektering kommer från Bergmästarämbetet via SGUs Mineralkontor i Malå.



Figur 10. Mineral- och bergartsresurskarta över urbergsdelen av Norrbottens län (sammanställning november 1997)

Skarnjärnmalm uppträder i anslutning till de äldre metasedimentära bergarterna på höga stratigrafiska nivåer. De bäddformade magnetitkropparna följer lagringen i de omgivande bergarterna och är ofta knutna till karbonatbergarter. Malmen innehåller vanligen en del pyrit och magnetkis samt ibland obetydliga mängder kopparkis. Bland de åtföljande skarnmineralen dominerar tremolit-aktinolit, diopsid, flogopit och serpentin. Ett stort antal skarnjärnmalmfyndigheter förekommer på flera håll i Kiruna-, Svappavaara-, Vittangi-, Masugnsbyn-, Pajala- och Lannavaaraområdena. Mindre förekomster finns öster om Luleå och nära Boden. I flera av dessa områden finns även skiktade kvartsrika järnmalm. Titanjärnmalm med magnetit och ilmenit som malmmineral förekommer vid Akkavare VNV om Gällivare samt vid Jerfojaure NV om Arvidsjaur.

Sulfidmineralisering är vitt utbredd i Norrbottens läns urberg. Det viktigaste mineralet är kopparkis som uppträder på fyra olika sätt: som impregnationer, längs skikt och förskiffringsytor, i sprick- och brecciezoner, och i magmatiska bergarter. Sulfidmalmer finns främst i anslutning till järnmalmerna, särskilt skarnjärnmalmerna. Dessa stratiforma kopparmalmer är framför allt styrda av bergarternas skiktning. Mobilisering och sekundär anrikning har i många fall skett under metamorfos och deformation. De största sulfidförekomsterna som är eller nyligen varit i drift är Aitik öster om Gällivare, Viscaria väster om Kiruna, Laver väster om Älvsbyn, alla kopparmalmer, samt guld-kopparmalmen Pahtohavare sydväst om Kiruna.

Koppar-nickelförekomster är bundna till gabbromassiv. Kopparkis och nickelhaltig magnetkis förekommer som impregnationer i gabbrokropparna och som rikare ansamlingar i deras randområden. Typexempel på denna malmtyp finns vid Storavan väster om Arvidsjaur och söder om Kalix.

Manganmalmer finns vid Porjus och Ultevis, nordväst om Jokkmokk. Malmerna är lagrade och består av manganoxider och -silikater.

Molybdenförekomster är knutna till intrusioner av yngre granit och pegmatit. Malmmineralet molybdenglans finns som impregnationer i granitens randzoner och i pegmatit- och kvartsgångar. Fyndigheter finns kring Jokkmokk och nära fjällranden väster om Jokkmokk.

Icke-metalliska mineralresurser

Produktion av kvarts och fältspat från pegmatiter har förekommit på flera ställen under 1900-talet inom urbergsdelen av Norrbottens län. Förekomster där mer än 9000 ton kvarts har brutits är Flakaberget, Reunavare och Rautevaara i Jokkmokks kommun. Norrlands största fältspatgruva ligger på Kallaxö vid Luleå där 60 000 ton har uttogs fram till 1938. Övriga förekomster där mer än 1000 ton fältspat har brutits är Gruvberget nära Boden, Isaksberget öster om Överkalix samt Högheden och Mjöfjärden norr om Luleå. Vid Mjöfjärden har även ett par ton beryll utvunnits.

Kvartsit har brutits på två ställen i Kirunatrakten för användning till järnmalmförädling. Brytning av dolomit sker i Masugnsbyn sydost om Vittangi, och av olivin sydost om Malmberget, för samma ändamål. Grafitförekomster finns vid Vittangi, Masugnsbyn, öster om Nattavaara och i Rånedalen. Grafiten är finkornig och någon betydande produktion har aldrig skett. Apatit har tidvis utvunnits ur sligavfall från järnmalmsbrytningen i Malmberget.

Nyttosten

Inom urbergsdelen av Norrbottens län finns ett stort antal platser, särskilt i kustregionen, där nyttosten brutits för olika ändamål, se Figur 10. Huvuddelen av dessa är bergtäkter för krossberg och produktion sker idag på ett fyrtiotal platser. På 1960-talet bröts kristallin karbonatsten (marmor) för monumentsten i trakten kring Råneå norr om Luleå och vid Norvijaure väster om Jokkmokk.

Pågående prospektering

Urbergsdelen av Norrbottens län tillhör ett av de mest prospekteringsintressanta länen i landet och beviljade undersökningstillstånd (röd färg i Figur 10) finns på ett flertal platser. Dessa är i huvudsak beviljade för koppar- och guldprospektering, men även för silver, zink, bly, volfram, molybden, nickel, krom, platina, svavel, grafit och diamant. Det finns även ett stort antal ansökningar i länet om undersökningstillstånd hos bergmästarämbetet (grön färg i Figur 10) och hela länet omfattas för närvarande av en ansökan om undersökningstillstånd med avseende på diamanter.

Potentiellt prospekteringsintressanta områden

Potentiellt prospekteringsintressanta områden har markerats med gul färg i Figur 10. Dessa områden följer huvudsakligen de stråk med ytbergarter inom vilka undersökningstillstånd har sökts eller beviljats, och där mineraliseringar och tidigare kända malmförekomster uppträder. De flesta av dessa fyndigheter är små och har i många fall hittills varit utan större ekonomisk betydelse. Fyndigheterna visar dock att malmbildande processer har varit aktiva och att det därför finns förutsättningar för att framtida prospektering kan leda till öppnandet av nya gruvor i dessa områden. På senare tid har man funnit att vissa typer av malm, t.ex. guld i kvartsgångar och kvartsådror, är knutna till deformationszoner. Man kan således även betrakta deformationszoner som potentiellt malmintressanta. I Finland finns fyndigheter med krom-nickel-platinametaller i lagrade intrusioner. I urbergsdelen av Norrbottens län finns jämförbara lagrade intrusioner men några större metallfyndigheter är ännu inte påträffade där.

Det är vanligt att ansökningarna för undersökningstillstånd inledningsvis omfattar större områden och att dessa, i samband med att tillstånd beviljas, begränsas av det prospekterande företaget. Arealen malmpotentiell berggrund i länet kan därmed ha överskattats. I samband med diamantprospektering undersöks ofta först mycket stora områden varefter intresseområdet sedan reduceras till en bråkdel av det ursprungliga. Den nu aktuella ansökan om undersökningstillstånd med avseende på diamanter över hela länet påverkar därför inte definitionen av potentiellt prospekteringsintressanta områden.

6 Deformationszoner

Definitioner och metodik

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

En *formlinje* markerar en strukturell trend i terrängen. Formlinjer för planstrukturer som bildades under varma, plastiska förhållanden, d.v.s. förskiffring och bandning, har sammanställts genom interpolation av fältmätningar av sådana strukturer. Dessa mätningar har hämtats från SGUs publicerade berggrundskartor /7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 26, 27, 28, 29/, från pågående arbete vid SGU (S. Bergman, U. Bergström, B. Kathol, O. Martinsson, P. Weihed och A. Wikström) samt från opublicerade kartor. På grund av dålig blottningsgrad är befintlig fältinformation sparsam i större delar av undersökningsområdet. I dessa områden har formlinjerna kompletterats med tolkning av bandade anomalimönster på den flygmagnetiska kartan, se Figur 11, s.k. *magnetiska konnektioner*. Flygmätningarna i länet har utförts av SGU.

Formlinjer och magnetiska konnektioner återspeglar berggrundens storskaliga strukturriktningar. Sammanställning av dessa linjer ger ofta en antydning om förekomsten av plastiska skjuvzoner och mellanliggande domäner. Domänerna 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. Förekomsten av starkt förskiffrade bergarter och myloniter är karakteristisk för plastiska skjuvzoner och sådana bergarter har dokumenterats i vissa av de zoner som markerats i länet. Vid identifiering och begränsning av plastiska skjuvzoner har också flygmagnetiska data använts.

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

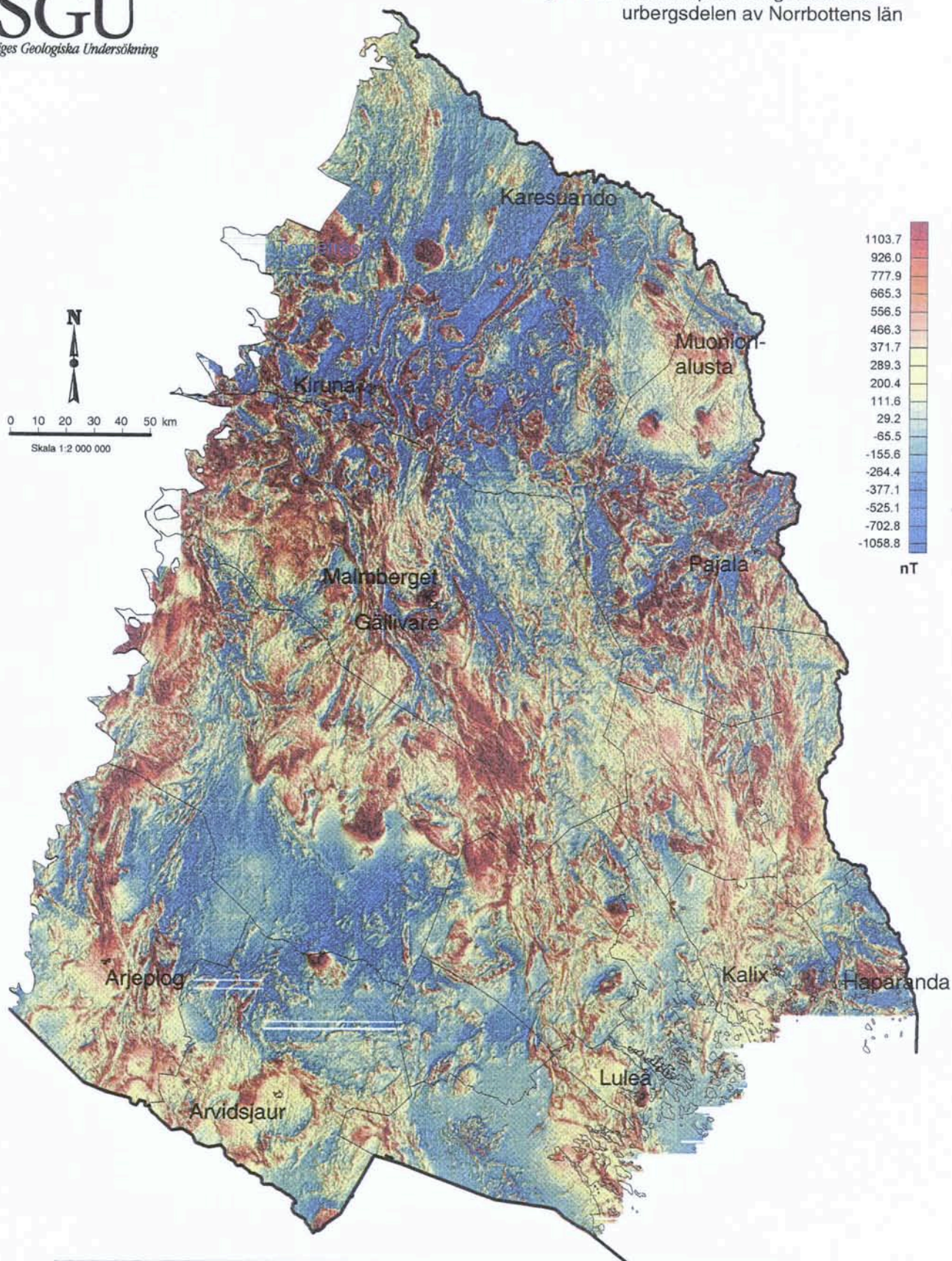
På kartan i Figur 13 visas tolkade sprickzoner och plastiska skjuvzoner samt formlinjer och magnetiska konnektioner. Vidare visas de yngsta djupbergarterna (1880-1770 miljoner år) som vanligtvis är massformiga. Kartan över deformationszoner, se Figur 13, återspeglar zoner som är tolkade i samband med denna studie. Endast ett fåtal av dessa zoner är något belagda (se nedan) och de flesta zonerna behöver kontrolleras i fält innan deras existens och utbredning kan fastställas. Kartan bör därför tills vidare betraktas med försiktighet.

Plastiska skjuvzoner

Berggrundens dominerande strukturriktningar varierar mellan NNO och NNV-NV i urbergsdelen av Norrbottens län. Lokalt förekommer områden med avvikande riktningar i samband med t.ex. veckstrukturer och intrusioner.

De största plastiska skjuvzonerna förekommer mellan Karesuando och Arjeplog och i en grupp mellan Pajala och Kalix. Båda dessa skjuvzoner fortsätter i NNO-lig riktning in i Finland. Enskilda zoner stryker NNO respektiv N-S och är upp till flera kilometer breda. Gruppen

Figur 11. Jordskorpans magnetfält över urbergsdelen av Norrbottens län



Jordskorpans magnetfält över urbergsdelen av Norrbottens län. Kartan baseras på data i 200 meters rutnät. Flygmätningarna har utförts av SGU.

Kartan visar det jordmagnetiska totalfältets variationer som huvudsakligen förorsakas av skiftande magnetiska egenskaper i berggrunden.

Norrbottens urberg präglas av ytterst heterogena magnetiska förhållanden. De äldre metavulkaniska och metasedimentära bergarterna framstår oftast som bandade mönster vars kontinuitet avbryts av i liten vinkel skärande deformationszoner.

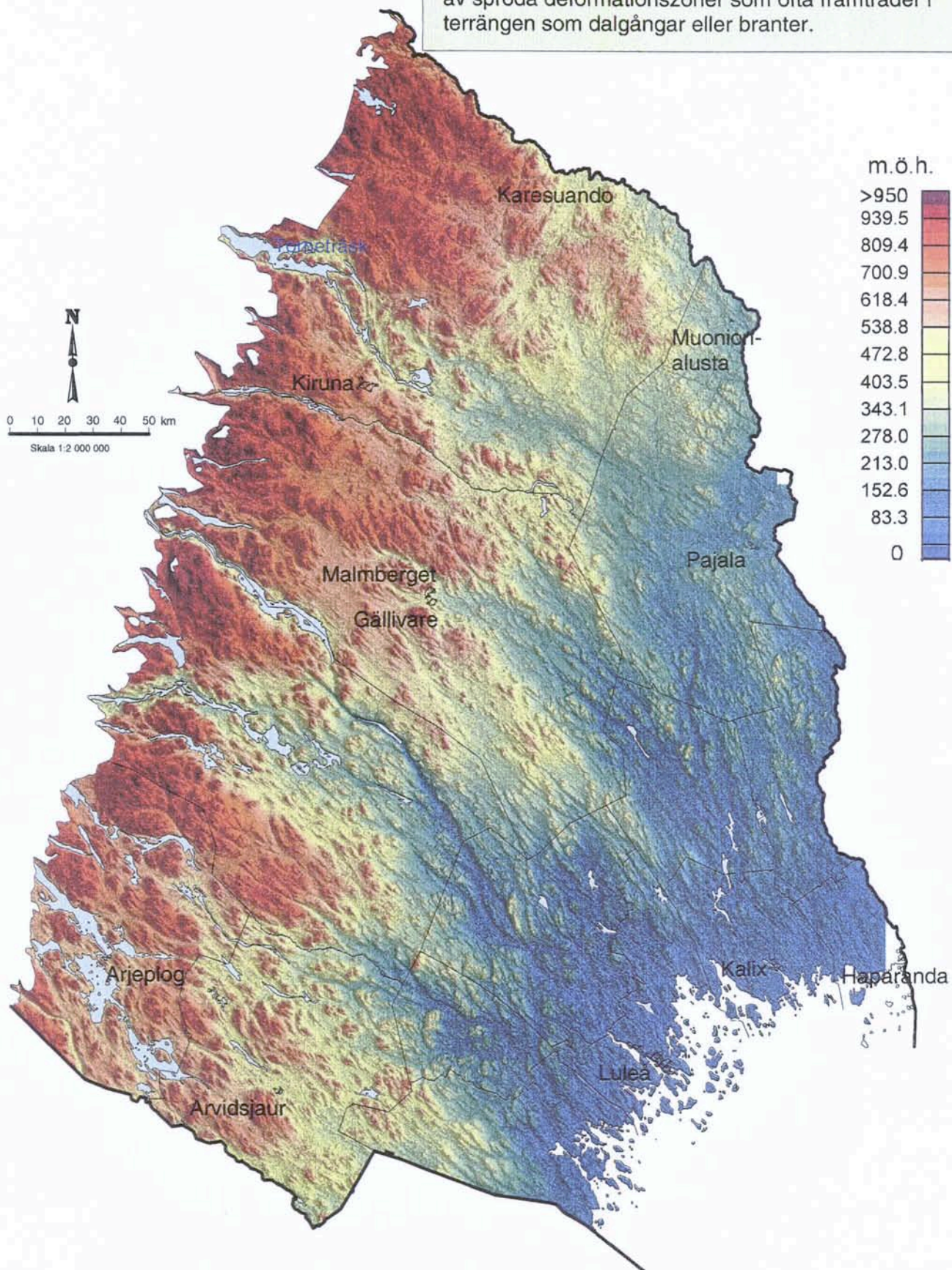
De kraftigaste anomalierna orsakas av järmmalmer och gabbroida djupbergarter som bildar antingen större magnetiskt bandade massiv (t.ex. sydväst om Pajala), eller ringformade intrusiva komplex (t.ex. söder om Muonionalusta och Dundret vid Gällivare).

På grund av den begränsade färgskalan framstår de låganomala ytorna magnetiskt lugnare än vad de, med hänsyn till den strukturella uppbyggnaden av berggrunden, i själva verket är.

Det mera homogena granitområdet nordost om Gällivare karakteriseras av svagt negativa anomalistråk. Dessa tolkas som sprickzoner.

Höjdreliëfkarta över urbergsdelen av Norrbottens län. Kartan baseras på data i 50 meters rutnät från Lantmäteriverkets databas.

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



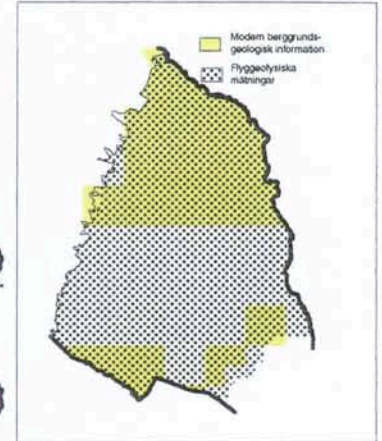
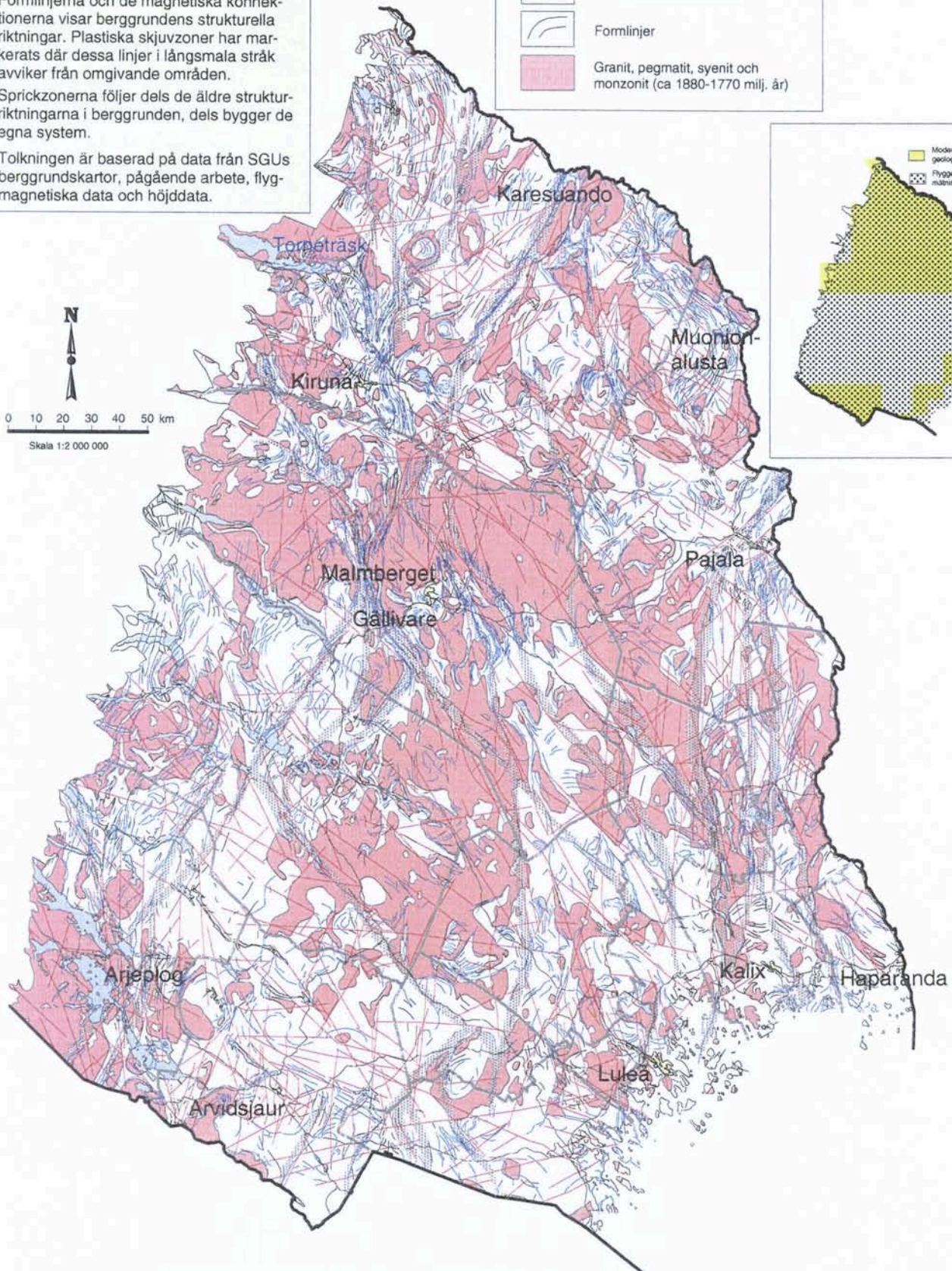
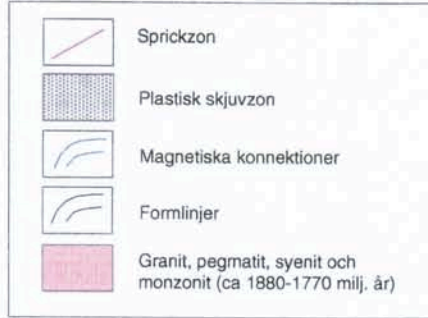
Figur 12. Höjdreliëfkarta över urbergsdelen av Norrbottens län

Deformationszonskarta över urbergsdelen av Norrbottens län med formlinjer, magnetiska konnektioner, tolkade sprickzoner och plastiska skjuvzoner samt områden med granit, pegmatit, syenit och monzonit (ca 1880-1770 milj. år).

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

Sprickzonerna följer dels de äldre strukturriktningarna i berggrunden, dels bygger de egna system.

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



Figur 13. Deformationszonskarta över urbergsdelen av Norrbottens län

av zoner mellan Pajala och Kalix är kända under flera namn: "Baltic-Bothnian megashear" /42/, "Pajala shear zone" /43/ eller "Bottniska skjuvzonen" /22/. På många ställen syns tydliga inböjningar av formlinjer och konnektioner in mot skjuvzonerna, t.ex. mellan Gällivare och Kiruna och mellan Pajala och Kalix. Flera parallellzoner till Karesuando-Arjeplogskjuvzonen finns väster om Karesuando. På ett flertal ställen har myloniter eller mycket starkt förskiffrade bergarter dokumenterats i samband med fältundersökning längs dessa zoner.

En annan viktig grupp av regionala plastiska skjuvzoner stryker i NV- till NNV-lig riktning. Mylonitiska bergarter har observerats i några av skjuvzonerna, t.ex. väster om Kiruna, öster om Gällivare samt i de två zonerna i Kiruna kommuns sydöstra del. I övrigt är dessa plastiska skjuvzoner dåligt belagda i fält.

Sprickzoner och förkastningar

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

Sprickzonernas orientering inom urbergsdelen av länet domineras av tre olika riktningar, N-S till NNO, NV till VNV och ett system med riktning O-V till ONO som främst finns i länets norra och södra delar, se Figur 13. Vissa NV-liga sprickzoner följer äldre plastiska skjuvzoner medan många andra verkar geografiskt oberoende av dessa. Sådana sprickzoner finns t.ex. kring Arvidsjaur, väster om Jokkmokk samt söder och väster om Muonionalusta.

Generellt sett ger Figur 13 intrycket att berggrunden i vissa delar av länet är mindre uppsprucken än övriga delar. Detta gäller t.ex. områdena söder om Kiruna och Gällivare, mellan Gällivare och Pajala, Älvsbyns kommun, den västra delen av Bodens kommun och i Kalixområdet. Denna slutsats kan dock vara skenbar, då man måste beakta att jordtäcket mäktighet kan vara betydande i vissa områden, varför höjddata är mindre användbart, samt att flygmagnetiska data inte lika tydligt visar sprickzoner i lågmagnetiska områden. En mer ingående analys måste göras för att kontrollera dessa möjligen sprickfattiga områden.

De sen- eller postglaciala förkastningarna, de s.k. Pärvie- och Lansjärvsförkastningskomplexen samt den s.k. Laimio-Suijavaaraförkastningen, beskrivs i nästföljande kapitel. I tolkningen som redovisas i Figur 13 har Lansjärvsförkastningskomplexet och delar av Laimio-Suijavaaraförkastningen identifierats, medan Pärvieförkastningskomplexet inte tydligt framträder i höjddata och flygmagnetiska data i den skala som här används.

Deformationszoner i tid och rum

De äldsta deformationszonerna i urbergsdelen av Norrbottens län är de plastiska skjuvzonerna i vilka deformationen förmodligen skett vid flera tillfällen. Skjuvzonen som följer de arkeiska bergarternas östra gräns sydväst om Karesuando var troligen aktiv för ca 2500 miljoner år sedan, i samband med den tidigaste basiska vulkanismen. I förlängningen av denna plastisk skjuvzon mot SSV är den ca 1800 miljoner år gamla graniten påverkad. Det är dock okänt hur

lång tid efter 1800 miljoner år sedan som plastisk deformation fortsatte. Väster om Kalix har påvisats att deformation skedde i Pajala-Kalixskjuvzonen för ca 1880 miljoner år sedan /44/. Vissa delar av denna skjuvzon har genomgått deformation och metamorfos även för ca 1800 miljoner år sedan /45, 46/.

De plastiska skjuvzonerna bildades på ca 10-15 kilometers djup i jordskorpan. Som framgår av Figur 13 förekommer sprickzoner längs flera av de plastiska skjuvzonerna, vilket tyder på att dessa reaktiverats vid senare spänningspåverkan när bergarterna låg högre upp i jordskorpan.

Flera av de NV-liga sprickzonerna påverkar även fjällberggrunden i väster vilket tyder på att spröd deformation i denna riktning har pågått senare än för ca 400 miljoner år sedan. För övrigt är den exakta åldern av sprickzonerna i urbergsdelen av länet svårbestämd. De bör ha bildats under den långa tidsrymden från ca 1800 miljoner år till slutet av den senaste istiden (se nedan), och rörelser har förmodligen skett åtskilliga gånger längs vissa förkastningar.

7 Nedisningar, jordarter, jorddjup samt sen- eller postglaciala förkastningsrörelser

Kunskap om länets jordarter och kvartära utveckling, d.v.s. under tiden från ca 2 miljoner år sedan till nutid, kan inhämtas från olika källor. Som ett resultat av det s.k. Nordkalottprojektet finns kartor som belyser olika aspekter av länets kvartärgeologi /47, 48, 49, 50, 51/. Dessa kartor täcker större delen av länet och kompletteras i söder av pågående arbeten inom det s.k. Mittnordenprojektet. Landskapet Norrbotten, d.v.s. den östra delen av länet, omfattas av en jordartgeologisk översiktskarta i skala 1:200 000 med beskrivning /52/. Inom SGUs Serie Ak finns utgivna kartor /53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67/ och pågående arbeten (N. Dahlberg, H. Dittrich, R. Lagerbäck, J. Norrlin, G. Ransed, M. Sundh, B. Sundqvist, J. O. Svedlund och J. E. Wahlroos) inom de södra delarna av länet och i Gällivareområdet, se Figur 2. Kartorna trycks i skalorna 1:50 000 respektive 1:100 000. Viktig information om länets kvartärgeologi finns också i olika publikationer och i opublicerat arbetsmaterial. Slutligen kan nämnas Lindström m.fl. /25/ och bandet "Berg och Jord" i Sveriges Nationalatlas /68/ som belyser allmänna geologiska principer och bl.a. den regionala kvartärgeologin inom olika delar av Sverige.

Nedisningar, isfria perioder samt postglacial utveckling

Under kvartärperioden har upprepade istider inträffat och isarna har brett ut sig över stora områden. Mellan istiderna inträffade värmeperioder, interglacialer, med ett klimat liknande det som råder i dag. Även under istiderna förekom emellertid perioder med mindre strängt klimat, interstadialer, då isarna tillfälligt minskade i storlek eller smälte bort helt och hållet. Hur många isar som i Norrbotten växt till och åter smält bort, helt eller delvis, är inte känt. Huvuddragen hos den senaste istiden, Weichselistiden, är någorlunda väl kända men äldre nedisningsskeden är höljda i dunkel.

Under Weichselistiden, som började för ca 120 000 år sedan, smälte inlandsisen bort under två perioder med något varmare klimat. Klimatet under dessa interstadialer var emellertid betydligt kallare än i dag och vegetationen var närmast tundraartad /69/. Under den senaste interstadialen var klimatet åtminstone tidvis extremt hårt, permafrost rådde och en intensiv frostsprängning rösade berghällarna /70/.

Varje ny inlandsis eroderade i större eller mindre grad tidigare isars avlagringar och avsatte nya jordarter och spår i landskapet. En stor del av de avlagringar och former som förekommer

i Norrbotten härrör ändå från den första av de tre Weichselisarna och har således överlevt två senare nedisningar. Exempel på detta är de vidsträckta moränbacklandskapen i det inre av länet och stora drumlinområden i öster /69, 71/. Sannolikt har de senaste två isarna under långa tider varit fastfrusna vid underlaget och inte förmått erodera tidigare avsatta jordlager.

Den senaste inlandsisen anses ha smält bort från det nuvarande kustområdet för lite mer än 9 000 år sedan och från inlandet ytterligare några hundra år senare. De sista isresterna antas ha legat inom högfjällsområdet /68/. Vartefter inlandsisen smälte, började den av ismassan nedtryckta jordskorpan att höja sig. Som en följd av en snabb isavsmältning höjde sig landet först mycket snabbt, men sedan isen väl försvunnit i allt långsammare takt. Den nutida landhöjningen är närmare 1 m/100 år i kustområdet men sjunker succesivt inåt landet, för att i fjällområdet vara ungefär hälften så stor. Under isavsmältningsskedet var denna gradient sannolikt än mer accentuerad eftersom inlandet då tyngdes ned längre av kvardröjande is. Detta kan möjligen ha bidragit till att utlösa de förkastningsrörelser som inträffade i samband med att inlandsisen försvann.

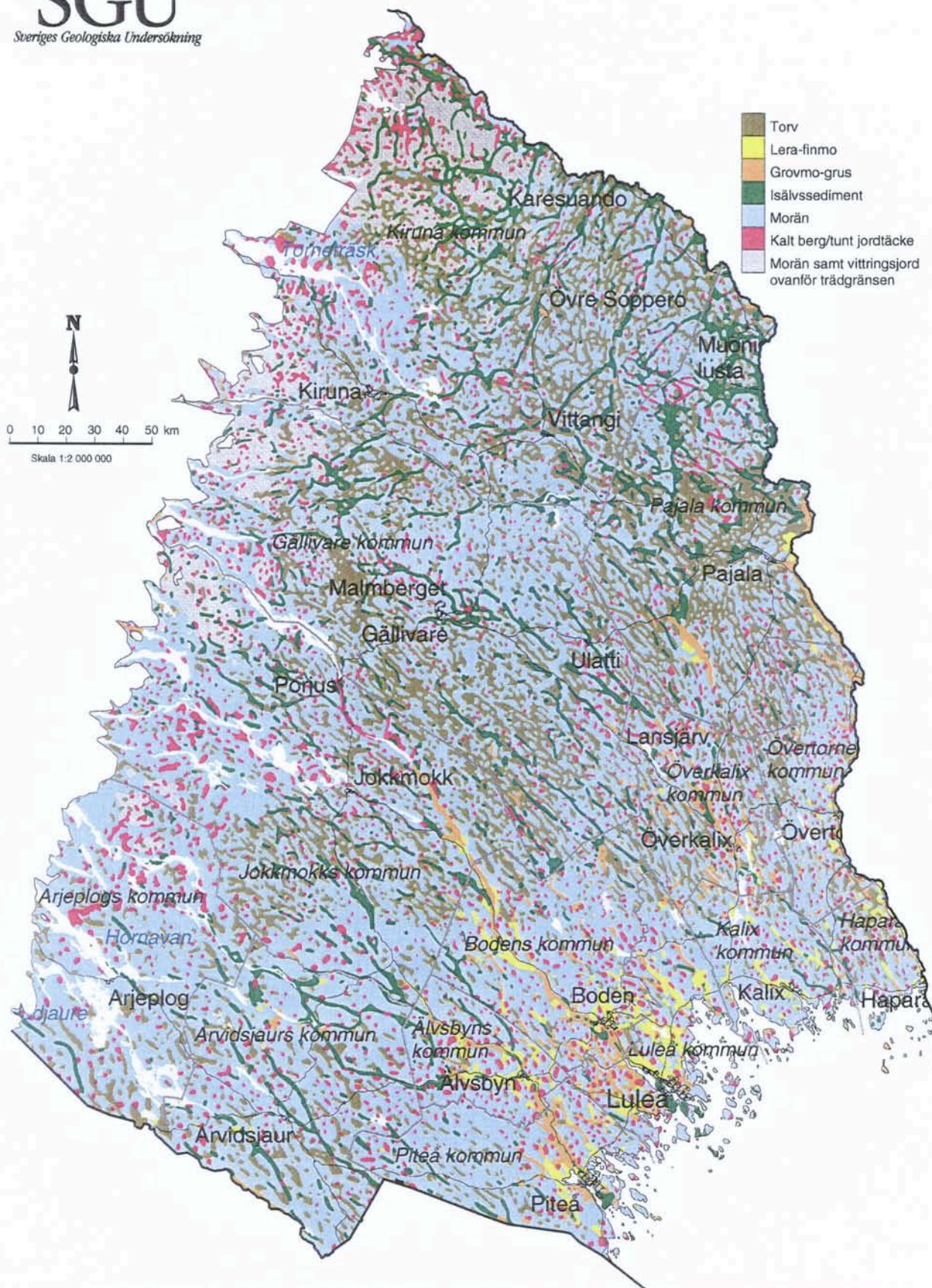
Under tiden närmast efter isavsmältningen täckte den forntida Bottenviken stora delar av det nutida kustområdet och flikade djupt in i landet utmed älvdalarna. Bottenviken, liksom Östersjön, genomgick vid den tiden ett sötvattenstadium (Ancylussjön) och vattnet var således inte bräckt som i dag. Den högsta nivå som det dåtida "havet" nått till i terrängen kallas högsta kustlinjen. Högsta kustlinjen (HK) sjunker från ca 230 m.ö.h. i länets sydöstra del till ca 160 m i Luleälvens dalgång och ca 170 m i Tornedalen. Det bör dock påpekas att den totala landhöjningen varit väsentligt större än vad som kan utläsas av HK eftersom landet började höja sig redan innan isen smält bort helt och att dessutom världshavens nivå vid tiden för isavsmältningen låg lägre än vad den gör i dag.

Jordarter och jorddjup

Jordartsfördelning och jorddjup

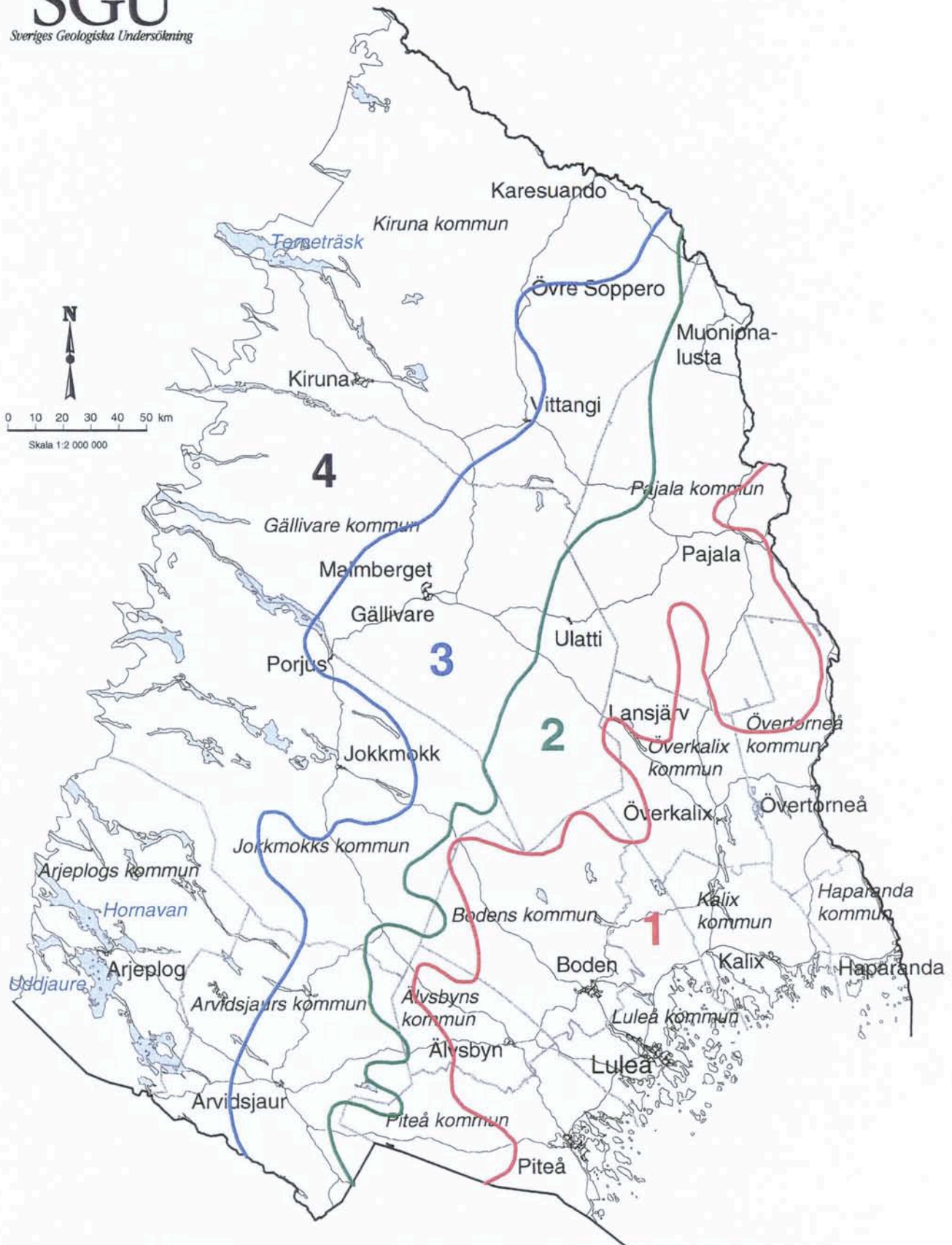
Jordartsfördelningen framgår av översiktskartan, se Figur 14. Från jordartsgeologisk synpunkt kan urbergsdelen av Norrbottens län grovt indelas i fyra delområden med olika karaktär, se Figur 15. Avgränsningen av de olika delområdena är delvis mycket naturlig och enkel att göra eftersom t.ex. moränmorfologin på vissa håll helt byter karaktär inom korta avstånd. Detta gäller t.ex. den mellersta delen av gränsen mellan delområdena 2 och 3, se Figur 16a. På andra håll är övergångarna mera diffusa eftersom moränmorfologin förändras succesivt, som t.ex. i övergångszonen mellan områdena 3 och 4 och avgränsningarna är där mer godtyckliga.

Delområde 1 omfattar de delar av länet som ligger under högsta kustlinjen (HK), d.v.s. den sydöstra, kustnära delen av länet tillsammans med mer eller mindre djupa flikar in i landet utmed älvdalarna. Området karaktäriseras till stor del av de erosions- och sedimentationsprocesser som verkade i anslutning till det postglaciala "havet". Moränen dominerar jordartsbilden men hållmarker och olika typer av vattenavsatta sediment har här generellt sett



Jordarter inom urbergsdelen av Norrbottens län. Kartan är ett utsnitt av jordarts-kartan i Sveriges Nationalatlas, Berg och jord och redovisar huvuddragen av länets jordartsgeologi. 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 många av åsarna.

Figur 14. Översiktsskarta över hållmarker och jordarter inom urbergsdelen av Norrbottens län



Jordartsområden inom urbergsdelen av Norrbottens län. Indelningen grundas främst på moränens morfologi samt utbredningen av svall-sediment, finkorniga sediment och hållmarker. Se vidare i texten angående de olika områdenas karaktär.

Figur 15. Jordartsområden inom urbergsdelen av Norrbottens län

större utbredning än inom områdena ovanför HK. Torvmarker upptar lokalt relativt stora arealer men myrarna är i de kustnära, lägre delarna av terrängen oftast grunda.

Delområde 2 domineras av morän och torvmarker men uppvisar också ett betydande inslag av isälvsavlagringar. Moränen har mestadels lugna ytformer och är i stor utsträckning utformad som drumliner, d.v.s. mjukt formade, långsmala ryggar, utdragna i isrörelseriktningen. Terrängen närmast västerut, delområde 3, karaktäriseras i stället av moränbacklandskap med starkt brutna och oroligt utformad morfologi. Torvmarksarealen är betydande även här men myrarna är i stor utsträckning insprängda mellan moränkullarna och utbildar tillsammans med dessa ett mosaiklandskap. Vissa delar av området är mycket hållfattiga. Isälvsediment har lokalt stor utbredning.

Inom delområde 4, som sträcker sig upp emot fjällranden, blir moränformerna återigen mjukare och moränen utbildar vanligtvis ett relativt jämnt täcke ovanpå berggrunden. Jordtacket är sannolikt tunnare än inom övriga delområden och utbredningen av kalt berg större. Torvmarker täcker lokalt stora arealer, framförallt i de lägre, östra delarna men har generellt sett mindre omfattning än inom delområdena 2 och 3. Isälvsavlagringar upptar relativt stora arealer i norr, där de mestadels är relativt finkorniga (sandiga), men mindre vanliga i söder.

Speciella moränformer är knutna till de olika områdena. Inom delområde 1 är t.ex. vissa typer av moränryggar och moränkullar mycket vanliga men förekommer knappast alls inom övriga delar av länet. Inom delområde 2 är moränen i stor utsträckning utformad som drumliner. Inom delområde 3 däremot karakteriseras landskapet av starkt brutna former som antyder en stagnant avsättningsmiljö. Inom delområde 4 är moränen i huvudsak utbildad som ett mer eller mindre jämnt täcke utan speciella ytformer.

Figur 17 visar jordtäckets mäktighet i borrade brunnar. Man kan här ana att en viss regional jordmäktighetsvariation föreligger inom länet. Till exempel finns det inga jorddjup över 40 m registrerade inom de västra, norra och nordöstra delarna av länet. Det bör dock påpekas att brunnarna är knutna till bebyggelse och därmed inte representerar ett statistiskt godtagbart underlag för att beräkna generella jorddjup inom länet. Eftersom bebyggelsen är koncentrerad till lägre liggande terräng redovisar sannolikt brunnsuppgifterna i allmänhet större jorddjup än de genomsnittliga. Uppe på höjderna är jordtacket oftast mycket tunt eller obefintligt.

Det kala bergets utbredning kan tillsammans med topografin och moränens utformning ge viss vägledning vid bedömning av jordtäckets mäktighet. Speciellt stora jorddjup kan förväntas i dalgångar, i kustområdena och inom delar av moränbacklandskapen i det inre av länet. Anmärkningsvärt stora jorddjup är noterade främst utmed de större älvarna i de kustnära områdena, t.ex. utmed Luleälven mellan Boden och Luleå där jorddjup större än 60 m har uppmätts på sex platser. Även uppströms Luleälven, mot Edefors och Vuollerim, har noterats större djup än 60 m, liksom vid Kalix, Niemisel och Älvsbyn.

Nedisningarnas avlagringar

Moränen är den vanligaste jordarten inom länet och underlagrar oftast övriga förekommande jordarter. Moräntäcket tunnare ut upp mot höjderna och de flesta bergblottningarna återfinnes på bergstoppar och i stup. Hällområden i lägre liggande terräng har oftast uppkommit genom isälvserosion. Under HK är den areella andelen håll betydligt större till följd av att moränkappan där till stora delar är bortsvallad på höjderna. Detta åskådliggörs vackert på de s.k. kalottbergen där HK markeras av den övre gränsen för en kalspolad zon, se Figur 16b. Där svallningen varit mindre intensiv har endast moränens ytskikt påverkats av svallningen.

Moränen är vanligtvis sandig-moig till moig och har oftast låg till måttlig blockhalt i markytan. Inom vissa områden finns ett stort inslag av vattensorterat material i moränbäddarna. Detta är speciellt vanligt i kustområdet där den s.k. Kalixpinnmon förekommer inom stora områden. Kalixpinnmon består till mycket stor del av moiga sediment, primärt avsatta i vatten men i varierande grad tektoniserade av inlandsisen. Moräntypen förekommer i såväl kullar och ryggar som i terräng utan utpräglad morfologi. Blockhalten i markytan är ofta hög.

Komplex moränstratigrafi, d.v.s. två eller fler moränbäddar med olika utseende och sammansättning ovanpå varandra, förekommer allmänt inom länet, se Figur 16c. De olika moränbäddarna är avsatta under olika nedisningsskeden, oftast av olika inlandsisar, och belyser den mycket måttliga påverkan som de senaste två isarna haft på landskapet. Speciellt den senaste inlandsisen har lämnat stora områden praktiskt taget orörda och dagens markyta är där i stort sett densamma som innan isen växte till.

Veikimoränen utgör ett exempel på avlagringar som avsatts av en äldre inlandsis och överlevt senare isars påverkan. Veikimoränen har en speciell morfologi och karakteriseras av rundade, platåliknande kullar, ofta åtskilda av torvmarker och mindre sjöar, se Figur 16a. Denna moräntyp upptar stora arealer inom delområde 3, se Figur 15. Förutom mer normalt moränmaterial utgör ofta vattensorterade sediment, allt ifrån silt till grovt grus, ett betydande inslag. Ytblockigheten är oftast låg.

När inlandsisarna smälte frigjordes stora mängder smältvatten som sköljde med sig material från såväl isen som från underliggande morän. Under transporten i isälvarna avrundades materialet och sorterades efter kornstorlek. Block, stenar, grus och sand avlagrades efterhand längs kanaler och håligheter i isen för att bilda isälvsavlagringar i form av åsar och kullar när isen smält bort. Avsattes lasten utanför isranden bildades flackare sand- och grusfält. Isälvarna följde oftast dalgångarna men framförallt i de norra och nordöstra delarna av länet finns många exempel på åsar och andra isälvsavlagringar i flack terräng. Det är också i dessa områden som isälvsavlagringarna upptar störst arealer. Liksom för moränen gäller att många åsar och andra isälvsavlagringar härrör från äldre nedisningar och de är därför ofta överlagrade av ett mer eller mindre mäktigt moräntäcke från senare inlandsisar.

Det finkorniga slammet i isälvarna avsattes som silt och lera i hav och issjöar. Siltiga sediment avsattes tämligen snart efter att strömhastigheten avtagit och återfinnes därför i nära anslutning till de mer grovkorniga sedimenten. I de större dalgångarna under HK kan silten uppnå betydande mäktigheter och överlagras dessutom ofta av älvsand. Den glaciala leran avsattes på djupt vatten, längre bort från isälvsavlagringarna och överlagras ofta på lägre nivåer av lera och silt som avsatts senare i det postglaciala havet.

Jordartsbildning under tidigare isfria perioder

Avlagringar från tidigare isfria perioder, d.v.s. interglacialer och interstadialer, har påträffats på många platser inom länet. Oftast rör det sig om mer eller mindre starkt organiskt förande, vattenavsatta sediment. Avlagringarna har ingen större areell utbredning men är viktiga för förståelsen av den geologiska utvecklingen och för att kunna bedöma de olika nedisningarnas betydelse för jordartsbildningen. Även periglaciala företeelser, som t.ex. frostsprängda berg hållar, permafrostpåverkade jordlager och vindslipade block utgör viktiga hjälpmedel vid rekonstruktionen av den senkvartära utvecklingen. Dessa företeelser härrör från den s.k. Tändöinterstadialen, d.v.s. den isfria period som föregick den senaste nedisningen. Efter-

som de periglaciala fenomenen uppträder allmänt inom stora områden i Norrbotten kan man dra slutsatser om den senaste isens begränsade betydelse för jordartsbildningen.

Postglacialt bildade jordarter

Efter att den senaste inlandsisen smälte bort har viss nybildning av jordarter skett. Den helt dominerande av dessa är torven, som består av mer eller mindre förmultnade mossor och andra växtdelar som bevarats i fuktig och syrefattig miljö. Torvmarkerna (myrarna) har uppkommit genom igenväxning av sjöar eller genom försumpning av terräng där grundvattnet ligger nära markytan.

De största myrrealerna och sannolikt också de största genomsnittliga torvmäktigheterna återfinnes inom delområdena 2 och 3 enligt Figur 15. Bra underlag för att bedöma torvmarksdjupen saknas. Erfarenheter från borrhningar i de inre delarna av länet antyder att djup mellan två och fyra meter är vanliga men att mäktigheter uppemot 8-10 m förekommer (R. Lagerbäck, opublicerat material). På lägre nivåer i kustområdet är mäktigheterna generellt sett mindre, vilket förklaras av att landet stigit upp ur havet relativt sent och att torvbildningsprocessen därför inte pågått lika lång tid som i inlandet.

Postglaciala vattenavsatta sediment återfinnes främst under högsta kustlinjen, dels i form av svallsediment, dels i form av älvsediment. Grövre svallsediment, d.v.s. klapper, grus och sand, förekommer framförallt i kraftigt bruten terräng, speciellt i exponerade lägen upp mot HK men även ut mot den nutida kusten. De finkorniga sedimenten, d.v.s. silt och lera, förekommer främst på lägre nivåer och mestadels i flack terräng. De är i stor utsträckning svartfärgade av järnsulfid och kallas då svartmocka. Oxidation av svavlet i svartmockan, orsakad av utdikning eller torrläggning som en följd av landhöjningen, ger upphov till mycket sura jordar. Den postglaciala leran är mycket dåligt konsoliderad och ger vid schaktningsarbeten upphov till stabilitetsproblem.

Även utmed älvar och åar har en betydande nybildning av jordlager ägt rum under postglacial tid. Inte minst gäller detta utmed de vattendrag vars dalgångar rymmer större sandiga och siltiga isälvsavlagringar, t.ex. deltaformationer vid och strax under HK. Dessa sediment har delvis eroderats och succesivt förflyttats nedströms vartefter landet stigit ur havet och utbildar i dag sönderskurna deltaplan utmed dalförena.

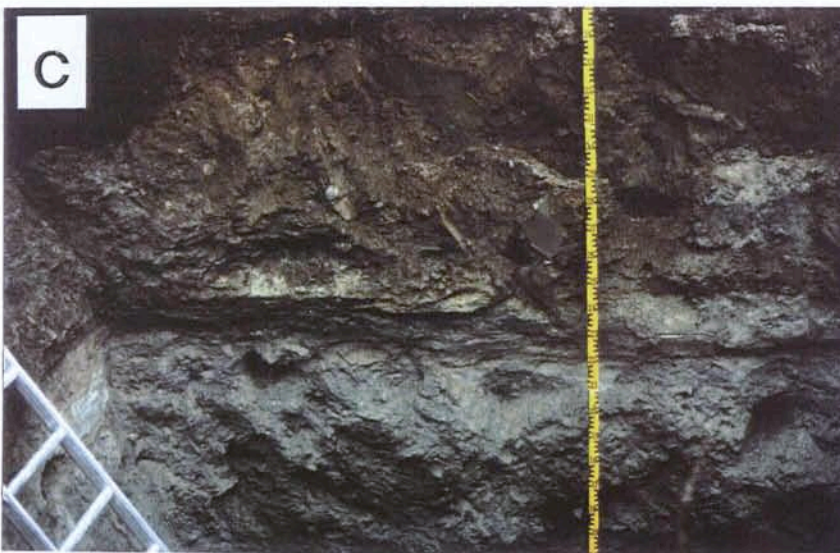
Vindomlagrade sediment förekommer på många håll inom länet men mest i de nordliga och nordöstra delarna. Det är mestadels fråga om sandiga isälvsavlagringar som eroderats av vinden och omlagrats till flygsanddyner ovanpå eller utanför moderavlagringen.



Figur 16a. Landskap norr om Kangos i nordöstra Norrbotten. Lainioälven, som löper rakt över bilden, avgränsar två helt olika terrängtyper. I förgrunden s.k. veikimorän som avsatts av en stagnant, bortsmältande is och på andra sidan älven drumliner, d.v.s. morän - "limpor" som avsatts av en is i rörelse. Såväl veikimoräner som drumlinerna bildades under den första Weichselnedisningen och har överlevt två senare nedisningar. Foto R. Lagerbäck.



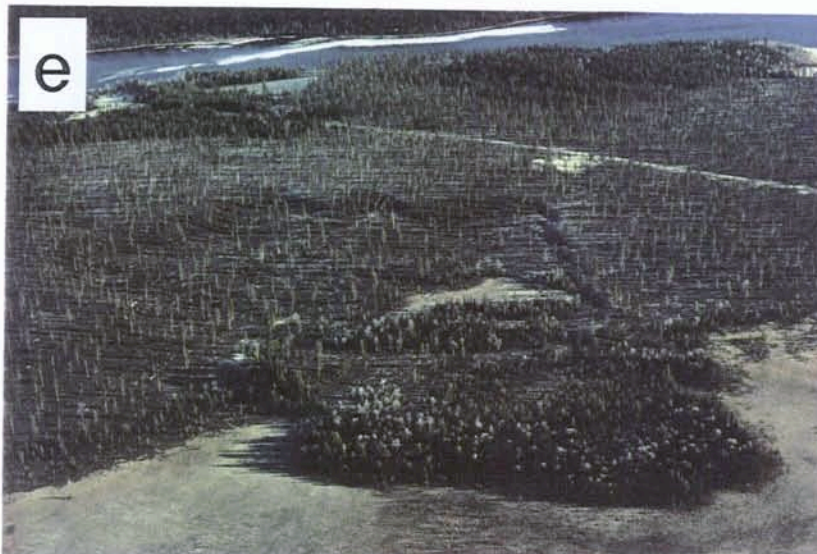
Figur 16b. N. Hatten 2 mil NV om Överkalix är ett välutbildat s.k. kalottberg. Högsta kustlinjen (HK) markeras tydligt av den övre gränsen för den kalspolade zonen. Foto R. Lagerbäck.



Figur 16c. Dubbla moränbäddar i Pajalatrakten. Moränbäddarna har avsatts av olika inlandsisar och sedimentlagret som skiljer dem åt representerar sannolikt avsmältningsskedet av den äldre nedisningen. Foto R. Lagerbäck.



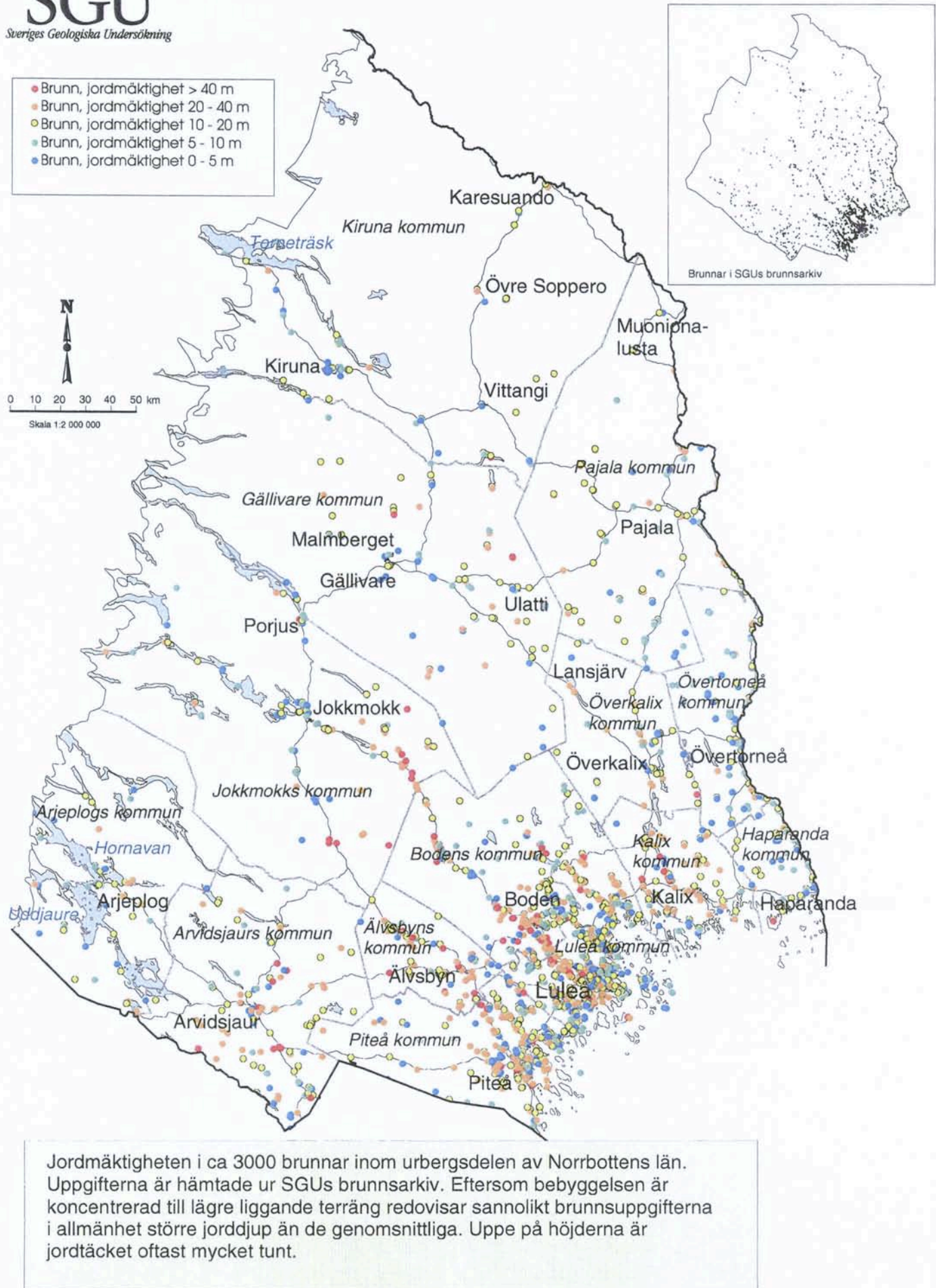
Figur 16d. Ett parti av den postglacialt utbildade Pär-vieförkastningen i drum-liniserad terräng ca 7 mil norr om Kiruna. Förkastningen är här uppsplittrad i en närmare 10 m hög huvudförkastning och två lägre förkastningsbranter. Samtliga klipper tvärt av drumlinerna som härrör från den senaste nedisningen. Foto R. Lagerbäck.



Figur 16e. Jordskred i flack moränterräng norr om Lansjärv. Ungefär 0,5 milj. m³ sandig-moig, normalt ej skredbenägen morän har gett sig iväg utför den mycket svaga sluttningen. C-14 datering av torvmarken inne i skredärret ger skredet en minimiålder på drygt 8000 år. Starka jordbävningar som åtföljde de tidigt postglaciala förkastningsrörelserna är med all sannolikhet den utlösande faktorn för detta och andra skred inom regionen, se också Figur 18. Foto R. Lagerbäck.



Figur 16f. Exempel på mycket starkt deformerade sandig-siltiga sediment i Lansjärvområdet. Störningarna tolkas som seismiskt orsakade. Foto R. Lagerbäck.



Figur 17. Jordmaktighet i Norrbottens län (sammanställning december 1997)

Sen- eller postglaciala förkastningsrörelser och jordskalv

Ett flertal sen- eller postglacialt utbildade förkastningsbranter har dokumenterats i norra Sverige /se t.ex. 72, 73/ och inom angränsande delar av Finland /74/ och Norge /75/. Förkastningslinjernas läge och utsträckning i urbergsdelen av Norrbottens län framgår av Figur 18. Befintliga data antyder att förkastningsrörelserna inträffat under isavsmältningsskedet för ca 9 000 år sedan eller kort därefter. I Lansjärvområdet har det entydigt kunnat visas att rörelserna utlösts mycket snabbt och i nära anslutning till den lokala isavsmältningen /76/.

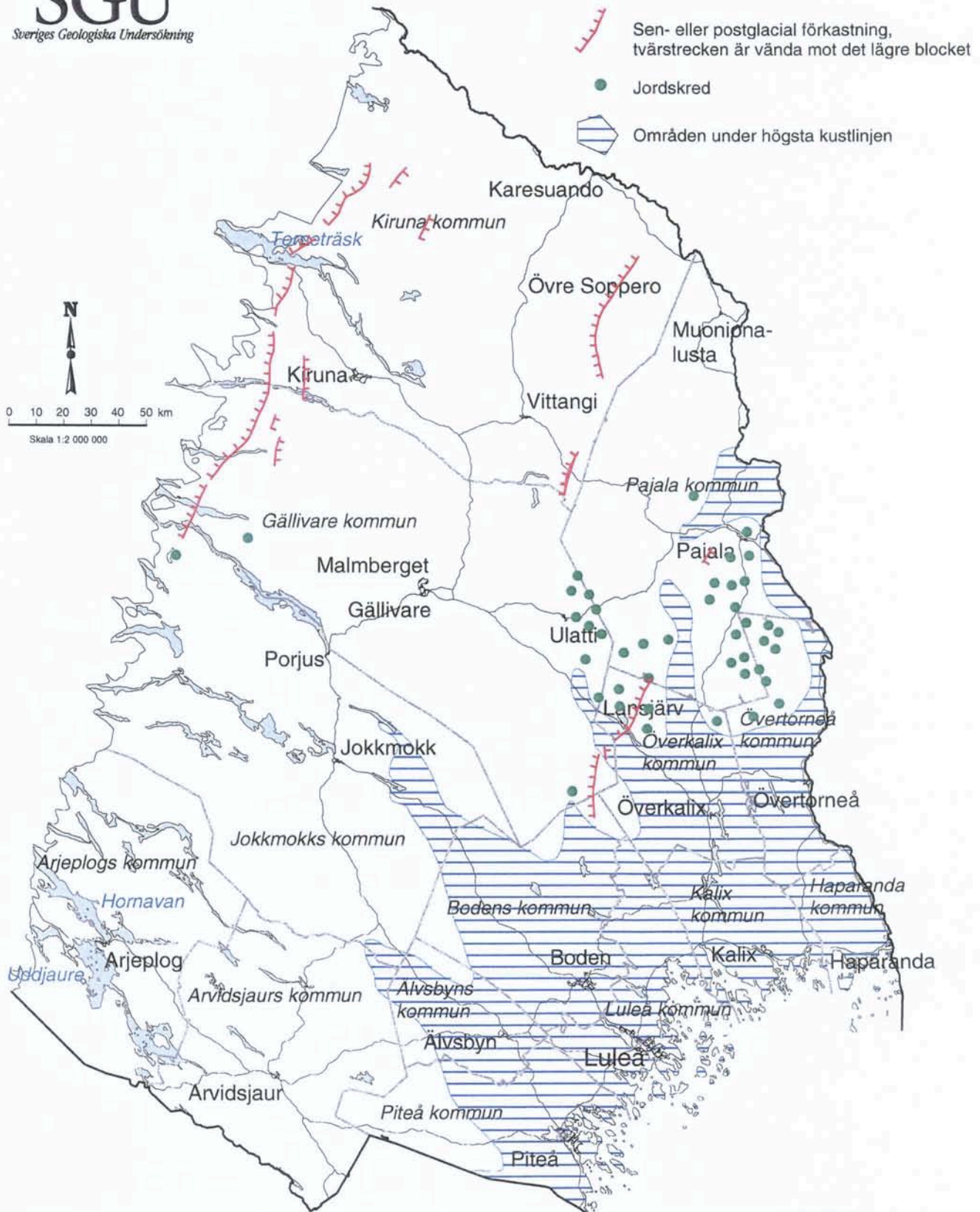
Förkastningarnas längd (totalt kilometer) och språnghöjd (5-10 m med ca 30 m som ett extremvärde) gör att man kan utgå ifrån att de genererat mycket starka jordbävningar. Beräkningar visar att Pärvieförkastningen i den västra delen av länet, se Figur 16d, sannolikt utlöste ett jordskalv i storleksordningen 8,2 på Richterskalan och Lansjärvförkastningen i den sydöstra delen av länet ett skalv med magnitud 7,8 /77, 78/. Förkastningarna inom de norra delarna av Fennoskandia genererade således för ca 9 000 år sedan jordbävningar väl i klass med de som i dag ödelägger städer på andra håll i världen.

Att förkastningsrörelserna varit förenade med starka jordskalv framgår också av de omfattande effekter som kan spåras i jordlagren. Jordskred utbildade i flacka moränsluttningar är ett exempel på sådana effekter, se Figur 16e. Omfattande spår efter sådana jordskred förekommer inom samma region som förkastningarna i såväl Sverige som i Finland och Norge. Jordskreden kan främst spåras inom områden som ligger ovanför högsta kustlinjen, se Figur 18, men utlöstes med all säkerhet också på botten av det forntida havet, där de sannolikt gav upphov till slamströmmar och lämnade mer diffusa spår efter sig.

I områdena under HK finns omfattande störningar av olika jordlagers inre strukturer dokumenterade. Störningarna påträffas främst i siltiga och finsandiga sediment som avsattes i samband med eller strax efter isavsmältningen, se Figur 16f, men de förekommer även i så grova jordarter som morän. Sådana jordskalvsgenererade störningar har specialstuderats inom Lansjärvområdet /79/ men förekommer allmänt även inom andra delar av Norrbottens kustland (R. Lagerbäck & M. Sundh, pågående arbeten).

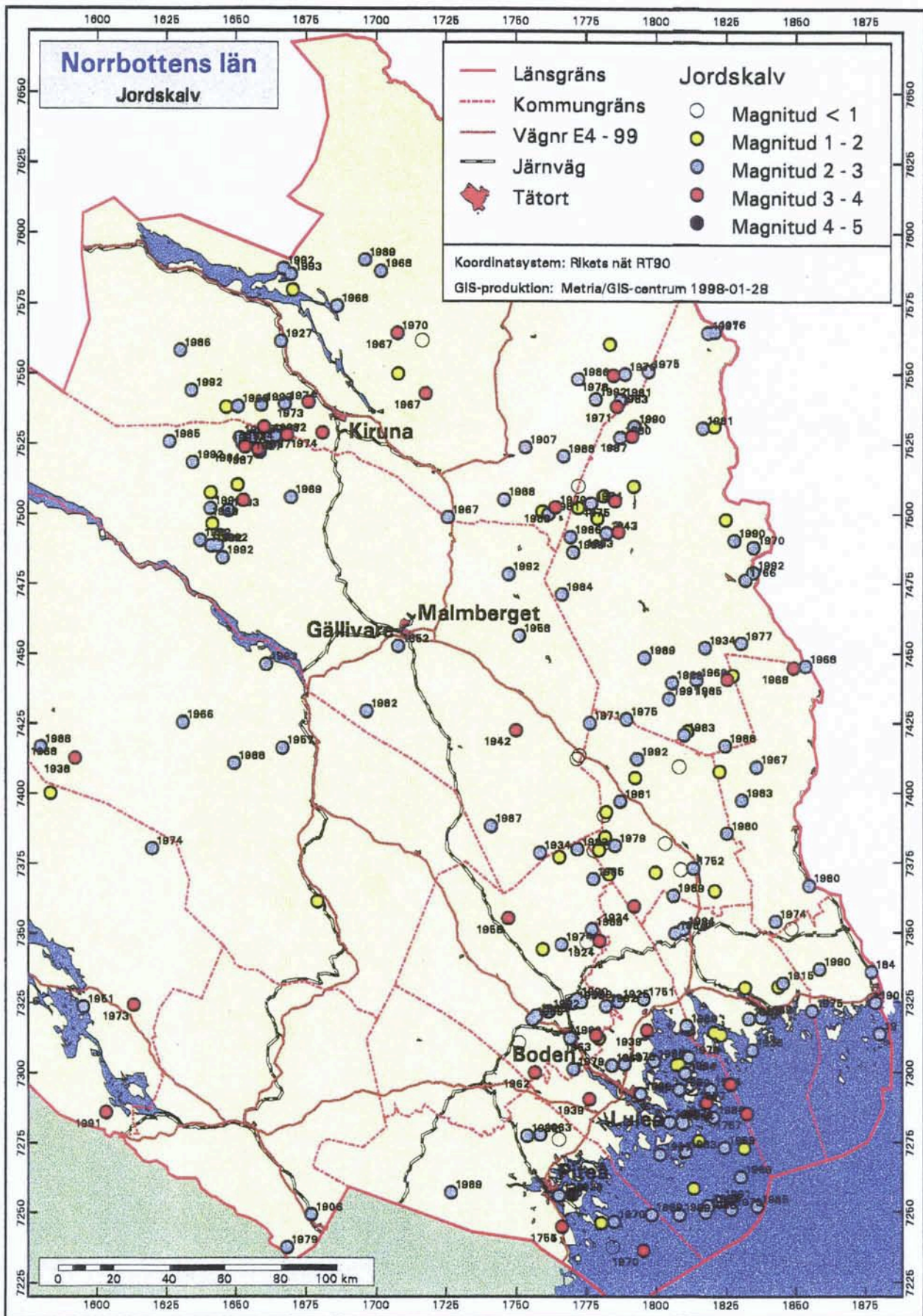
Ingenting i dagens markyta tyder på några pågående rörelser i de ovan nämnda förkastningarna. Sådantillvida tycks den sen- eller postglacialt aktiva förkastningstektoniken vara ett avslutat fenomen och skulle därför kunna tolkas som helt och hållet knutet till isavsmältningsskedets snabba landhöjning. Det finns emellertid indikationer på att dagens jordskalv inom regionen, se Figur 19, är knutna till de sen- eller postglaciala förkastningarna, vilket antyder att förkastningarna fortfarande i viss utsträckning är aktiva. Att ett geografiskt samband mellan dagens skalv och förkastningarna tycks föreligga har varit känt sedan länge /se t.ex. 80/ och nya data om den nutida seismiciteten antyder tämligen entydigt att det pågår rörelser i förkastningszonerna, liksom att dessa sannolikt når ned genom hela jordskorpan /78/.

Den nutida seismiciteten i Norrbotten, se Figur 19, liksom i övriga delar av Sverige, se Figur 5, är i ett globalt perspektiv mycket svag. De starkaste skalven når knappt över magnitud 5 på Richterskalan och det stora flertalet är väsentligt mycket svagare. Det starkaste skalvet som registrerats inom studieområdet Norrbotten inträffade 1929 i trakten av Piteå och hade magnituden 4,1 på Richterskalan. Skalven inom länet förekommer i huvudsak inom tre zoner, se Figur 19. En av dessa zoner ligger strax öster om fjällkedjan och skalven är troligen knutna till



Sen- eller postglacialt aktiva förkastningar samt moränskred inom urbergsdelen av Norrbottens län. Inom området under högsta kustlinjen förekommer omfattande störningar i sandiga och siltiga sediment till följd av de jordbävningar som åtföljde förkastningsrörelserna inom regionen.

Figur 18. Sen- eller postglaciala förkastningsrörelser och paleoseismicitet inom urbergsdelen av Norrbottens län



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

det sen- eller postglacialt utbildade Pärviöförkastningskomplexet /78/. På samma vis kan zonen nordost om Gällivare sannolikt knytas till Lainio-Suijavaaraförkastningen och skalven i den norra delen av zonen från kustområdet upp mot Pajala till förkastningskomplexet vid Lansjärv /78/. Några belägg för sen- eller postglacialt aktiva förkastningar, till vilka skalven i kustområdet skulle kunna knytas, finns inte men kan inte uteslutas, allra minst ute i Bottenviken. Pågående arbeten (R. Lagerbäck & M. Sundh) visar att omfattande seismiskt genererade störningar av sen- och tidigt postglaciala sediment föreligger även i Norr- och Västerbottens kustområden.

8 Hydrogeologi

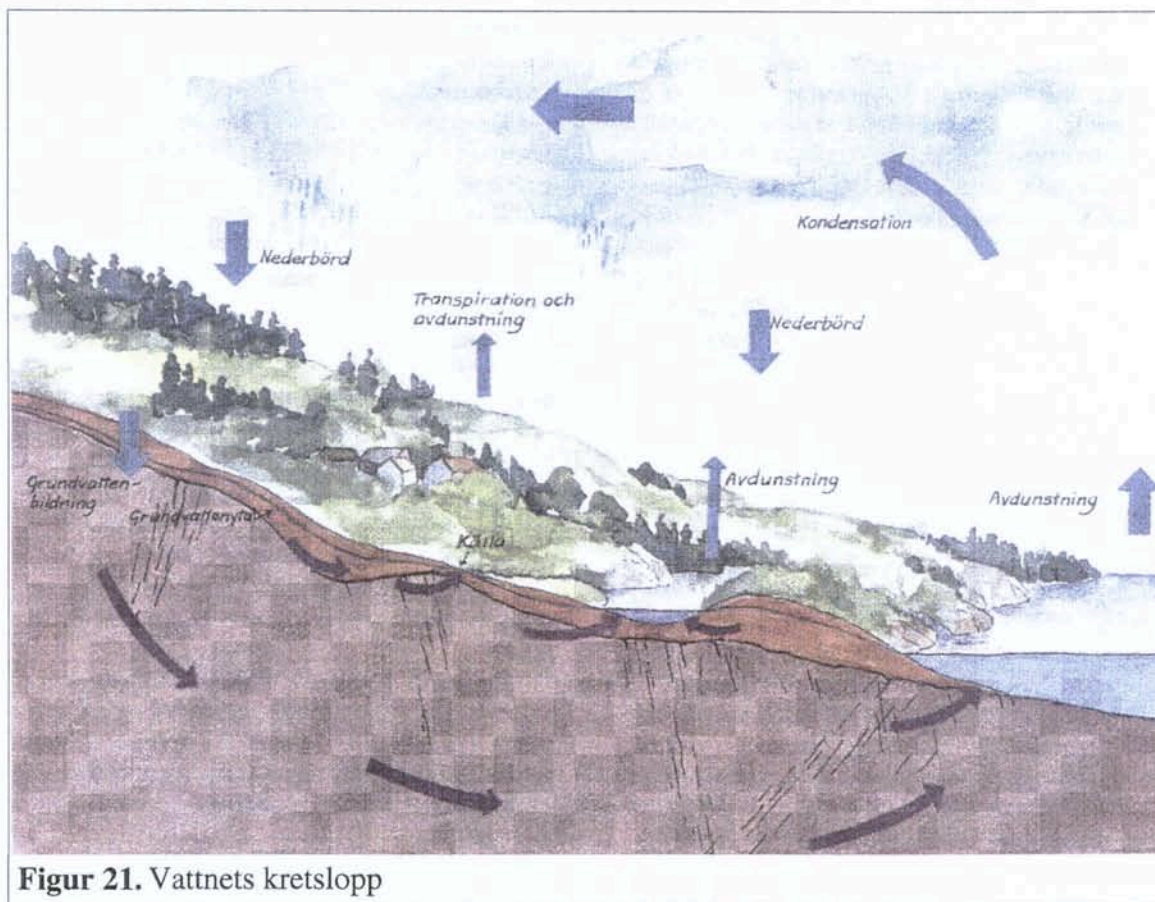
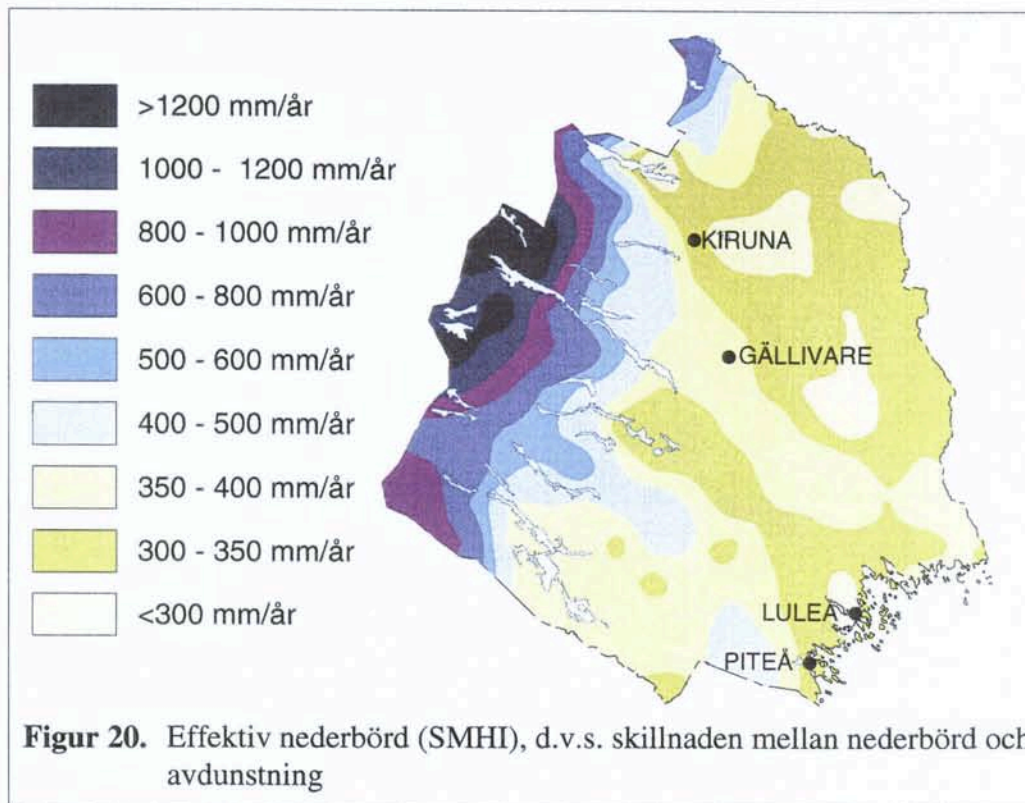
I grundvattenkartan med beskrivning över Sverige /81/ redovisas bl.a. grundvattentillgångar, grundvattnets kvalitet, hydrologi och vattenförsörjning. I föreliggande sammanställning av de hydrogeologiska förhållandena i länet har detta material kompletterats med analyser av Lantmäteriverkets höjddata, SMHIs avrinningsdata och data från SGUs brunnsarkiv. Syftet har varit att beskriva grundvattnets strömningsmönster och berggrundens hydrauliska konduktivitet (genomsläpplighet). För att beskriva grundvattnets kemiska status i urbergsdelen av Norrbottens län jämfört med övriga landet har även grundvattenkemiska data från SGUs brunnsarkiv bearbetats

Grundvattnets bildning och strömning

Grundvattnet ingår i det hydrologiska kretsloppet /4, 81/. Av den nederbörd som faller i länet avdunstar ungefär hälften /81/. Återstoden tillförs grundvattnet, med undantag för en mindre del, som rinner av från markytan till sjöar och vattendrag. När de övre marklagren har nått en viss vattenmättnad, sjunker överskottet vidare ned i marken och bildar grundvatten. Genom tyngdkraftens inverkan rör sig sedan grundvattnet från högre terrängavsnitt mot lägre. Vilka vägar det tar och hur fort strömningen sker, beror på grundvattenytans lutning samt jordlagrens och berggrundens genomsläpplighet. Områden där grundvattnets strömning är uppåtriktad benämns utströmningsområden. I de fall trycknivån ligger högre än marknivån kan källor och våtmarker bildas. Grundvatten strömmar också ut i botten av sjöar och vattendrag.

Grundvattenbildningens storlek bestäms av markens infiltrationskapacitet och den effektiva nederbörden (skillnaden mellan nederbörd och avdunstning). Den effektiva nederbörden i Norrbottens län framgår av Figur 20. Den har beräknats utifrån en vidareutveckling av den metod som använts för beräkning av avrinning /82/. Endast en mindre del av det vatten som infiltreras i marken tillförs berggrunden. Detta beror på berggrundens, i jämförelse med jordlagrens, mycket låga genomsläpplighet och obetydliga magasinande förmåga.

Den ytliga grundvattenströmningen i jordlagren och berggrundens övre delar styrs till största delen av de lokala topografiska förhållandena, se Figur 21 /81/. 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. Förkastningar som har varit aktiva under sen- eller postglacial tid redovisas separat under avsnittet nedisningar, jordarter, jorddjup samt sen- eller postglaciala förkastningsrörelser.

Höjdskillnaderna i hela Norrbottens län (inklusive de västra delarna som täcks av fjällbergarter) är stora med en högsta marknivå 2111 m.ö.h., se också Figur 12. Stora höjdskillnader medför att grundvattnets flödes hastighet ökar och att omsättningstiden blir jämförelsevis kort. Höjdområdena i de västra delarna av länet kan betraktas som inströmningsområden av regional karaktär. Det är i första hand i dessa delar av länet som grundvattnets djupa, långa strömbanor kan utbildas. Grundvattnets strömning i det regionala perspektivet sker sedan mot de låglänta delarna närmast kusten och mot älvdalarna där de långväga strömbanorna i stället blir uppåtriktade. Utströmningen av grundvatten sker i första hand till större vattendrag och sjöar samt till Bottenviken.

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. Den nutida landhöjningen är närmare 1 m/100 år i kustområdet men sjunker succesivt inåt landet, för att i fjällområdet vara ungefär hälften så stor.

Sjöar, vattendrag och avrinningsområden med tillhörande vattendelare i länets urbergsdel framgår av Figur 22 /82/. Avrinningsområdena delas in i huvudavrinningsområden och biflödenas avrinningsområden. Huvudavrinningsområden har sin utloppspunkt i havet och är större än 200 km². Biflödenas avrinningsområden är större än 1000 km² och har sin utloppspunkt i ett större vattendrag. Av Figur 22 framgår att i urbergsdelen av Norrbottens län sker ytvattnets avrinning huvudsakligen via Piteälven, Luleälven, Kalixälven och Torneälven. Närmare kusten sker avrinningen även via ett antal åar och mindre älvar. Grundvattnets lokala och regionala strömning följer i huvudsak ytvattnets avrinningsvägar. Det kan dock inte uteslutas att grundvatten som bildas i höjdområden inom eller utanför länet, även utbildar djupa, långa strömbanor som avviker från det regionala avrinningsmönstret.

Grundvattentillgångar

Grundvattentillgångar av regional betydelse i urbergsdelen av Norrbottens län återfinns i de stora stråken med isälvsavlagringar av vilka de största väsentligen följer de större älvdalarna. Genom att stora grundvattenmängder kan lagras och transporteras i isälvsavlagringarna, har dessa fått stor betydelse för den kommunala vattenförsörjningen i länet. I Figur 22 redovisas bedömda grundvattentillgångar i åsarna enligt SGUs grundvattenkarta över Sverige /81/. De avsnitt som bedöms ha uttagsmöjligheter överstigande 25 l/s utgör i allmänhet viktiga regionala tillgångar. Övriga åsavsnitt utgör på flera håll viktiga tillgångar för den kommunala vattenförsörjningen lokalt. Även berggrundsvatten nyttjas i den kommunala vattenförsörjningen men några stora tillgångar av regional betydelse bedöms inte förekomma. Däremot utgör berggrundsvattnet en viktig tillgång för den enskilda vattenförsörjningen.



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

Figur 22. Grundvattentillgångar och vattendelare i urbergsdelen av Norrbottens län

Berggrundens genomsläpplighet

Berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i urbergsdelen av Norrbottens län har beräknats /83/ med hjälp av uppgifter om brunnsdjup, avsänkning och uttagskapacitet från ca 2700 brunnar i SGUs brunnsarkiv. Brunnarna är ojämnt fördelade inom länet med flertalet brunnar belägna närmast kusten. 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 $5,0 \times 10^{-8}$ 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 geskenbart lägre genomsläpplighet i dessa områden. Beräknade värden bedöms vara representativa för berggrundens genomsläpplighet ned till ca 100 m djup.

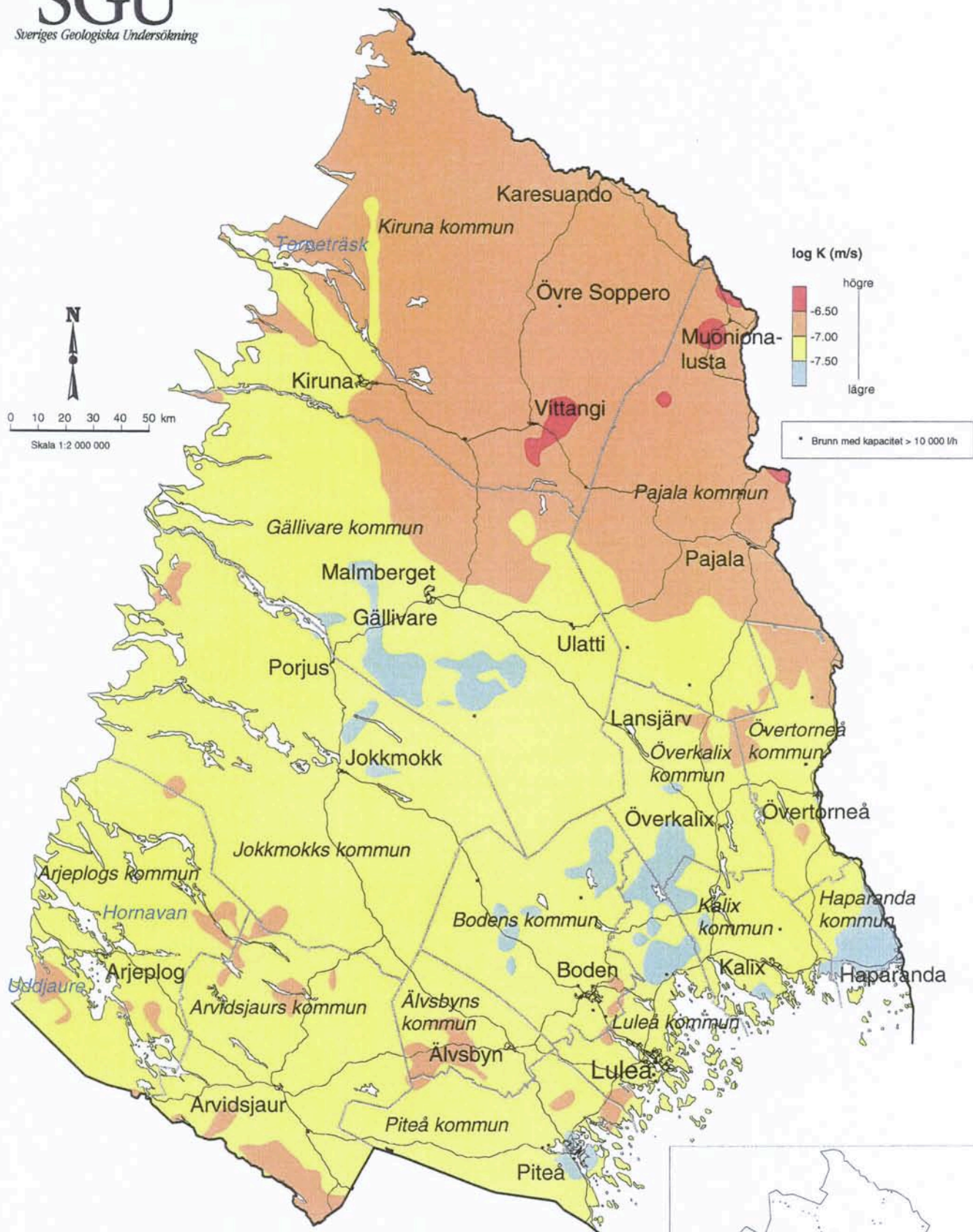
Berggrundens hydrauliska konduktivitet har, baserat på en geostatistisk analys, interpolerats över urbergsdelen av länet, se Figur 23. Resultatet visar de regionala skillnaderna i genomsläpplighet. Den norra delen av länet har i allmänhet högre genomsläpplighet. Lokalt kan dock variationerna vara stora, främst beroende på om vattenförande sprickzoner påträffats vid brunnsborrningen. Av figuren framgår därför även läget för samtliga registrerade brunnar i länet med en bedömd uttagskapacitet överstigande 10 000 l/tim (39 st).

Erfarenheter från borrhålsundersökningar visar att genomsläppligheten i den kristallina berggrunden avtar med djupet /84/. Skillnaden i hydraulisk konduktivitet mellan nivån 100 m och 500 m under markytan kan uppgå till flera tiopotenser, vilket har stor betydelse för grundvattnets uppehållstid och strömningsvägar. Den densitetsskillnad som föreligger mellan det söta, ytliga vattnet och det djupare, salta medför att grundvattenomsättningen ytterligare reduceras. Även på stora djup kan dock grundvattnets strömning påverkas av enskilda vattenförande sprickor och sprickzoner med en betydligt större genomsläpplighet än omgivande berggrund.

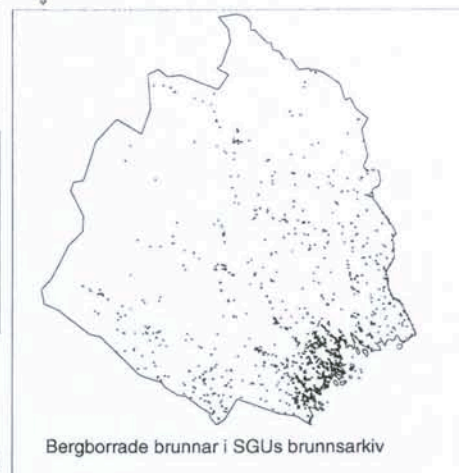
Grundvattnets kemi

Beskrivningen av grundvattnets kemiska status baseras på en jämförelse mellan ca 200 bergborrade brunnar i urbergsdelen av Norrbottens län och ca 11 000 brunnar från övriga delen av landet utanför fjällkedjan med kristallin berggrund /5/, se Figur 24. Brunnarna är ojämnt fördelade inom länet och främst koncentrerade till kustzonen. Detta kan medföra 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 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.

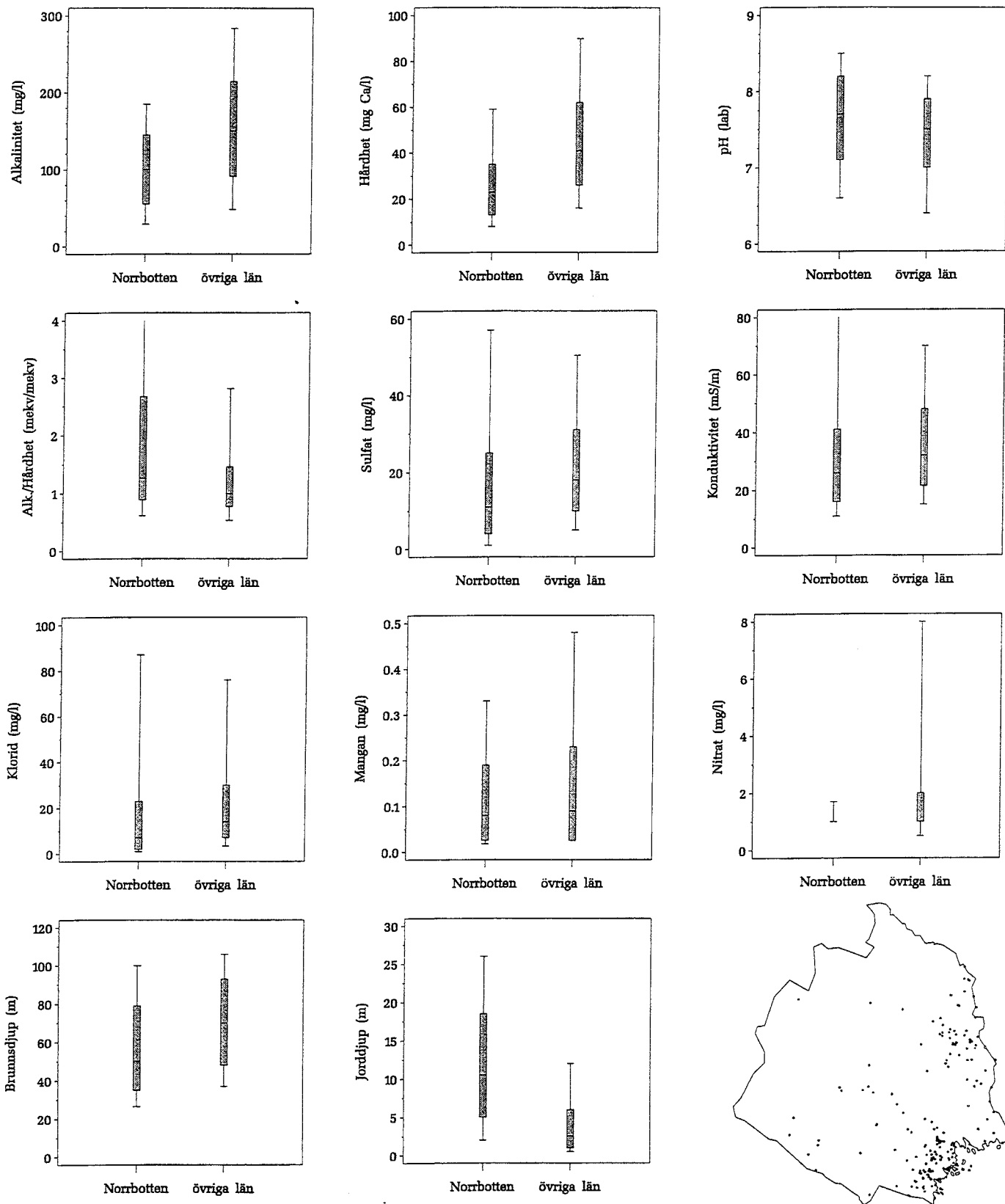
Vittringsberoende variabler som alkalinitet, totalhårdhet och konduktivitet har lägre värden i urbergsdelen av Norrbottens län än i övriga landet medan pH har något högre värden. Kvoten mellan alkalinitet och totalhårdhet är högre än riksgenomsnittet vilket innebär att antropogen påverkan av starka syror från nederbörden är relativt låg i länet. Under "naturliga" förhållanden är kvoten nära 1, d.v.s. alkaliniteten och totalhårdheten är ungefär lika. Liten försurningspåverkan kan vara en förklaring till de höga pH-värdena. Nitrathalten är ungefär lika hög som i övriga delar av landet.



Berggrundens genomsläpplighet (hydrauliska konduktivitet, K) i urbergsdelen av Norrbottens län. Analys baserad på ca 2700 bergborrade brunnar i SGUs brunnarsarkiv.



Figur 23. Berggrundens genomsläpplighet i urbergsdelen av Norrbottens län (sammanställning december 1997)



Antal analyser i Norrbottens län och övriga delen av landet:

	HCO ₃	Hårdhet	pH	HCO ₃ /Hårdhet	SO ₄	Konduktivitet	Cl	Mn	NO ₃	Jorddjup	Brunnsdjup
Norrbotten	244	187	245	187	219	185	185	170	138	122	246
Övriga län	11503	10881	11825	10862	6971	9081	10615	9248	8617	8272	11839

Figur 24. Grundvattnets kemi samt brunnsdjup och jorddjup för bergborrade brunnar i Norrbottens län jämfört med övriga delar av landet. Brunnar i lättvittrade, huvudsakligen sedimentära bergarter har inte beaktats. 10-percentil, 1:a kvartil, median, 3:e kvartil och 90-percentil redovisas i form av "box-plottar". Uppgifter från brunnsarkivets kemiarkiv som visas i insättskartan.

Kloridhaltens medianvärde är lägre jämfört med övriga län (se även Figur 7 i inledningen). Låga kloridhalter är typiska för höglänta områden över högsta kustlinjen (HK, se röd linje på Figur 7). Låglänta områden under högsta kustlinjen har ofta höga kloridhalter, eftersom relik saltvatten är vanligt förekommande. Förhöjda kloridhalter vid uttag av grundvatten i kustnära områden kan också orsakas av inträngning av salt vatten från Bottenviken. Den högsta kloridhalten som uppmätts i bergborrade brunnar i länet uppgår till 1640 mg/l att jämföra med Bottenviken och världshaven som har halter omkring 2000 respektive 20 000 mg/l. Sannolikt styrs förekomsten av relik saltvatten under HK till stor del av de topografiska betingelserna. I kuperad och höglänt terräng är grundvattnets omsättning generellt sett snabbare än i flacka och låglänta områden, vilket påverkar takten av "ursköljning" av det salta vattnet med sött grundvatten. Norrbottens län har mer kuperad terräng jämfört med de flesta andra kustlän.

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

9 Geologiska förutsättningar för lokalisering av ett djupförvar

Sammanfattande slutsatser

Berggrunden inom urbergsdelen av Norrbottens län domineras av djupbergarter, vanligen mer eller mindre omvandlade granitoider tillhörande Haparandasviten (1950-1850 miljoner år) respektive övriga sviter av intrusioner (1880-1770 miljoner år). Längst i norr uppträder arkeiska (2800-2600 miljoner år) granitoida gnejser och graniter. Större områden med ytbergarter (metavulkaniska och metasedimentära) återfinns främst i länets södra och östra delar. Gångbergarter med varierande sammansättning förekommer på många håll. Granitoiderna är generellt sett gynnsamma ur säkerhets- och byggnadsteknisk synpunkt. Även metasedimentära bergarter kan i vissa fall vara gynnsamma medan metavulkaniter och gångbergarter är generellt sett olämpliga i detta sammanhang.

Bedömningen av *berggrundens homogenitet* försvåras av att blottningsgraden i allmänhet är låg. Dock kan konstateras att berggrunden sällan är helt homogen över större områden. Inhomogeniteter förekommer i form av t.ex. gångbergarter, inneslutningar och sprickor. Djupbergarterna är genomgående mer homogena än ytbergarterna. De senare är vanligen mycket inhomogena i hållskala till följd av sammansättningsvariationer, men kan ändå i vissa fall betraktas som homogena sett i ett större perspektiv, om variationerna i sammansättning upprepas på ett regelbundet sätt.

Urbergsdelen av Norrbottens län är rikt på *mineral- och bergartsresurser*. Betydande malmförekomster finns bl.a. inom norra Norrbottens och Arjeplogs malmprovinser. Bland gruvor kan nämnas järnmalmgruvorna i MalMBERGET och Kiruna samt kopparfyndigheten Aitik öster om Gällivare. Även industrimineral såsom kvarts, fältspat och grafit förekommer och flera fyndigheter har tidigare bearbetats. Dolomit och olivin bryts sydost om Vittangi respektive sydost om MalMBERGET och används vid järnmalmförädling. Nyttosten, huvudsakligen kross-

berg, bryts på många platser, särskilt i kustregionen. Prospekteringsaktiviteten är mycket hög och inom stora områden har tillstånd beviljats för undersökning eller brytning. Ytterligare stora områden omfattas av ännu ej behandlade ansökningar om undersökningstillstånd. Områden inom vilka undersökningstillstånd sökts har i denna utredning betraktats som malmpotentiell berggrund. Emellertid är det vanligt att ansökningarna inledningsvis omfattar större områden och att dessa, i samband med att tillstånd beviljas, begränsas av det prospekterande företaget. Arealen malmpotentiell berggrund i länet kan därmed ha överskattats.

De största och mest betydande *plastiska skjuvzonerna* uppträder mellan Karesuando och Arjeplog samt mellan Pajala och Kalix. Enskilda zoner i dessa system stryker NNO respektive N-S och är upp till flera kilometer breda. Utöver dessa bägge system finns ett regionalt system av plastiska skjuvzoner med NV- till NNV-lig riktning. *Sprickzonernas* orientering domineras av två riktningar, N-S till NNO och NV. Vanligen avgränsar de regionala sprickzonerna stora berggrundsblock och inom vissa regioner saknas sprickzoner nästan helt. Lokalt mäktiga jordtäcken samt låg magnetisk relief gör dock att zonerna i vissa områden kan vara svåra att påvisa utan mer detaljerade undersökningar.

Bland *jordarterna* dominerar morän och torv. Längs kusten förekommer därutöver lera, sand och grus i betydande omfattning och andelen berg i dagen är högre än i resten av undersökningsområdet. Den postglaciala leran är mycket dåligt konsoliderad och ger vid schaktningsarbeten upphov till stabilitetsproblem. Isälvsediment täcker lokalt stora arealer, främst i länets norra och nordöstra delar. Det kala bergets utbredning kan tillsammans med topografin och moränens utformning ge viss vägledning vid bedömning av jordtäckets mäktighet. Speciellt stora jorddjup kan förväntas i dalgångar, i kustområdena och inom delar av moränbacklandskapen i det inre av länet.

Området längs kusten och norrut mot Pajala samt två områden i norr, öster om Vittangi och omkring Kiruna, tillhör de områden i Sverige där frekvensen av registrerade *jordskalv* är förhöjd. *Sen- eller postglaciala förkastningar* har dokumenterats i nära anknytning till dessa områden. Att förkastningsrörelserna varit förenade med kraftiga jordskalv framgår av att olika typer av jordskalvsrelaterade störningar uppträder i jordlagren, särskilt i den östra delen av länet. Det förefaller som om den geologiska situationen i norra Fennoskandia varit mer eller mindre unik och den är inte till fullo förstådd.

Ur *hydrogeologisk synvinkel* kan konstateras att berggrundens genomsläpplighet är högre i den norra delen av länet. Noteras skall dock att antalet brunnar, med undantag av kustregionen, är mycket litet. Stora lokala variationer förekommer. Grundvattnets djupa, långa strömbanor utbildas i höjdområdena i väster och utströmning sker i första hand till större vattendrag och sjöar samt till Bottenviken. Stora höjdskillnader i länet medför att grundvattnets flödes hastighet ökar och att omsättningstiden blir jämförelsevis kort. Grundvattentillgångar av regional betydelse i urbergsdelen av länet återfinns i stråken med isälvsavlagringar. Grundvattnets kemiska sammansättning är i stort sett normal jämfört med övriga områden utanför fjällkedjan. Relativt höga pH-värden tyder på liten försurningspåverkan.

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 iaktas vid en lokalisering av ett djupförvar till ett seismiskt mer aktivt område.

Områden som uppfyller sådana villkor återfinns inom stora domäner mellan de plastiska skjuvzonerna. Dessa domäner genomkorsas dock av uthålliga sprickzoner av vilka några varit aktiva i sen- eller postglaciala tid. Sådana uthålliga 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.

En första översiktlig bedömning av var sådana områden kan finnas ges i Figur 25. Bedömningen baseras på länets förutsättningar med avseende på berggrundens sammansättning, framtida prospekteringsintresse och tolkade deformationszoner inklusive dokumenterade sen- eller postglaciala förkastningar. Generellt kan konstateras att frekvensen jordskalv som har registrerats under historisk tid är förhöjd inom tre områden i länet. Vidare finns ett samband mellan förhöjd frekvens av jordskalv och sen- eller postglaciala förkastningszoner utbildade för ca 9 000 år sedan eller kort därefter. Jordskred och omfattande störningar av olika jordlagars inre strukturer, främst förekommande i östra delen av länet, har tolkats som orsakade av kraftiga jordskalv i samband med sådana relativt unga rörelser i berggrunden.

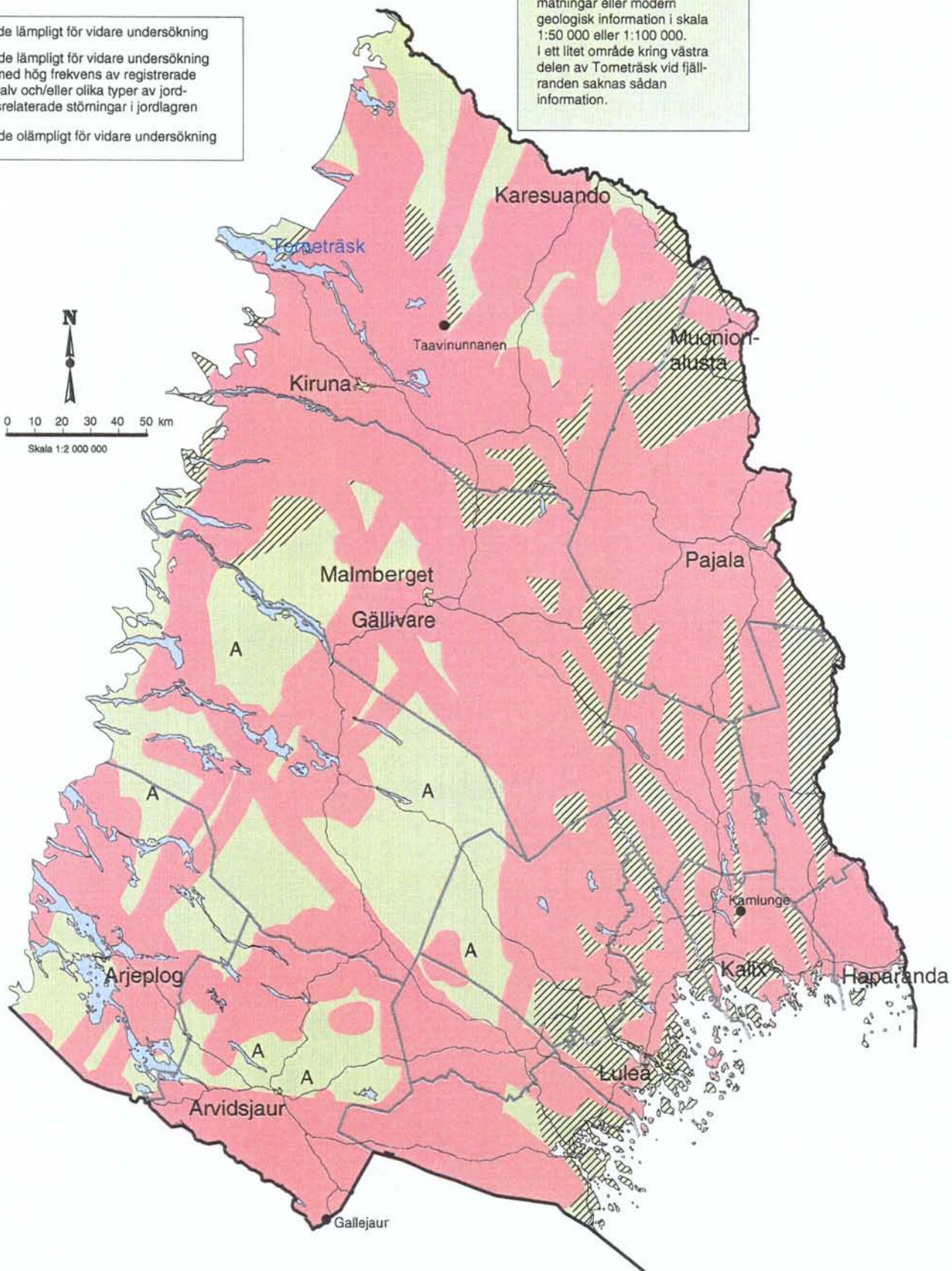
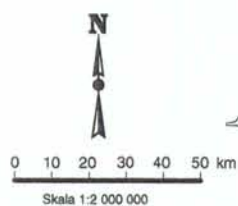
Jordtäcket sammansättning och mäktighet samt de hydrogeologiska förhållandena har inte i denna skala legat till grund för att gradera områden med olika geologiska förutsättningar. Detaljerade undersökningar, exempelvis förstudier av enskilda kommuner och platsundersökningar, krävs för att slutgiltigt identifiera berggrundsblock som uppfyller ovannämnda förutsättningar och andra krav som ställs på ett djupförvar.

Urbergsdelen av Norrbottens 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 25. Områden som har bedömts att vara lämpliga för vidare studier men visar en förhöjd frekvens av registrerade jordskalv eller omfattande störningar av jordlagren troligen orsakade av jordskalv har också urskiljts, se Figur 25. I stort sett hela länet täcks av flyggeofysiska låghöjdsräkningar eller modern geologisk information i skala 1:50 000 eller 1:100 000. Bara i ett litet område kring västra delen av Torneträsk vid fjällranden saknas sådan information helt. Områden som bedömts som olämpliga har utökats med en ca 3 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.

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

I stort sett hela länet täcks av flyggeofysiska läghöjds-mätningar eller modern geologisk information i skala 1:50 000 eller 1:100 000. I ett litet område kring västra delen av Tomträsk vid fjällranden saknas sådan information.

- Område lämpligt för vidare undersökning
- Område lämpligt för vidare undersökning men med hög frekvens av registrerade jordskalv och/eller olika typer av jordskalvsrelaterade störningar i jordlagren
- Område olämpligt för vidare undersökning



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

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

- Ett brett bälte i norra och östra delen av länet som sträcker sig från Luleå till Haparanda i söder, från Gällivare till Pajala i den centrala delen och från Kiruna till Karesuando i norr. Inom detta bälte finns flera områden med mycket betydande mineralförekomster (inkluderande gruvorna i Kiruna, Malmberget och Aitik) samt med hög potential för framtida mineralutvinning. Vidare uppträder flera plastiska skjuvzoner och två system av regionala förkastningar längs vilka sen- eller postglaciala rörelser har dokumenterats (Lansjärvsförkastningskomplexet och Lainio-Suijavaaraförkastningen).
- Ett ganska smalt bälte i västra delen av undersökningsområdet. Området omfattar det sen- eller postglacialt utbildade Pärviöförkastningskomplexet samt utgörs dessutom, i norra och södra delen, av områden med hög potential för mineralprospektering.
- Ett antal områden sydväst om Gällivare, runt Arjeplog samt mellan Arvidsjaur och Luleå som är av intresse för mineralprospektering. I dessa områden uppträder också flera plastiska deformationszoner.

Områden vilka tolkats som **lämpliga** för vidare undersökning utgör bara en mindre del av urbergsdelen av Norrbottens län. Större områden återfinns i sydväst och berggrunden i dessa områden domineras av metagranitoider samt mindre deformerad och omvandlad granit, syenit, monzonit och pegmatit. Därutöver finns mindre områden inom Haparanda-Pajala-Kiruna bältet som annars domineras av olämplig berggrund. Berggrunden i dessa begränsade områden domineras av metagranitoider och mindre omvandlad granit och pegmatit samt, i den norra delen av länet, granitoida gnejser och granit som tillhör Sveriges äldsta berggrund. Inom de områden som tolkats som lämpliga har regionalt betydande plastiska deformationszoner inte kunnat påvisas och bergarterna är inte intressanta ur prospekteringsynpunkt. Som tidigare påpekats är det berggrundsblocken mellan de uthålliga sprickzonerna och stråken av isälvsavlagringar i dessa områden som kan bli aktuella för lokalisering av ett djupförvar.

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

- Förekomst av metavulkaniska bergarter i några av de lämpliga områden (A på Figur 25).
- Uppträdandet av gångbergarter och de problem som detta kan medföra i form av inhomogen berggrund och ökad vattengenomsläpplighet längs kontakterna till dessa gångar.
- Den delvis inhomogena berggrunden, särskilt i randzonen av studieområdet. En detaljerad undersökning av berggrundens homogenitet bör utföras i hela urbergsdelen av länet.
- De stora höjdskillnaderna i länet i sin helhet som medför att grundvattnets flödes hastighet ökar och att omsättningstiden blir jämförelsevis kort.
- De regionala skillnader i vattengenomsläppligheten med i allmänhet högre värde i den norra delen av länet.
- Slutligen bör det noteras att den sen- eller postglaciala förkastningstektoniken i norra Fennoskandia så vitt man vet saknar nutida analoger /se t.ex. 85/. Några förkastningsrörel-

ser av liknande storleksordning har inte kunnat spåras i anslutning till isavsmältningen inom andra nedisade områden i världen. Stora förkastningsrörelser med åtföljande katastrofala jordskalv inträffar utmed litosfärplattornas kollisionszoner, men ingenstans har i historisk tid några rörelser av samma storleksordning som de i norra Fennoskandia inträffat inom någon kontinentalplatta. Det förefaller således som om den geologiska situationen under isavsmältningsskedet varit mer eller mindre unik och den är inte till fullo förstådd. Generellt kan sägas att om en lokalisering till Norrbottens län övervägs krävs omfattande forskning för att försöka förstå den sen- eller postglaciala förkastningstektoniken och vilken påverkan eventuella framtida rörelser kan ha på ett djupförvar. Sådana rörelser skulle inte bara kunna medföra att förvaret skadas mekaniskt, utan också att grundvattnets strömning och kemiska sammansättning radikalt skulle kunna förändras.

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

10 Referenser

- 1 **La Pointe, P., Wallman, P., Thomas, A. & Follin, S., 1997:** A methodology to estimate earthquake effects on fractures intersecting canister holes. SKB TR 97-07, 1-61.
- 2 **Stephens, M.B., Wahlgren, C.-H. & Weihed, P., 1994:** Karta över Sveriges berggrund, skala 1:3 000 000. Sveriges geologiska undersökning, Ba 51.
- 3 **Jonasson, C., 1996:** Landet. I: S. Helmfrid (red.), *Sveriges Geografi*. — Sveriges Nationalatlas, 16-41.
- 4 **Aastrup, M., Engqvist, P., Müllern, C.-F. & Söderholm, H., 1994:** Grundvattnet. I: C. Fredén (red.), *Berg och Jord*. — Sveriges Nationalatlas, 154-171.
- 5 **Aastrup, M., Thunholm, B., Johnson, J., Bertills, U. & Berntell, A., 1995:** Grundvattnets kemi i Sverige. Naturvårdsverket, rapport 4415, 1-52.
- 6 **Lundqvist, T., Bygghammar, B., Stephens, M.B., Beckholmen, M. & Norling, E., 1994:** Sveriges berggrund i skala 1:1 250 000. I: C. Fredén (red.), *Berg och jord*. — Sveriges Nationalatlas.
- 7 **Offerberg, J., 1967:** Beskrivning till berggrundskartbladen Kiruna NV, SO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 1-4, 1-147.
- 8 **Padget, P., 1970:** Beskrivning till berggrundskartbladen Tarendö NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 5-8, 1-95.
- 9 **Padget, P., 1977:** Beskrivning till berggrundskartbladen Pajala NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 21-24, 1-73.
- 10 **Witschard, F., 1970:** Description of the geological maps Lainio NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 9-12, 1-116.
- 11 **Witschard, F., 1975:** Description of the geological maps Fjällåsen NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 17-20, 1-125.
- 12 **Witschard, F., 1996:** Berggrundskartan 28K Gällivare, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 98-101.
- 13 **Eriksson, B. & Hallgren, U., 1975:** Beskrivning till berggrundskartbladen Vittangi NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 13-16, 1-203.
- 14 **Ambros, M., 1980:** Beskrivning till berggrundskartorna Lannavaara NV, NO, SV, SO och Karesuando SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 25-30, 1-111.
- 15 **Lindroos, H. & Henkel, H., 1981:** Beskrivning till berggrundskartorna och geofysiska kartorna Huuki NV/NO, SV, SO och Muonionalusta NV, SV/SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 35-39, 1-85.

- 16 **Witschard, F. & Zachrisson, E., 1995:** Berggrundskartan 28I Stora Sjöfallet NO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 90.
- 17 **Witschard, F. & Zachrisson, E., 1995:** Berggrundskartan 28I Stora Sjöfallet SO, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 91.
- 18 **Zachrisson, E. & Witschard, F., 1995:** Berggrundskartan 28I Sjöra Sjöfallet NV, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 88.
- 19 **Zachrisson, E. & Witschard, F., 1995:** Berggrundskartan 28I Stora Sjöfallet SV, 1:50 000. Sveriges geologiska undersökning, Ai 89.
- 20 **Wikström, A., 1990:** Berggrundskartan Kalix SO. Sveriges geologiska undersökning, Ai 45.
- 21 **Wikström, A., 1993:** Berggrundskartan Kalix SV. Sveriges geologiska undersökning, Ai 81.
- 22 **Wikström, A., 1995:** Berggrundskartan Kalix NV. Sveriges geologiska undersökning, Ai 79.
- 23 **Wikström, A., 1996:** Berggrundskartan Kalix NO. Sveriges geologiska undersökning, Ai 80.
- 24 **Ödman, O.H., 1957:** Beskrivning till berggrundskarta över urberget i Norrbottens län. Sveriges geologiska undersökning, Ca 41, 1-151.
- 25 **Lindström, M., Lundqvist, J. & Lundqvist, T., 1991:** Sveriges geologi från urtid till nutid. Studentlitteratur, Lund, 398 s.
- 26 **Hallgren, U., 1979:** Berggrundskartorna 30K Soppero NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Af 31-34.
- 27 **Hallgren, U., 1982:** Berggrundskartorna 31K Naimakka NV, NO, SV, SO. Sveriges geologiska undersökning, Ai 1-4.
- 28 **Hallgren, U., 1983:** Berggrundskartan Treikersröset. Sveriges geologiska undersökning, Ai 5.
- 29 **Hallgren, U., 1983:** Berggrundskartan Kummavuopio. Sveriges geologiska undersökning, Ai 6.
- 30 **Nordkalott Project, 1987:** Geological map, Pre-Quaternary rocks, Northern Fennoscandia. Scale 1: 1 mill. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden.
- 31 **Lundqvist, T., Bøe, R., Kousa, J., Lukkarinen, H., Lutro, O., Roberts, D., Solli, A., Stephens, M. & Weihed, P., 1996:** Bedrock map of central Fenno-

scandia. Scale 1:1 000 000. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden. .

- 32 **Martinsson, O. & Perdahl, J.-A., 1995:** Paleoproterozoic extensional and compressional magmatism in northern Norrbotten, northern Sweden. *I: J.-A. Perdahl, Svecofennian volcanism in northernmost Sweden.* — Doctoral thesis 1995:169 D, Luleå University of Technology, 1-13.
- 33 **Bergman, S. & Kübler, L., 1998:** Berggrundsgeologiska och geofysiska syn-teskartor över norra Norrbotten. *I: C.-H. Wahlgren (red.), Regional berggrunds-geologisk undersökning - sammanfattning av pågående undersökningar 1997.* — Sveriges geologiska undersökning, Rapporter och Meddelanden 97, 95-103.
- 34 **Grip, E. & Frietsch, R., 1973:** Malm i Sverige. 2. Norra Sverige. Almqvist & Wiksell, 295 s.
- 35 **Lundegårdh, P.H., 1971:** Nyttosten i Sverige. Almqvist & Wiksell, 271 s.
- 36 **Sundius, N., 1951:** Kvarts, fältspat och glimmer samt förekomster därav i Sve-rige. Sveriges geologiska undersökning, C 520, 1-231.
- 37 **Frietsch, R., 1975:** Brief outline of the metallic mineral resources of Sweden. Sveriges geologiska undersökning, C 718, 1-64.
- 38 **Martinsson, O. & Perdahl, J.-A., 1994:** Greenstone and porphyry hosted ore deposits in northern Norrbotten. NUTEK, Ramprogrammet Prospekteringsinrik-tad Malmgeologi, Projekt nr 92-00752P, 1-31.
- 39 **Martinsson, O., 1997:** Tectonic setting and metallogeny of the Kiruna greenstones. Doctoral thesis 1997:19, Luleå University of Technology, 1-19.
- 40 **Shaikh, N.A., Kumpulainen, R., Riad, L., Snäll, S., Sundberg, A., Westlund, B. & Wik, N.G., 1986:** Industriella mineral och bergarter i Norrbottens län. Uppdragsrapport. Sveriges geologiska undersökning, BRAP 86006, 1-128.
- 41 **Frietsch, R. & Shaikh, N.A., 1979:** Malmer, industriella mineral och bergarter i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ba 29 (karta, 1:2 000 000).
- 42 **Berthelsen, A. & Marker, M., 1986:** 1.9-1.8 Ga old strike-slip megashears in the Baltic Shield, and their plate tectonic implications. *Tectonophysics* 128, 163-181.
- 43 **Kärki, A., Laajoki, K. & Luukas, J., 1993:** Major Palaeoproterozoic shear zones of the central Fennoscandian Shield. *Precambrian Research* 64, 207-223.
- 44 **Wikström, A., Skiöld, T. & Öhlander, B., 1996:** The relationships between 1.88 Ga old magmatism and the Baltic-Bothnian shear zone in northern Sweden. *I: T.S. Brewer (red.), Precambrian crustal evolution in the north Atlantic region.* — Geological Society Special Publication 112, 249-259.

- 45 **Wikström, A. & Persson, P.-O., 1997:** U-Pb zircon and monazite dating of a Lina type leucogranite in northern Sweden and its relationship to the Bothnian shear zone. Sveriges geologiska undersökning, C 830, 81-87.
- 46 **Bergman, S. & Skiöld, T., 1998:** Implications of ca 1.8 Ga metamorphic ages in the Pajala area northernmost Sweden. Nordiske Geologiske Vintermøde, Abstract volume, Århus 1998, s. 32.
- 47 **Nordkalott Project, 1987:** Map of Quaternary Geology, sheet 1: Quaternary Deposits, Northern Fennoscandia, 1:1 mill. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden.
- 48 **Nordkalott Project, 1986:** Map of Quaternary Geology, sheet 2: Glacial Geomorphology, Northern Fennoscandia, 1:1 mill. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden.
- 49 **Nordkalott Project, 1986:** Map of Quaternary Geology, sheet 3: Ice Flow Indicators, Northern Fennoscandia, 1:1 mill. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden.
- 50 **Nordkalott Project, 1986:** Map of Quaternary Geology, sheet 4: Quaternary Stratigraphy, Northern Fennoscandia, 1:1 mill. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden.
- 51 **Nordkalott Project, 1986:** Map of Quaternary Geology, sheet 5: Ice Flow Directions, Northern Fennoscandia, 1:1 mill. Geological Surveys of Finland, Norway and Sweden.
- 52 **Fromm, E., 1965:** Beskrivning till jordartskarta över Norrbottens län nedanför Lappmarksgränsen. Sveriges geologiska undersökning, Ca 39, 1-236.
- 53 **Rodhe, L., Sundh, M. & Wiberg, B., 1990:** Beskrivning till kvartärgeologiska kartorna 22K/22L Skellefteå/Rönnskär och 23K/23L Boliden/Byske. Sveriges geologiska undersökning, Ak 2-3, 1-32.
- 54 **Rodhe, L., 1994:** Kvartärgeologiska kartan 24K Älvsbyn SO. Sveriges geologiska undersökning, Ak 21.
- 55 **Rodhe, L., 1994:** Kvartärgeologiska kartan 24K Älvsbyn NO. Sveriges geologiska undersökning, Ak 22.
- 56 **Svedlund, J.O., 1991:** Kvartärgeologiska kartan 24K Älvsbyn NV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 9.
- 57 **Svedlund, J.O., 1992:** Kvartärgeologiska kartan 25L Boden SV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 13.
- 58 **Svedlund, J.O., 1993:** Kvartärgeologiska kartan 25L Boden NO. Sveriges geologiska undersökning, Ak 16.

- 59 **Svedlund, J.O., 1993:** Kvärtärgeologiska kartan 25L Boden SO. Sveriges geologiska undersökning, Ak 23.
- 60 **Svedlund, J.O., 1994:** Kvärtärgeologiska kartan 24L Luleå SV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 14.
- 61 **Dahlberg, N., 1993:** Kvärtärgeologiska kartan 25M Kalix NV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 15.
- 62 **Dahlberg, N., 1993:** Kvärtärgeologiska kartan 25M Kalix NO. Sveriges geologiska undersökning, Ak 18.
- 63 **Dahlberg, N., 1994:** Kvärtärgeologiska kartan 24K Älvsbyn SV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 20.
- 64 **Dahlberg, N. & Wiberg, B., 1993:** Kvärtärgeologiska kartan 24L Luleå NO. Sveriges geologiska undersökning, Ak 12.
- 65 **Dahlberg, N. & Grånäs, K., 1994:** Kvärtärgeologiska kartan 26L Pålkem SV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 24.
- 66 **Grånäs, K., 1994:** Kvärtärgeologiska kartan 25L Boden NV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 17.
- 67 **Grånäs, K. & Svedlund, J.O., 1993:** Kvärtärgeologiska kartan 24L Luleå NV. Sveriges geologiska undersökning, Ak 11.
- 68 **Fredén, C., (red.), 1994:** Berg och jord. Sveriges Nationalatlas, 208 s.
- 69 **Lagerbäck, R. & Robertsson, A.-M., 1988:** Kettle holes - stratigraphical archives for Weichselian geology and palaeoenvironment in northernmost Sweden. *Boreas* 17, 439-468.
- 70 **Lagerbäck, R., 1988:** Periglacial phenomena in the wooded areas of Northern Sweden - relicts from the Tändö Interstadial. *Boreas* 17, 487-499.
- 71 **Lagerbäck, R., 1988:** The Veiki moraines in northern Sweden - widespread evidence of an Early Weichselian deglaciation. *Boreas* 17, 469-486.
- 72 **Lundqvist, J. & Lagerbäck, R., 1976:** The Pärve Fault: A lateglacial fault in the Precambrian of Swedish Lapland. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 98, 45-51.
- 73 **Lagerbäck, R., 1979:** Neotectonic structures in northern Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 100, 263-269.
- 74 **Kujansuu, R., 1964:** Nuorista siirroksista Lapissa. Summary: Recent Faults in Lapland. *Geologi* 16, 30-36.

- 75 **Olesen, O., 1988:** The Stuoragurra Fault, evidence of neotectonics in the Precambrian of Finnmark, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 68, 107-118.
- 76 **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.
- 77 **Muir Wood, R., 1993:** A review of the seismotectonics of Sweden. SKB TR 93-13, 1-225.
- 78 **Arvidsson, R., 1996:** Fennoscandian Earthquakes: Whole Crustal Rupturing Related to Postglacial Rebound. *Science* 274, 744-746.
- 79 **Lagerbäck, R., 1991:** Seismically deformed sediments in the Lansjärv area, Northern Sweden. SKB TR 91-17, 1-58.
- 80 **Lagerbäck, R., 1977:** Unga rörelser i svenska urberget. *Forskning och Framsteg* 1977:2, 7-14.
- 81 **SGU, 1994:** Grundvattnet i Sverige. Sveriges geologiska undersökning, Ah 17 (karta, 1:1 miljon).
- 82 **SMHI, 1995:** Sveriges Vattensystem. I: B. Raab & H. Vedin (red.), *Klimat, sjöar och vattendrag*. — Sveriges Nationalatlas, 116-123.
- 83 **Carlsson, L. & Carlstedt, A., 1977:** Estimation of transmissivity and permeability in Swedish bedrock. *Nordic Hydrology* 8, 103-116.
- 84 **SKB, 1992:** SKB 91. Slutlig förvaring av använt kärnbränsle. Berggrundens betydelse för säkerheten.
- 85 **Muir Wood, R., 1989:** Extraordinary deglaciation reverse faulting in northern Fennoscandia. I: S. Gregersen & P.W. Basham (eds.), *Earthquakes at North-Atlantic Passive Margins: Neotectonics and Postglacial Rebound*. — Kluwer, Dordrecht, 141-173.

BILAGA A

GEOLOGISK ORDLISTA

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

Albit. Natriumrik fältspat.

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

Amfibolit. Metamorf bergart bestående av huvudsakligen amfibol och plagioklas.

Anatektisk. Bildad genom uppsmältning av äldre bergarter.

Andalusit. Aluminiumsilikat.

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

Anomali. Lokal avvikelse.

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

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

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

Aureol. Område med speciell karaktär kring en bergartsintrusion.

Axialplan. Se veckaxelplan.

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

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

Basalt. Basisk vulkanisk bergart.

Basisk bergart. Bergart med 45-52 viktprocent SiO₂.

Bergart. Sammanhållet aggregat av ett eller vanligen flera mineral.

Bentonit. Mjuk, plastisk lera.

Biotit. Mörkt glimmermineral.

Blyglans. Sulfidmineral. Blyglans är det viktigaste blymineralet.

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

Cordierit. Ett silikatmineral vanligt i metamorfa bergarter.

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

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

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

Diabasgång. Se diabas.

Diamantborrning. Undersökningsborrning med diamantsatt borrkrona. Borrningen syftar till att ta upp en serie prov, borrkärna, av berggrunden.

Digital. Representation av data med hjälp av siffror.

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

Diopsid. Se pyroxen.

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

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

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

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

Eem. Värmeperioden före Weichsel-istiden.

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

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

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

Fanerozoikum. Geologisk tidsålder, yngre än 545 miljoner år.

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

Finmo. Jordart med kornstorleken 0.02-0.06 mm.

Flyttblock. Stora av inlandsisen transporterade block.

Formlinjer. Linjer som markerar en trend.

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

Fossil. Förstenade lämningar efter djur och växter.

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

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

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

Gabbro. Basisk djupbergart.

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

Glaciation. Nedisning.

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

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

Gnejsgranit. Omvandlad (förgnejsad) granit.

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

Granatådergnejs. Granatförande ådergnejs.

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

Granitoid. Samlingsnamn för kvartsrika djupbergarter, t.ex. granit, granodiorit, tonalit.

Grus. Jordart med kornstorlek 2-20 mm.

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

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

Hematit. Järnoxidmineral.

HK = Högsta Kustlinjen

Hornblände. Se amfibol.

Hybridbergart. Blandbergart

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

Illit. Glimmerliknande lermineral.

Inlandsis. Ismassa som täcker stora delar av en kontinent.

Interglacial. Tiden mellan två istider.

Intermediär bergart. Bergart med 52-65 viktprocent SiO₂.

Interstadial. Tiden mellan två kallare perioder inom samma istid.

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

Isostasi. Jämviktstillstånd i jordskorpan.

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

Isälvsavlagring. Se isälvs sediment.

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

Jordart. Lösa avlagringar på jordytan.

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

Kalcit. Kalciumkarbonat. Huvudmineral i kalksten.

Kalifältspat. Se fältspat.

Kalksten. Bergart bestående av i huvudsak kalcit.

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

Kaolinit. Ett lermineral. Se kaolin.

Kaolin. Grå eller vit lera huvudsakligen bestående av kaolinit.

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

Klorit. Glimmerliknande, vanligen grönt, silikatmineral.

Koboltglans. Ett silvervitt kobolthaltigt sulfidmineral.

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

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

Kraton. Konsoliderad och stabil del av den kontinentala jordskorpan.

Kratonisering. Konsolidering och stabilisering av jordskorpan.

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

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

Kvarts. Kiseldioxid (SiO₂).

Kvartsitisk. Omvandlad kvartsrik bergart.

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

Landhöjning. Höjning av landytan i förhållande till havsytan.

Laumontit. Silikatmineral bildat genom omvandling av fältspat.

Lava. Magma som trängt ut på jordytan.

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

Lera. Jordart med kornstorlek < 0.002 mm.

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

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

Lineament. Rak eller svagt böjd långsträckt struktur.

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

Magma. Smält berg.

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

Magnetiska konnektioner. Se formlinjer.

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

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

Magnitud. Mått på styrkan av en jordbävning.

Malm. En mineralkoncentration som är ekonomiskt brytvärd.

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

Marmor. Genom metamorfos omkristalliserad kalksten eller dolomit.

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

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

Metabasit. Omvandlad basisk bergart.

Metamorf. Omvandlad.

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

Metasedimentär bergart. Omvandlad, ursprungligen sedimentär bergart.

Metavulkanisk bergart. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

Metavulkanit. Omvandlad, ursprungligen vulkanisk bergart.

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

Migmatitgranit. Granit bildad genom uppsmältning av äldre berggrund.

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

Mikroclin. Vanligen ljusröd fältspat. Ett av de vanligaste bergartsbildande mineralen.

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

Mjåla. Jordart med kornstorlek 0.002-0.02 mm.

Mo. Jordart med kornstorlek 0.02-0.2 mm.

Monzodiorit. En djupbergart.

Monzonit. En djupbergart.

Morän. Jordart som avlagrats av inlandsisen.

Moränen har varierande sammansättning av block, sten, grus, sand, mo, mjåla och ler.

Moränbacklandskap. Kuperad terräng av morän.

Muskovit. Ljust glimmermineral.

Mylonit. Finkornig bergart bildad genom mycket stark plastisk deformation.

Mylonitzonen. En starkt mylonitiserad zon i Sydvästsveriges gnejsberggrund.

Nefelin. Ett fältspatliknande mineral rikt på natrium.

Neosom. Nybildat (rekristalliserat) material i en migmatit.

Neotektonik. Unga tektoniska rörelser i jordskorpan.

Norit. Basisk djupbergart.

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

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

Orogen. Se orogent bälte.

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

Orogenes. Bergskedjebildning.

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

Paleosom. Rester av moderbergarten i en migmatit.

Pechblände. Uranmineral.

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

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

Permeabel. Genomsläpplig.

Plagioklas. Se fältspat.

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

Plastisk skjuvzon. Se plastisk deformation.

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

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

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

Postglacial. Efter istiden (post=efter)

Prehmit. Silikatmineral.

Prekambrium. Geologisk tidsålder, äldre än 545 miljoner år.

Primorogen. Se tidigorogen.

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

Pyroxen. Mineralgrupp med prismatisk kristallform.

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

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

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

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

Resistivitet. (Elektriskt) motstånd.

Ryolit. Sur vulkanit (ytbergart) med granitisk sammansättning.

Rörelsebelopp. Mått på storleken av t ex en förkastning.

Sand. Jordart med kornstorlek 0.2-2.0 mm.

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

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

Sedimentgnejs. Gnejsomvandlad sedimentär bergart.

Sedimentär bergart. Till en bergart hopläkt sediment.

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

Sen-glacial förkastning. Se neotektonik.

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

Siljansringen. Rund struktur vid Siljan bildad vid meteoritnedslag.

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

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

Sillimanit. Aluminiumsilikat.

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

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

Skjuvzon. Se plastisk deformation.

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

Sköl. Zon med svagare berg än omgivningen.

Slira. Ett oregelbundet slingrande parti i en bergart.

Smektit. Ett lermineral. Viktig beståndsdel i bentonit.

Susceptibilitet. En bergarts förmåga att magnetiseras.

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

Sprickzon. Se spröd deformation.

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

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

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

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

Strukturella formlinjer. Se formlinjer.

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

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

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

Sur bergart. Bergart med > 65 viktprocent SiO₂.

Svallning. Vågornas eroderande verkan på en strand.

Svallsediment. Genom svallning frigjort material som sedan avsatts.

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

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

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

Tidigorogen. Beteckning på de äldsta djupbergarterna i en orogenes.

Tonalit. Se granitoid.

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

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

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

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

Tremolit. Se amfibol.

Tuff. Bergart bestående av bl a vulkanisk aska.

Tuffit. Bergart bestående av vulkanisk aska blandad med sediment.

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

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

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

Ur. Se units of radiation.

Urbergssköld. Se kraton.

Urgranit. Äldre benämning på tidigorogena sura djupbergarter.

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

Veckaxel. Omböjningslinjen för ett veck.

Veck. Böjd planstruktur i berg.

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

Vulkanisk aska. Finkornig produkt vid vulkanutbrott.

Vulkanisk bergart. Bergart bildad genom vulkaniska processer.

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

Vulkanit. Se vulkanisk bergart.

Weichsel-Istiden. Den senaste istiden i Sverige.

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

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

Ådergnejs. En form av migmatit med ådrig struktur.

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