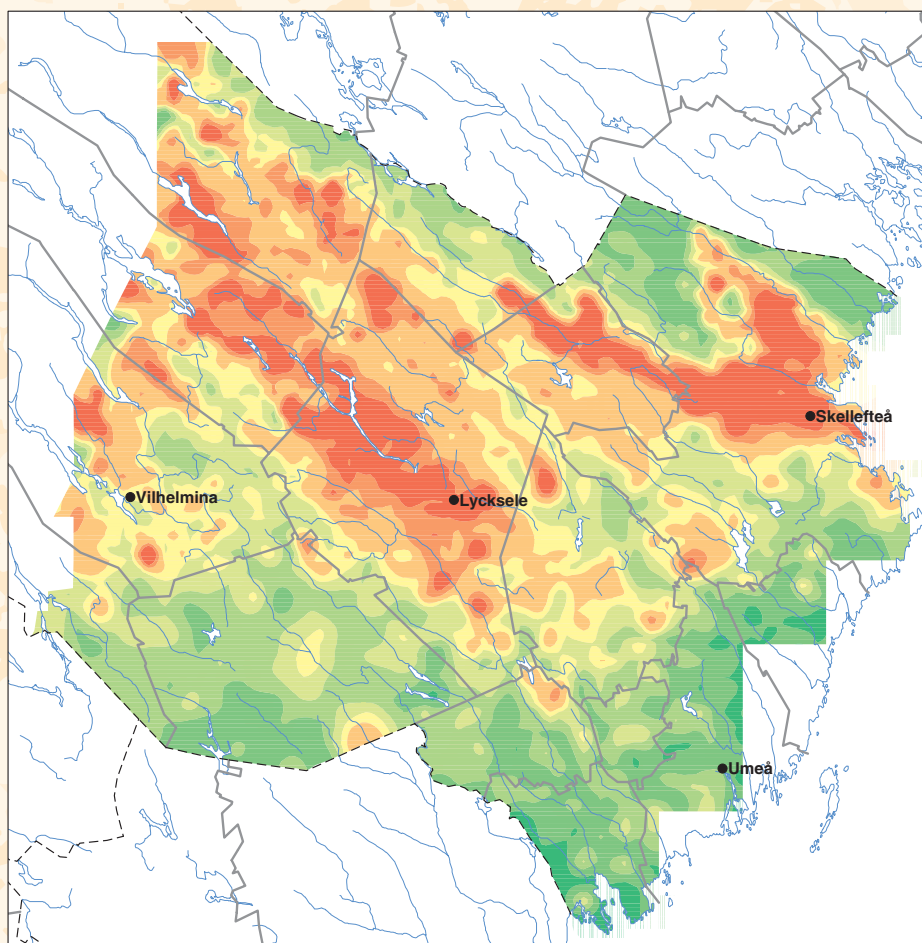


Geokemiska kartan Markgeokemi

Markgeokemiska kartan i Västerbotten

Kaj Lax



K 7

Geokemiska kartan Markgeokemi

Markgeokemiska kartan i Västerbotten

Kaj Lax

Sveriges geologiska undersökning
2005

ISSN 1652-8336
ISBN 91-7158-701-2

Geokemiska kartor publicerades tidigare i SGUs serie Rapporter och meddelanden och i serie Gk. En lista över tidigare publikationer återfinns på sidan 63.

Närmare upplysningar erhålls genom
SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Box 670
751 28 Uppsala
Tel 018-17 90 00

Omslagsbild: Arsenik i morän i Västerbotten.

© Sveriges geologiska undersökning

Tryck: Elanders Tofters, 2005

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Geokemisk kartering vid SGU	4
Användning av de markgeokemiska kartorna	4
Provtypen morän	5
Metodik	6
Provtagning	6
Provberedning	7
Analysering	7
Kvalitetskontroll	7
Kartor	8
Elementens förekomst och rörlighet	10
Geologiska förutsättningar	10
Markprocesser	11
Lakbarhet och associationer	12
De kemiska elementen i näringskedjan	13
Geologin i Västerbotten	14
Berggrund	14
Malmer och mineraliseringar	16
Kvartär utveckling	16
Geokemi – elementens förekomst och associationer i morän	18
Allmänt	18
Miljögeokemi – morän och andra sediment	54
Malmprospektering	57
Andra geokemiska undersökningar	58
Referenser	59
Summary	61

GEOKEMISK KARTERING VID SGU

Föreliggande rapport utgör en del av en presentation om markens naturliga innehåll av grundämnen i Sverige, samt surhetsgraden mätt som pH. Rapporten, som är en fortsättning på den serie rapporter om markgeokemi som tidigare givits ut i serierna Rapporter och meddelanden samt Gk, omfattar Västerbottens län exklusive fjällkedjan. Till vissa delar har föreliggande rapportområde tidigare getts ut, se Andersson 1988, Andersson 1990, Andersson & Lax 1996, Andersson m.fl. 1997, Andersson & Lax 2000.

Kartor över de kemiska parametrarna baseras på moränprover tagna på ca 0,7–1,2 meters djup och analyserade på finfraktionen (<0,063 mm). Alla mätvärden lagras tillsammans med koordinater i en lättåtkomlig databank. Analoga eller digitala data eller kartor tillhandahålls efter begäran från SGUs kundtjänst.

Rapporten innehåller utdrag ur den geokemiska databasen. Den markgeokemiska informationen har för detta ändamål tagits fram med syftet att visa enskilda grundämnens regionala frekvens och distribution. De flesta analyserade element som uppfyller stipulerade krav på analyskvalitet redovisas. För några element och vissa tematiska kartor har resultat från NSGs –SGABs morängeokemiska projekt ”Guld i Sverige” inkluderats.

Den geokemiska karteringen vid SGU bedrivs i syfte att visa fördelning av huvudämnen och spårämnen i mark och ytvatten. Två typer av provtagningsmaterial används för att åskådliggöra detta. Den ena provtypen är oorganisk och utgörs i huvudsak av morän, som avspeglar markens naturliga kemiska sammansättning. Karteringstypen kallas markgeokemisk kartering och täcker hittills stora delar av Götaland och Norrland, samt delar av Svealand. Förutom morän tas även ett representativt urval av andra oorganiska sediment. Dessa redovisas dock ej i kartform i denna rapport.

Den andra provtypen är organisk och utgörs av bäckvattenväxter, som visar tillgängligheten av metaller i det vatten som omflyter växterna. Kartering med den senare provtypen kallas biogeokemisk kartering (se t.ex. Holmberg m.fl. 1999) och en exempelkarta redovisas i denna rapport (se Wolfram).

Ansvaret för rapporten är Kaj Lax. Fackgranskning har gjorts av kolleger vid SGU: Madelen Andersson och Harald Ressar (geokemi), Hanna Lokrantz (kvartärgeologi) och Anders Hallberg (berggrund och mineraliseringar).

ANVÄNDNING AV DE MARKGEOKEMISKA KARTORNA

Markgeokemiska data används bland annat inom mineralprospektering, miljöövervakning, markforskning, skogsbruk, kommunal planering och medicinsk forskning. Med teman som malmletning, försurning, recipientskydd och förorenad mark anpassas kartor och information till olika relevanta verksamhetsområden.

Kartorna, som visar den naturliga förekomsten av grundämnen i marken, ger information om halter av huvudkomponenter och spårämnen i miljön med avseende på det geologiska ursprunget. Antropogen påverkan bidrar ytterst sällan eller lite till de förekomster av metaller och andra element som uppmäts. I Sverige anses ett undantag från detta vara områden runt Falun, som förorenats av gruvdriften vid Falu Koppargruva till den grad att t.o.m. C-horisonterna långt ifrån själva gruvan förorenats (Ek m.fl. 2001). Endast om påverkan är kraftig kan med andra ord påverkan ses, och då i allmänhet endast i utsläppskällans omedelbara närhet – dylika utsläppskällor undviks i möjligaste mån vid provtagning.

Förekomst och spridningsmönster i moränens C-horisont bildar således olika naturliga geokemiska provinser, man kan säga att den geokemiska statusen varierar. Till exempel innebär hög förekomst av nyttiga, basiska ämnen i mineraljorden oftast att pH är relativt högt, och att vittringsbenägna mineral frigör tillräckligt med ämnen som växter och djur tillgodogör sig.

Den geokemiska statusen är därför god. Inom andra regioner kan i stället nyttiga ämnen förekomma i låga halter eller med låg lakbarhet, samtidigt som pH kan vara lågt. Den geokemiska statusen är därmed betydligt sämre.

Många av de nyttiga spårämnena är samtidigt tungmetaller. Förekommer de med höga halter, eller i olika associationer, kan de i vissa fall indikera mineralisering, vilket är av intresse vid malmprospektering, men kan också, speciellt i låga pH-regioner, betyda att skadliga tungmetaller riskerar läcka ut till grundvattnet. Låga halter av ett essentiellt spårämne i marken indikerar att risk för att en bristsituation på det nyttiga ämnet kan uppstå eller redan råder.

Eftersom provtypen avspeglar den naturliga metallhalten i marken kan de markgeokemiska resultaten användas som underlag vid undersökning av förorenad mark. Detta behandlas i ett separat kapitel.

PROVTYPEN MORÄN

Jordarten morän förekommer över så gott som hela Sverige – totalt anses ca 75 % av berggrunden vara täckt av morän (Sveriges Nationalatlas 1994). Moränen har generellt sett avsatts av flera inlandsisar, varav den senaste smälte för ca 14 000 (i söder) till ca 8 500 (i norr) år sedan. Isen eroderade berggrunden och transporterade iväg det nybrutna materialet tillsammans med varierande mängder äldre jordarter avlagrade före nedisningen. Förekomst av preglaciala sediment i morän har bl.a. konstaterats i Finland, där en del geokemiska drag i morän i västra Finland antas bero på inblandning av gamla havssediment (leror) i moränen (Lintinen 1995).

Tre huvudtyper av morän förekommer: basalt deponerad morän, utsmältningsmorän samt flytmorän. Basalt deponerad morän avsätts under en aktiv glaciär genom att material i princip skrapas av mot underlaget. Resultatet blir ofta en hårt packad morän med relativt få strukturer. Den är ganska homogen vad avser utseende, textur och innehåll. Inom undersökningsområdena kan det antas att materialet i en morän av denna typ är ganska korttransporterat. Denna moräntyp ger därför i regel den bästa speglingen av den lokala berggrunden.

Utsmältningsmorän bildas när materialet sakta smälter fram ur is som vanligen är stagnant. Denna process kan medföra att moränen på vissa ställen tvättas ur på finmaterial och tunga mineral. Dessa kan sedan anrikas t.ex. runt stenar vilket medför att denna moräntyp kan vara ganska inhomogen. Eftersom den kan vara transporterad uppe på glaciären kan den dessutom ha sitt ursprung långt ifrån depositionsplatsen och därför ge en sämre spegling av den lokala berggrunden.

Flytmorän avsätts genom att vattenmättad morän skredar ut från t.ex. ett isberg. Den kan i detta sammanhang (geokemiska tolkningsmöjligheter) sägas ha samma egenskaper som utsmältningsmorän. Såväl utsmältnings- som flytmoräner täcker ibland basalt deponerade moräner.

Normalt har en basalt deponerad morän en jämn eller regelbundet strömlinjeformad översyta. Utsmältningsmoräner och flytmoräner bildar ett mer oregelbundet småkulligt landskap. En basalt avsatt morän är ofta massiv till sitt utseende och saknar strukturer. Utsmältningsmorän och flytmorän innehåller däremot strukturer av olika slag med omväxlande grovt och finkornigt material. Om utsmältningsprocessen sker långsamt blir dock resultatet en ganska massiv utsmältningsmorän som kan vara svår att skilja från en basalt deponerad morän. I detta fall blir inte heller urtvättningen av finmaterial och tunga mineral så utpräglad. För mer ingående diskussioner rörande olika moräntyper, strukturer och texturer, se t.ex. Krüger (1979).

Oavsett moräntyp finns ofta ett samband mellan andelen finkornigt material i moränen och metallinnehåll – ju större andel finkornigt material desto högre metallhalt. Det finns dock undantag från detta, och moränens sammansättning kan sammanfattningsvis sägas avspegla såväl modern materialet som de moränbildande processerna.

Transportlängden, som är en viktig parameter vid framför allt morängeokemisk malm-

prospektering, kan för moräner variera kraftigt. Det är här viktigt att skilja på transportlängder för olika kornstorleksfraktioner i moränerna. Allt eftersom eroderade bergartsfragment nöts ner minskar t.ex. förekomsten av en bergart i blockfraktionen medan representationen i finare fraktioner ökar. En undersökning i Finland (Bouchard och Salonen 1990) har visat att många moräner transporterats mindre än 20 km, och de flesta betydligt kortare. I Sverige har inga motsvarande undersökningar utförts.

Trots att svårigheter vid tolkning ibland uppträder vad gäller komplexa bildningssätt för moräner, variationer i transportlängder etc., finns få alternativ till denna provtyp om avsikten är att få en bild av berggrundens generella sammansättning. Direkt bergartsprovtagning är ofta dyr, och på grund av homogenitetsproblematik kan resultaten bli missvisande. Moränprovtagning är generellt sett betydligt billigare, och resultaten kan ses som kompositprov av moderbergarterna.

METODIK

Provtagning

För karteringsändamål insamlas moränproverna med kriterierna att de ska vara representativa för regionen och om möjligt tillhöra typen sandig eller sandig siltig morän. Dessutom skall potentiellt förorenade områden undvikas.

Topografiska kartor i skala 1:50 000 (1:100 000 i delar av Norrlands inland) används för att lägga ut ett rutnät med tämligen jämn fördelning av proverna och om möjligt vinkelrätt mot de isrörelseriktningar som finns dokumenterade. Avståndet mellan proverna är normalt ca 2,5 km, vilket innebär att det insamlas ungefär 15 prover per kvadratmil. Vid provtagningen genomgrävs markprofilen för hand med spade och spett. Man får därigenom god möjlighet att upptäcka om provet av någon anledning är olämpligt att ta, på grund av svallning, växrötter, djupt gående markprocesser, underliggande sediment etc. Provet, som uppgår till ca 0,8 kg, tas sedan ett stycke ner i C-horisonten genom att material slås loss på några ställen i gropens botten (fig. 1). Analyserna från dessa prover utgör därför en relativt homogen och jämförbar statistisk population, där förutsättningarna för grundämnenas haltvariation bygger på olikheter i ursprunglig kemisk sammansättning.

Provtagningen sker förutsättningslöst, dvs. ingen hänsyn tas till förekomst av malmer, mineraliseringar eller bergartsförekomster. Där- emot tas viss hänsyn till läget för prov tagna inom ramen för NSG-SGABs regionala kartering, detta för att en eventuell sammanslagning av resultaten från de olika databaserna skall ge så god täckning som möjligt.

Om B-horisont eller svallkappa är för märk- tig för att grävas genom, där håll påträffas nära markytan eller där materialet är för blött för att kunna provtas, flyttas provpunkten något. Provdjupet varierar efter förhållandena men är normalt 0,7–1,2 m.



Fig. 1. Typisk provlokal i podsol från Norrland. Provdjup ca 0,8 m.

Typical sampling site in podzol from Norrbotten. Sampling depth approximately 0.8 m.

Provberedning

Proverna vakuumtorkas och siktas på nylonsikt med 0,063 mm maskvidd. Anledningen till fraktionering av prov före analys är att den så kallade finfraktionen (<0,063 mm) så gott som uteslutande innehåller monomineralkorn. Grövre fraktioner består av dubbelkorn, vilket ökar haltvariationen vid upprepade provtagning och analys. Det är därmed betydligt svårare att ta representativa prover och att få reproducerbarhet i analyserna om grövre fraktioner analyseras. Finfraktionen behöver inte heller malas före analys, vilket annars kan ge oönskad kontaminering av proven.

Ett urval av proven analyseras även på fraktionen <2,0 mm. Detta sker för att erhålla information om sambanden mellan ämneshalter i de två fraktionerna, eftersom fraktionen <2,0 mm ofta föredras inom miljö- och skogssektorn.

I samband med siktningen testas samtliga prover med saltsyra (HCl) för att detektera eventuellt kalkinnehåll. Fraktionerna över 0,063 mm samt den mängd material <0,063 mm som inte behövs för analyser, arkiveras för eventuella framtida analyser.

Analysering

Proverna analyseras med röntgenfluorescens (XRF), varvid totalhalter från drygt 30 ämnen erhålls. Dessutom görs en partiell lakning av proverna med kungsvatten och 7M HNO₃, och den lösta delen av provet analyseras med plasmateknik (ICP-MS). Med denna analysmetod erhålls också ett trettiofem ämnen. Guldanalyser har tidigare gjorts med grafitugn och atomabsorption (GF-AAS), sedan 1996 med ICP-MS.

Omkring 15 % av de insamlade proverna uppslammats i avjoniserat vatten och pH-bestäms. Med ytterligare en pH-mätning efter tillsättning av vätejoner i form av utspädd svavelsyra (0,005 M) beräknas provets förmåga att motstå surt markvatten, dvs. dess buffertkapacitet eller försurningsresistens (hädanefter används begreppet försurningsresistens). Det är viktigt att notera att pH ligger 0,5–1 enhet lägre i fraktionen <0,063 mm, jämfört med pH mätt i fraktionen <2,0 mm. Detta beror troligen på att den finare fraktionen innehåller fler partiklar per gram torkat prov vilket därigenom ger en större sammanlagd partikelyta. Det är vid markpartiklarna de vätejoner har adsorberats, som man mäter i det uppslammade provet. Fler vätejoner medför med andra ord lägre pH-värde. Observera att eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär varje sänkning med en pH-enhet att halten vätejoner (egentligen oxoniumjoner, H₃O⁺) i lösningen ökar tiofald.

Kvalitetskontroll

Vid all hantering av analyser är en omfattande kvalitetskontroll nödvändig. Varianser, dvs. haltvariationer, kan uppstå och uppstår i princip i varje enskilt skede vid en geokemisk kartering. Genom att undersöka dubbelprov (replik) tagna i fält undersöks den s.k. totalvariansen (fig. 2). I denna ingår varianser som uppkommer p.g.a. småskalig inhomogenitet i moränens sammansättning (som normalt är relativt liten, undantaget guld som uppvisar en s.k. kluster- eller nuggeteffekt), varianser uppkomna vid torkning, siktning, uppvägning, uppslutning och analys. Även analysvariansen undersöks, detta med hjälp av internt standardprov. Det bör påpekas att enbart kännedom om analysvariansen inte är tillräcklig för att bedöma resultatens användbarhet vid geokemisk kartering, totalvariansen är en minst lika viktig och i vissa fall bättre bedömningsgrund. I dagsläget utgör ca 10 % av alla analyser någon form av kontrollprov.

På basis av statistisk och visuell granskning kan fel upptäckas och åtgärdas, och endast grundämnen med god eller tillfredsställande kvalitet offentliggörs. För att få jämförbara resultat är från år i det fortlöpande analysarbetet finns även kontrollprover inlagda, och en visuell kontroll

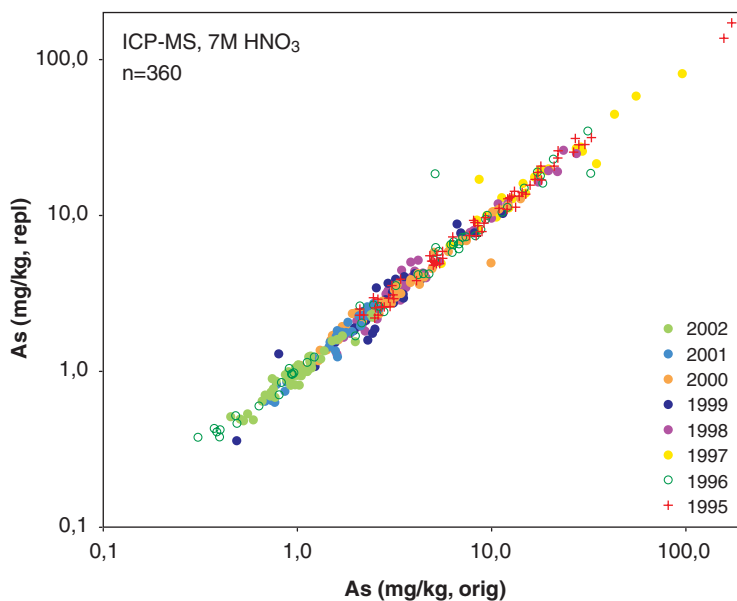


Fig. 2. Korrelation mellan fältreplikat och originalprov för As. Analysmetod 7M HNO₃/ICP-MS.

Correlation between field replicate samples and original samples for As. Method 7M HNO₃/ICP-MS.

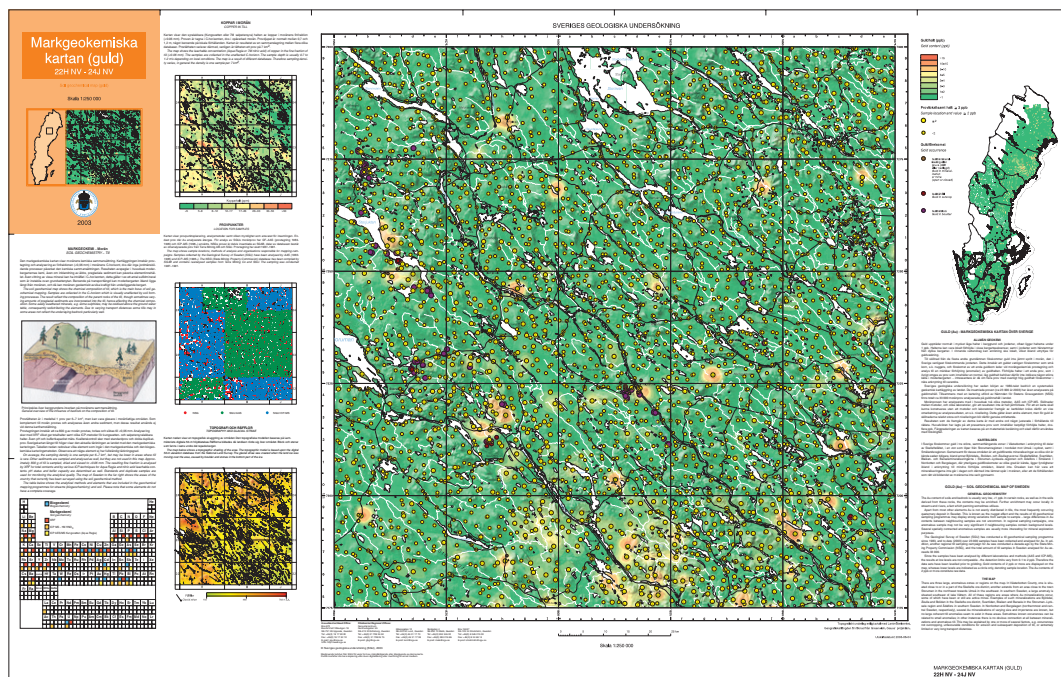
av resultaten i kartform (där nya resultat jämförs med äldre) sker elementvis. Kvalitetskontrollen påminner till stora delar om den som tillämpas vid Geologiska Forskningscentralen i Finland (Salminen 1995). Vid SGU tillämpas dock sedan 1995 analys i slumpmässig provordning (s.k. randomisering) för att ytterligare öka möjligheterna till kvalitetskontroll.

Kartor

I föreliggande rapport redovisas de flesta av analysparametrarna i form av singelelementkartor. Huvudsaklig kartskala är 1:2 miljoner. Utöver de presenterade kartorna kan efter önskemål kartor beställas av totalhalter respektive syralösliga halter av ett trettioal huvud- och spårämnen inklusive guld, samt pH. Även beräknade kartor utvisande prognos för baskatjonbildning, försurningsresistens, samt lakbarhet för aluminium och andra huvudelement, och lakbarhet för några spårämnen, kan tas fram. För metallerna guld, koppar, bly, zink, kobolt, nickel, krom och vanadin kan dessutom plottade kartor i valbar skala (1:250 000 och 1:100 000, se förminskat exempel på s. 9) framställas. För beställning av dessa eller för kartframställning i andra skalor eller av andra element kontakta Kundtjänst på SGU.

Färgkartorna är gjorda efter det att de geografiskt oregelbundet placerade analysvärdena gjorts om till ett regelbundet punktnät (grid) med interpolerade värden. Den färgade ytan visar därmed endast en matematiskt beräknad halt (eller annan parameter), och skall därför behandlas med viss försiktighet. Detta innebär även att den färgade ytan kommer att täcka också områden med andra sediment än morän, och speciellt i dylika områden kan avvikelser mellan verklig och beräknad halt vara stora.

Färgskalorna för markgeokemiska elementkartor är satta från grönt (låga halter) till rött (höga halter). För tematiska kartor används andra färgskalor för att undvika sammanblandning. Oberoende av färgskala är det viktigt att påpeka att höga halter eller andra värden inte automatiskt innebär att t.ex. någon risk för negativ miljöpåverkan föreligger – färgskalan används bara för att kunna sätta olika geokemiska regioner i relation till varandra. Klassindelningar med percentiler på färgkartorna grundar sig på rikets klassindelning om ej annat anges.



Exempel på plottad karta.

I vissa fall är kartorna baserade på data från olika analysmetoder. Olika analysmetoder innebär ibland att resultaten skiljer sig från varandra och om detta ej korrigeras uppstår konstgjorda låg- eller högområden på kartan. För att maximera läsbarheten i några av kartorna har viss s.k. nivellering skett, oftast genom addition eller multiplikation med en konstant av mindre delar av grunddata. Detta gäller t.ex. de kartor över syralakbara halter av As, Cu, Pb, Ni och Zn som baserats på såväl SGU-data som data från NSGs kartläggning. Nivelleringen har här skett genom att elementvisa percentiler från de olika dataseten tagits fram och jämförts, varefter det ena datasetet multiplicerats eller adderats med en konstant.

ELEMENTENS FÖREKOMST OCH RÖRLIGHET

Geologiska förutsättningar

Berggrundens kemiska sammansättning varierar beroende på de ingående bergarternas sammansättning och proportioner. Halterna av många metaller är t.ex. jämförelsevis låga i de sura kiselsyrorika bergarter som dominerar den svenska berggrunden. I basiska bergarter ("grönstenar") finns däremot högre innehåll av bl.a. kobolt, koppar, krom och nickel. Finns skifferinslag blir halterna ofta betydligt högre eller mycket höga för en del spårämnen, t.ex. uran. I tabell 1 visas medelhalterna för element i olika, vanligt förekommande bergarter i Finland (Koljonen 1992), där bergarterna är relativt lika jämfört med Sveriges bergarter.

Tabell 1. Element och medeltotalhalt i olika vanligt förekommande bergarter i Finland (Koljonen 1992). A: Basiska bergarter, B: Graniter och granodioriter, C: Skifferar, D: Sandstenar, E: Kalkstenar.

Average total contents of elements in common types of bedrock in Finland (Koljonen 1992). A: Mafic rocks, B: Granites and granodiorites, C: Shists and shales, D: Sandstones, E: Limestones.

Element	A	B	C	D	E	Halt
Al	8,3	7,3	9,1	3,7	0,4	%
Ba	330	600	550	300	90	mg/kg
Ca	7,4	0,9	2,2	1,3	38	%
Fe	8,6	2,0	5,5	1,0	0,5	%
K	0,8	3,3	2,7	1,1	0,3	%
Mg	4,6	0,5	1,6	0,7	0,4	%
Mn	1500	400	850	100	700	mg/kg
Na	2,0	2,5	1,3	1,7	0,6	%
P	1200	750	800	30	350	mg/kg
Si	22,7	33,7	28,8	40,3	3,1	%
Ti	1,0	0,3	0,6	0,15	0,04	%
Ag	100	50	80	3	10	µg/kg
As	2	3	13	0,5	1,5	mg/kg
Au	1,5	2,0	2,0	0,5	0,1	µg/kg
Be	1,0	5,0	3,0	0,7	0,5	mg/kg
Bi	0,05	0,2	0,25	0,05	0,1	mg/kg
Cd	0,2	0,1	0,25	<0,04	0,1	mg/kg
Cl	130	200	200	10	150	mg/kg
Co	45	4	20	0,3	0,1	mg/kg
Cr	250	10	100	35	5	mg/kg
Cu	90	12	45	2	16	mg/kg
La	6	50	40	20	6	mg/kg
Li	10	30	60	10	5	mg/kg
Mo	1,2	1,5	2,0	0,3	0,3	mg/kg
Ni	130	5	70	2	5	mg/kg
Pb	4	20	22	10	5	mg/kg
Pd	0,6	0,2	0,5	0,2	0,1	µg/kg
Rb	30	120	140	40	4	mg/kg
S	900	100	1100	200	500	mg/kg
Sb	0,2	0,3	1,0	0,05	0,15	mg/kg
Sc	35	5	15	3	1	mg/kg
Se	120	25	300	10	25	µg/kg
Sn	0,9	3,6	5,0	0,6	0,3	mg/kg
Sr	400	220	250	100	500	mg/kg
Th	2,2	15	12	5	2	mg/kg
Tl	180	1100	1000	400	50	µg/kg
U	0,5	4,0	3,2	1,3	1,0	mg/kg
W	0,6	1,5	1,8	1,0	0,5	mg/kg
Y	20	35	30	15	4	mg/kg
Zn	100	50	100	20	40	mg/kg
Zr	120	200	160	250	20	mg/kg

Eftersom jordarten morän består av bergartsfragment med varierande kemisk sammansättning varierar också innehållet av huvudämnen och spårämnen. Moränen i ett område har också

transporterats mer eller mindre långt och har därför ofta en något annorlunda sammansättning än den underliggande berggrunden. Tydligast syns detta där t.ex. ett granitiskt berggrundsområde har en ovanliggande morän med inslag av basiska bergarter. Kartbilden får då mindre områden med högre halter av t.ex. magnesium i en annars magnesiumlåg region. Inblandning av äldre jordarter i moränen kan också inverka.

I undersökningsområdet finns exempel på hur moräner geokemiskt avviker från underliggande berggrund genom förhöjda metallhalter trots att bergarterna under moränen sannolikt är metallfattiga. Detta kan bl.a. ses vid fjällkedjeranden, där vissa fjällkedjebergarter uppträder i moräner som underlagras av olika granitoider.

Tilläggs kan, att man med sura bergarter menar att bergarten har hög halt av kisel syra, inte att bergarten har låga pH-värden. Ren finmald kvarts, som är extremt kisel syrarik, har höga pH-värden.

Markprocesser

Om markens buffringsförmåga är låg sjunker pH när försurande vätejoner tillförs, antingen via naturliga processer eller antropogen försurning. När pH sjunker ökar urlakningen av näringsämnen, Al och vissa tungmetaller, t.ex. Cd, och dessa transporteras ut i vattendragen. Andra ämnen som P och Mo binds hårdare i marken. Buffring vid måttligt låga pH-värden, 6,2–4,2, sker genom att vätejonerna byts ut mot joner av Ca, Mg och K, vilka då lakas ur. Om tillgången på dessa joner är stor, t.ex. om berggrunden består av kalksten, är denna buffring mycket effektiv. I urbergsområden är dock detta buffringssystem ofta av underordnad betydelse. Detta beror på att även om t.ex. granit och gnejs innehåller kalciummineral (såsom plagioklas) är vittringsbenägenheten lägre. Sjunker pH under 4,5 sker buffringen med aluminiumjoner som då istället tillförs markvattnet, ofta tillsammans med bl.a. Cd, Ni, Mn och Zn.

Vertikalt i marken varierar den kemiska sammansättningen bl.a. på grund av de markprocesser som bildar markprofilen. Vilken typ av markprofil som bildas beror på ett flertal faktorer, bland dem kan nämnas jordart, mineralinnehåll, markanvändning och vegetation. Den vanligaste markprofilen i svensk skogsmark är podsol, som utvecklas i näringsfattiga marker (fig. 1). I dess översta mineraljordshorisont, blekjorden, har kemiska och biologiska processer lakat ur de flesta huvudämnen och metaller. Några av dessa, t.ex. Fe och Al, har fällts ut i den underliggande, ofta rostfärgade, B-horisonten. Halterna av ämnen i dessa båda markskikt orsakas delvis av naturliga, geologiskt betingade markmineral, eller mineral och föreningar som bildats vid vittring. En del ämnen kan dock tillföras via luft och nederbörd. Denna föroreningsfaktor tilltar i betydelse i befolkningstäta eller industriintensiva områden. Under B-horisonten, i C-horisonten, har markprocesserna stabiliserats, marken befinner sig i jämvikt och grundämnena förekommer så gott som uteslutande i primära bergartsmineral. Undantag från detta är t.ex. vissa sulfidmineral som är instabila ovan grundvattenytan. Metaller som frigjorts när dessa mineral vittrat har istället fastlagts i andra former, exempelvis genom jonbytesprocesser (t.ex. Cu^{2+} för K^+ i biotit).

Av figur 3 framgår fördelningen för 10 element i en typisk podsolprofil (från Norrbotten). Av denna framgår att Al, Fe, Cr och V anrikas i anrikningshorisonten (B) och Al även i B/C-övergångshorisonten. Cu, Mg och Ca visar däremot en annan trend där halterna från urlakningshorisonten (E) stiger med djupet, och trenden verkar fortsätta även i C-horisonten. Orsaken till denna trend kan vara jordmånsbildande processer, men även ökande inslag av en mer lokal (och därmed Ca, Mg och Cu-rikare) morän med djupet kan påverka bilden. Eftersom profilen provtogs i ett område där grundvattenytan låg ganska ytligt kan en undulerande grundvattenyta även påverka geokemin i C-horisonten.

En annan relativt vanlig markprofil är brunjordar, som utvecklas i mer näringsrik mark. I dessa saknas blekjorden och B-horisonten har en annan karaktär med högre halt organiskt

material. Brunjordar kan också vara något mäktigare än podsoler, men det är i princip ingen skillnad på materialet i C-horisonten utom att det är mer näringsrikt.

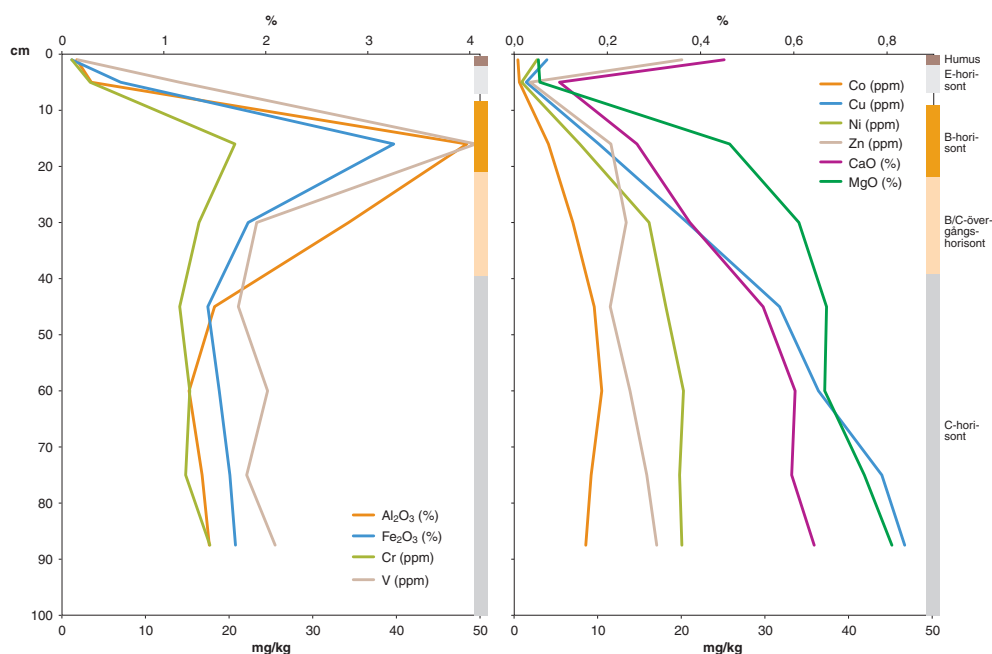


Fig. 3. Podsolprofil i Norrbotten och analys av ett antal grundämnen. Åtta prov i de olika horisonterna, varav fyra i C-horisonten.

Profile sampled in a podsol in Norrbotten: Eight samples of which four in the C-horizon.

Lakbarhet och associationer

Ett mått på elementens rörlighet är deras lakbarhet, som varierar kraftigt beroende på vilka mineral de sitter bundna i. Hög lakbarhet för ett element anger att en procentuellt stor del av den totala tillgången på elementet blir lösligt vid en tillsats av syra, i detta fall kungsvatten eller salpetersyra. Detta anger elementets tillgänglighet på sikt för växterna, och för markens neutraliseringsförmåga. En låg lakbarhet anger däremot att elementet är hårt bundet i markmineralen och svåråtkomligt.

Olika markmineral har i naturen olika benägenhet att vittra sönder, och det är genom vitt-ring som elementen frigörs. Markmineralen kan därför grupperas efter sin vittringsbenägenhet i stigande grad från de nästan helt vittringsresistenta mineralen kvarts, rutil, titanit och zirkon < kalifältspat, muskovit, natriumrika plagioklaser < hornblände, biotit, klorit, vissa pyroxener < epidot, apatit, olivin, granat, pyroxener och kalciumrika plagioklaser och slutligen de mycket lättvittrade karbonaterna, t.ex. kalcit.

Ett och samma element kan uppträda i flera olika mineral och vara olika hårt bundet. Ett sådant element är Ca, som återfinns i de flesta nämnda mineralen, från den vittringsresistenta titaniten till den mycket lättvittrade kalciten (kalksten). Kalium förekommer så gott som enbart i antingen de svårvittrade kalifältspaterna eller i mer lättvittrad biotit, medan Mg främst återfinns i sådana mineral som vittrar tämligen lätt, dvs. i hornbländegruppen och uppåt. Variationer i lakbarhet i morän ger information om provens mineralogiska sammansättning. I tabell 2 anges lakbarheten inom hela riket för några element. Tabellen baseras på beräknad lakbarhet utifrån såväl 7M salpetersyralakning som kungsvatten.

Tillgången av elementen beror alltså på mineralinnehållet i moränen och miljön moränen befinner sig i, dvs. pH, oxiderande eller reducerande miljö etc. Genom att kombinera information om ett elements totala spridning i moränen med dess lakbarhet får man en indikation om en regions geokemiska status.

Förhållandet mellan olika element kan också avslöja något om mineralinnehållet i marken. Som exempel kan nämnas elementen Ca och Sr, som är starkt geokemiskt associerade genom sina närliggande jonradier. Det kemiska släktskapet gör att Sr kan ersätta Ca i mineralens kristallgitter, och Sr förekommer därför i de flesta mineral som innehåller Ca. I magmatiska bergarter varierar dock förhållandet, eller kvoten, mellan dem beroende på i vilket kristallisationsskede bergartens mineral bildats. I ett tidigt kristallisationsskede i en svalnande magma dominerar kalciumjonen över strontiumjonen. Detta innebär att andelen Ca i förhållande till andelen Sr är högre i apatit och pyroxen, eftersom dessa mineral bildas först i den stelnande magman. I senare skeden bildas plagioklaser och förhållandet mellan elementen ändras så att andelen Ca minskar medan Sr ökar. Genom att studera mönstret för kvoten mellan dessa element, kan man därför också få en indikation på det mineralogiska innehållet i moränen, förutsatt att moränen inte består av en alltför komplex blandning av olika bergarter.

Tabell 2. Lakbarhet (medianvärden) för ett urval av analyserade element. n = antal, Lakbarhet (%) = (syralakbar halt/totalhalt) × 100.

Leachability (median values) for some of the analyzed elements. n = observations, Lakbarhet (%) = (leachable/total contents) × 100.

Element	n	Lakbarhet (%)	Minskande lakbarhet	Element	n	Lakbarhet (%)
P ₂ O ₅	13989	88,0	↓	Co	23283	25,3
Cu	23283	86,5	↓	CaO	23283	18,7
Zn	23283	68,6	↓	TiO ₂	23283	18,1
Fe ₂ O ₃	23283	61,0	↓	Rb	7287	16,2
Ni	23283	59,7	↓	Al ₂ O ₃	23283	13,4
MnO	23283	51,0	↓	BaO	23283	7,3
MgO	23283	39,5	↓	Sr	23283	6,7
V	14764	38,4	↓	K ₂ O	23283	4,6
Pb	23283	37,8	↓	Na ₂ O	23283	0,6
Cr	14764	28,8	↓			

DE KEMISKA ELEMENTEN I NÄRINGSKEDJAN

De kemiska elementen som cirkulerar i miljön härstammar till stor del från marken. Markbundna mineral vittrar och frigör element som sedan kan tas upp av växter och djur. Allt levande är beroende av ett flertal olika grundämnen för att upprätthålla vitala biologiska funktioner. För att organismerna inte skall bli lidande krävs en god balans av tillskott – alltför låga halter kan ge upphov till bristrelaterade sjukdomar medan alltför höga halter å andra sidan kan ge toxiska effekter.

Bristrelaterade eller toxiska sjukdomar hos människor och djur som direkt kan relateras till markens innehåll av grundämnen har dokumenterats på många håll i världen. I Sverige är sådana samband inte vanliga, till stor del beroende på att den kost som människor konsumerar ofta härstammar från många olika håll varför den lokala markens påverkan inte blir så stark. Det bör betonas att sambanden mellan markkemi och människors hälsa är komplexa och ibland svårutredda. Samband som trots allt har påpekats eller antagits i Sverige är bl.a. markradon–lungcancer, selenbrist–hjärtsjukdomar och Cd i dricksvatten–barndiabetes. Något som anses ha samband med lägre frekvens av uppkomna hjärt- och kärlsjukdomar, är närvaron av hårt vatten, dvs. där Ca och speciellt Mg är överrepresenterat i dricksvattnet. Dyliga samband

har konstaterats vara relativt vanliga internationellt (Karppanen 2002). Under senare tid har även förekomst av uran i dricksvatten identifierats som en riskfaktor (Kurttio m.fl. 2002) och källan till detta uran är berg- och jordartsrelaterat.

De naturliga ekosystem som omger oss är i högre grad än människan starkt beroende av den lokala marken och dess innehåll av kemiska element. Oftast har ekosystemen anpassat sig till de förhållanden som råder, men snabba miljöförändringar kan innebära starka påfrestningar. Detta kan inträffa om belastningar såsom kraftig förorening av tungmetaller eller sura regn påverkar näringskedjan.

Av de karterade elementen har bl.a. följande dokumenterat skadliga effekter på levande organismer, om elementet förekommer i ”rätt” form och halterna är tillräckligt höga: arsenik, aluminium, kadmium, koppar, molybden, nickel, krom, kobolt, mangan, tallium, zink, bly, vanadin och uran. Det bör påpekas att även om halter av potentiellt skadliga element i denna rapport klassas som höga innebär detta inte automatiskt att risk för negativ miljöpåverkan föreligger. Dels kan elementen vara relativt hårt bundna till mineral, dels kan förekomst av element med antagonistisk effekt (t.ex. kadmium–selen) påverka eventuella risker. För konkreta riskbedömningar krävs betydligt mera ingående undersökningar än vad som gjorts här.

GEOLOGIN I VÄSTERBOTTEN

Berggrund

De flesta bergarterna inom det provtagna området bildades för 1,8 till 1,9 miljarder år sedan, under den paleoproterozoiska eran. Bergarterna består av sedimentära och vulkaniska ytbergarter samt flera generationer av graniter och andra djupbergarter och utgör en del av den geologiska provinsen Skelleftefältet.

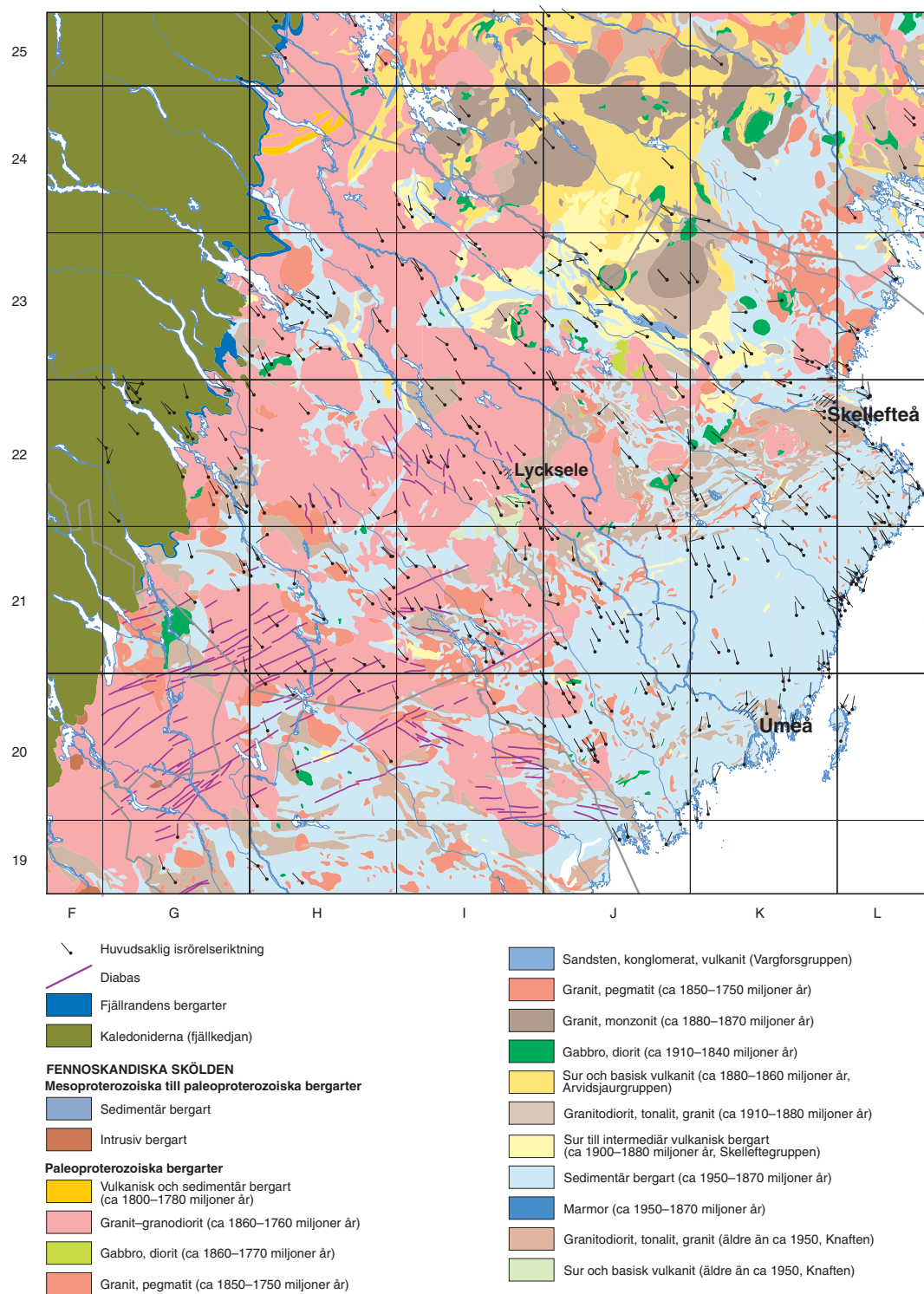
Det är idag allmänt accepterat bland geologer att de vulkaniska bergarterna i Skelleftefältet bildades i en s.k. vulkanisk öbåge som var aktiv för ca 1,8 till 1,9 miljarder år sedan. Sådana öbågar finns än idag där kontinentalplattor kolliderar, t.ex. runt Stilla havet (Nya Zeeland, Indonesien, Japan, Kamtjatka, Alaska och vidare efter den amerikanska kontinentens västsida).

En vulkanisk öbåge bildas där en kontinentalplatta dras ner under en annan, bergarterna smälter upp, stiger mot ytan och bildar vulkaner. De smältor som strömmar ur vulkanen och avsätts på markytan eller på havsbotten bildar vulkaniska bergarter. De smältor som inte når ytan bildar djupbergarter som granit, granodiorit, gabbro etc. I Skelleftefältet varierar sammansättningen av de vulkaniska bergarterna från felsiska (kiselsyrarika) till mafiska (kiselsyrafattiga) och är vanligtvis avsatta i havsvatten. Felsiska vulkaniska bergarter är vanligare än mera mafiska varianter.

Efter att vulkanismen avklingat så eroderades den vulkaniska öbågen med vulkaner, vulkaniska bergarter och djupbergarter snabbt ner och erosionsprodukterna gav upphov till de sedimentära bergarter vilka idag uppträder som glimmergnejser och skifferbergarter. Senare omvandling, s.k. metamorfos, har framför allt påverkat de sedimentära bergarterna som ibland har smält och bildat nya unga graniter, s.k. Skelleftegraniter med en ålder runt 1,8 miljarder år, eller ibland bara smält upp partiellt och bildat migmatiter.

I det karterade områdets norra del uppträder Arvidsjaurvulkaniter och därmed förknippade djupbergarter. De vulkaniska bergarterna bildades omväxlande på landytan och i grund havsmiljö.

Ett välvägränsat område vars bergarter avviker markant i såväl ålder som sammansättning från omgivande bergarter är Knaften. Detta är ett massiv av i huvudsak mafiska bergarter (t.ex. basaltiska kuddlavor, spiliter och mandelstenar), beläget ca 2 mil söder om Lycksele (på kartbladet 22I SV) och som omges av Revsundsgranitoider och glimmergnejser.



Berggrundskarta över Västerbotten.

I områdets västligaste del uppträder fjällrandens bergarter. De utgörs huvudsakligen av alunskifferar och kvartsiter med skifferinslag, dels autoktona och dels tillhörande den undre skollberggrunden. Dessa fjällrandens bergarter varierar något i ålder, från neoproterozoiska till siluriska.

Geokemiskt skiljer sig bergarterna i det undersökta området starkt från varandra (Svensson 1980). Så är t.ex. skillnaden mellan många av fjällrandens sedimentära bergarter och graniter

avsevärd i fråga om de flesta element, såväl huvudelement som spårelement. Gammaskpektrometermätningar av bergarter har bl.a. visat att flera bergarter i länet håller en uranhalt som överstiger gränsen för högrisk vid översiktlig radonklassning (8 mg/kg).

Mer detaljerade redogörelser för länets berggrundsgeologi återfinns bl.a. i SGUs serie Rapporter och meddelanden (Wahlgren 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, Delin 2001) samt i Allen et al (1997).

Malmer och mineraliseringar

Sverige har tre betydande malmprovinser: Bergslagen, norra Norrbotten och Skelleftefältet, och det är också i dessa områden som gruvor finns idag. Tillsammans producerades malm till ett värde av ca 3 miljarder kronor från dessa malmprovinser (siffror för år 2003) där varje provins stod för ungefär en tredjedel var.

Skelleftefältet brukar definieras som det 150 × 50 km stora området med vulkaniska bergarter som sträcker sig från Kristineberg i väster till Boliden i öster. Av de totalt nio gruvor som idag är aktiva i Sverige ligger sex i Skelleftefältet. Förutom existerande gruvor finns ett flertal nedlagda gruvor, samt ett mycket stort antal kända mineraliseringar av varierande slag, främst sulfidmineraliseringar. Totalt finns inom den karterade ytan 309 mineralfyndigheter i SGUs databas. Av dessa är 48 industrimineral eller byggnadssten. Malmprospekteringen i såväl Skelleftefältet som andra områden har således varit, och är fortsättningsvis, intensiv.

De flesta gruvor och mineraliseringar i Skelleftefältet utgörs av sulfidmalmer, där Zn, Cu och Pb är de viktigaste metallerna. Typiskt för Skelleftefältet är att malmerna ofta innehåller betydande halter av guld och silver. Det finns även andra typer av malmer och mineraliseringar. Som exempel kan nämnas Björkdalsgruvan (guldmalm) och Lainjaur (nedlagd nickelgruva). I fjällrandens bergarter uppträder Pb-Zn-(Ag)-sulfidmineraliseringar, varav Laisvallgruvan (belägen i Arjeplogs kommun i Norrbotten, bröts till 2001) är den mest kända. För en närmare beskrivning av Skelleftefältets geologi med speciell hänsyn till malmgeologi se t.ex. Weihed och Mäki (1997) och Allen et al. (1997).

Kvartär utveckling

Enligt Hättestrand (1998) kan den här redovisade ytan (den undersökta delen av Västerbotten) indelas i tre glacialmorfologiskt olika områden. Längst i väster uppträder en region ("the premontane region") karakteriserad av en underliggande isrörelseriktning från nordväst, men överlagrad av mindre glaciala former som indikerar varierande grader av avvikelser. De senare kan sannolikt i de flesta fall knytas till avsmältningsprocesser. Öster om detta område följer den region som upptar största delen av undersökningsområdet. Denna benämns av Hättestrand (1998) för "inre drumlinregionen" (eng. "the interior drumlin region") som karakteriseras av drumliniserad terräng med isälvsavlagringar i älvdalarna. Olika moränbacklandskap, ibland med transversa ryggar, upptar ställvis stora ytor i större älvdalar (Bergel m.fl. 1999). Regionen övergår österut i ett kustnära område som är starkt drumliniserat och där transversa moränryggar i form av De Geer-moräner är vanliga.

Moränen i området är en produkt av flera nedisningsfaser. Detta har bl.a. visat sig vid grävningar där flera olika horisonter konstaterats (se t.ex. Eklund 1991). Det absoluta åldersförhållandet för dessa är osäkra. Den huvudsakliga isrörelseriktningen (uppmätt genom räffelobservationer och partikelorienteringsanalys) är från nordväst (norr i sydöstra kustregionen), även om andra riktningar uppmäts. Osäkerhet föreligger angående hur mycket dessa avvikande transportriktningar inverkat på spridningsmönstren, men de regionala, geokemiska spridningsmönstren följer den nordvästliga huvudriktningen mycket väl. Vad gäller uppmätta transportlängder finns lite information att tillgå. Bergartsfragment påträffas i vissa fall flera

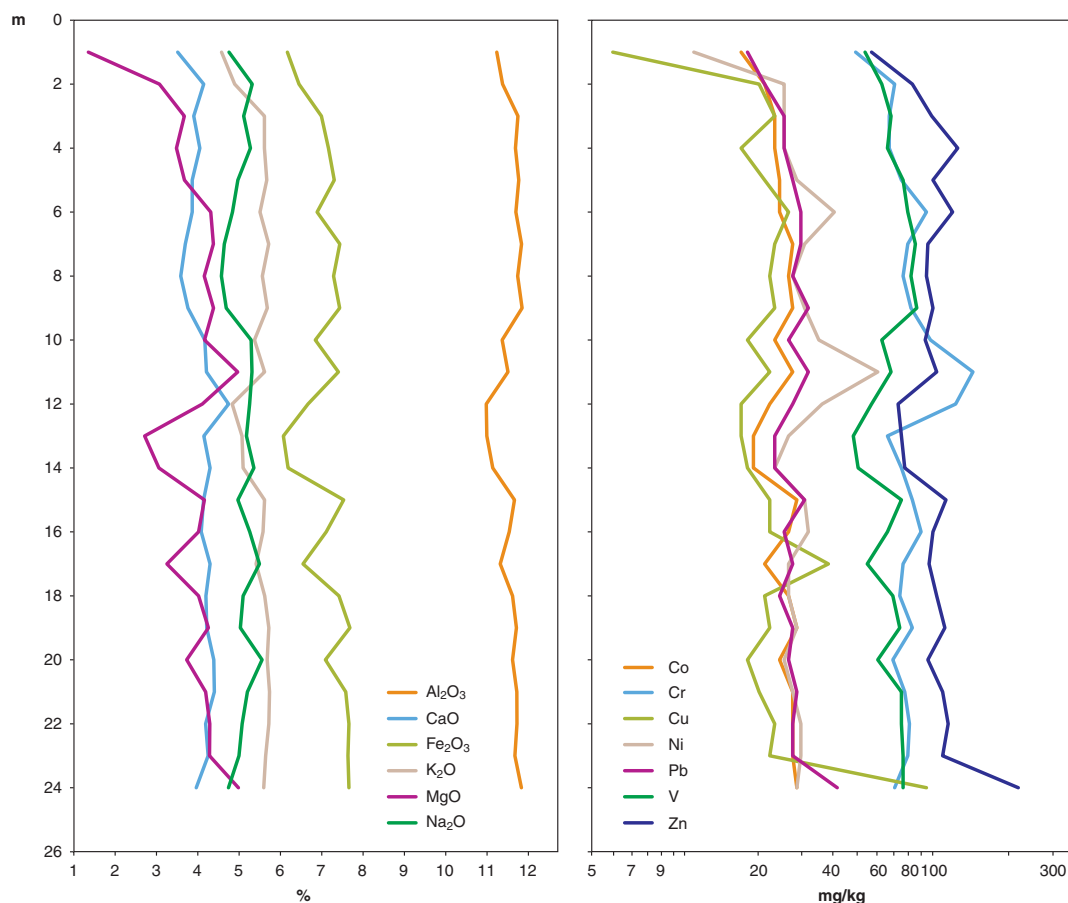


Fig. 4. Djupprofil i morän vid Rävliedmyrgruvan (231 SV). Analysmeod XRF (totalhalter), fraktion <0,063 mm. Deep profile at Rävliedmyrgruvan (231 SW). Analysed by XRF (total contents), <0.063 mm.

mil från källklyften, men i vilken mån detta avspeglas i den här analyserade och redovisade finfraktionen är oklart.

Högsta kustlinjen (HK) berör i området de kustnära regionerna och syns tydligt i landskapet i form av svallad morän och svallsediment. HK uppträder normalt 3–4 mil från kusten (som högst ca 270 meter över dagens havsytta), men kan nå ännu längre mot inlandet längs älvdalarna, som längst några kilometer norr om Lycksele. Svallad morän ingår inte i det geokemiska provtagningsprogrammet. I de fall provtagning har skett i svallade områden har det varit möjligt att gräva sig ner igenom den påverkade delen av moränen.

I samband med den kvartärgeologiska karteringen på Norsjö-, Storavan- och Malåbladen utfördes även geokemisk provtagning i ett tjugotal maskingrävda moränprofiler samt en dokumentation av den ca 30 m tjocka moränen vid Rävliedmyrgruvan. Analyserna visade att moränerna i de flesta fall (0–5 m) är ganska homogena geokemiskt, och endast på fyra lokaler konstaterades klara trendbrott i den geokemiska sammansättningen, vilket kan indikera olika moränbäddar från olika istider alternativt förändringar i inlandsisens rörelseriktning. Resultaten är dock oftast svårtolkade. Vid Rävliedmyrgruvan visade det sig att trots visuellt sett klart urskiljbara avvikande moränbäddar var de geokemiska skillnaderna relativt försumbara. Några element, t.ex. Mg, visade trots allt klara trender (fig. 4) men några samband med de olika moränbäddar som, t.ex. på basis av färg, identifierades är svåra att urskilja. De klaraste trenderna bestod i generellt låga halter för de flesta element i det ytligaste provet (som togs i B/C-övergångszon), medan endast det djupast belägna provet (någon dm över bergytan) visade klart förhöjda halter av Cu, Pb och Zn. Det senare är föga förvånande eftersom profilen togs i nära anknytning till och nedströms isrörelseriktningen från dagbrottet, där sulfidmalmen (Cu, Zn,

Pb) bröts. Att inga klara trender kan urskiljas mellan de ytligast och djupast belägna provpunkterna kan bero på att även om morän avsatts av flera nedisningsfaser härstammar materialet från samma region, dvs. isrörelseriktningen har inte varierat i någon större utsträckning under de olika isframstötarna.

Det har inte varit möjligt att se några tydliga skillnader i moränens sammansättning som följer olika moräntyper; så skiljer sig t.ex. inte morän från moränbacklandskap märkbart från intilliggande områden täckta av basalt deponerad morän (cover moraine) med avseende på geokemi. Detta kan indikera att moränerna inom närliggande områden består av i huvudsak samma material, åtminstone vad gäller den analyserade fraktionen.

Geokemisk kartering av ytnära morän har i det karterade området använts för prospekteringsändamål, bl.a. bidrog morängeokemisk kartering till Björkdalsgruvans upptäckt. I andra områden inom Skelleftefältet har geokemisk kartering inte varit lika framgångsrik, vilket indikerar att moränens bildningssätt är komplex och därmed svårtolkad, åtminstone i lokal skala.

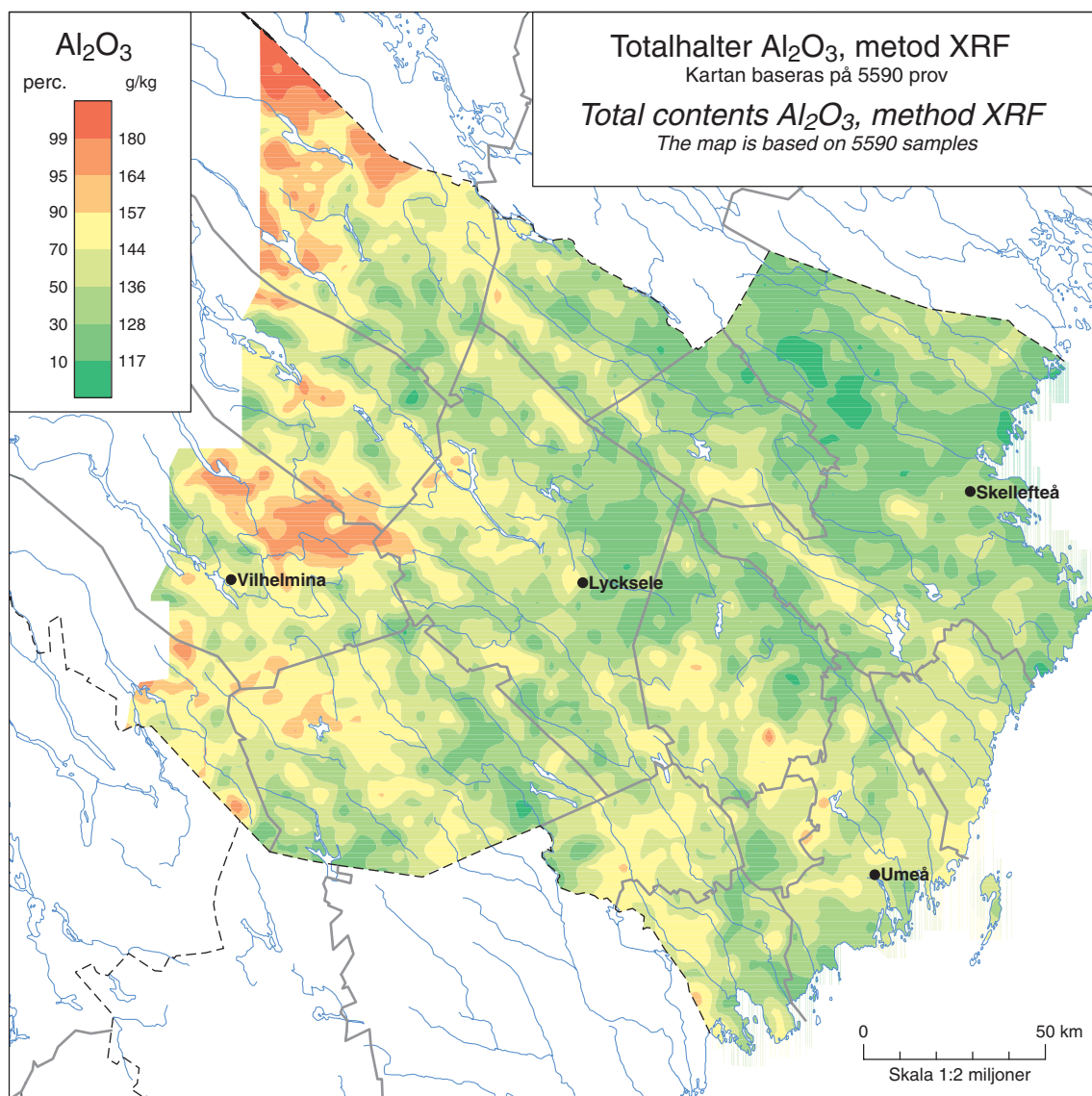
GEOKEMI – ELEMENTENS FÖREKOMST OCH ASSOCIATIONER I MORÄN

Allmänt

Den markgeokemiska karteringen i Västerbotten utfördes under ett antal år (provtagning 1984, 1985, 1986, 1988, 1992, 1993 och 1995–1999). Totalt har 5 609 prov insamlats, och samtliga analyserades för totalhalter med XRF medan syralakbara halter uppmätts med olika instrument (ICP-tekniker och AAS). Dessutom uppmättes pH och försurningsresistens för 17 % av proven (totalt 968 st).

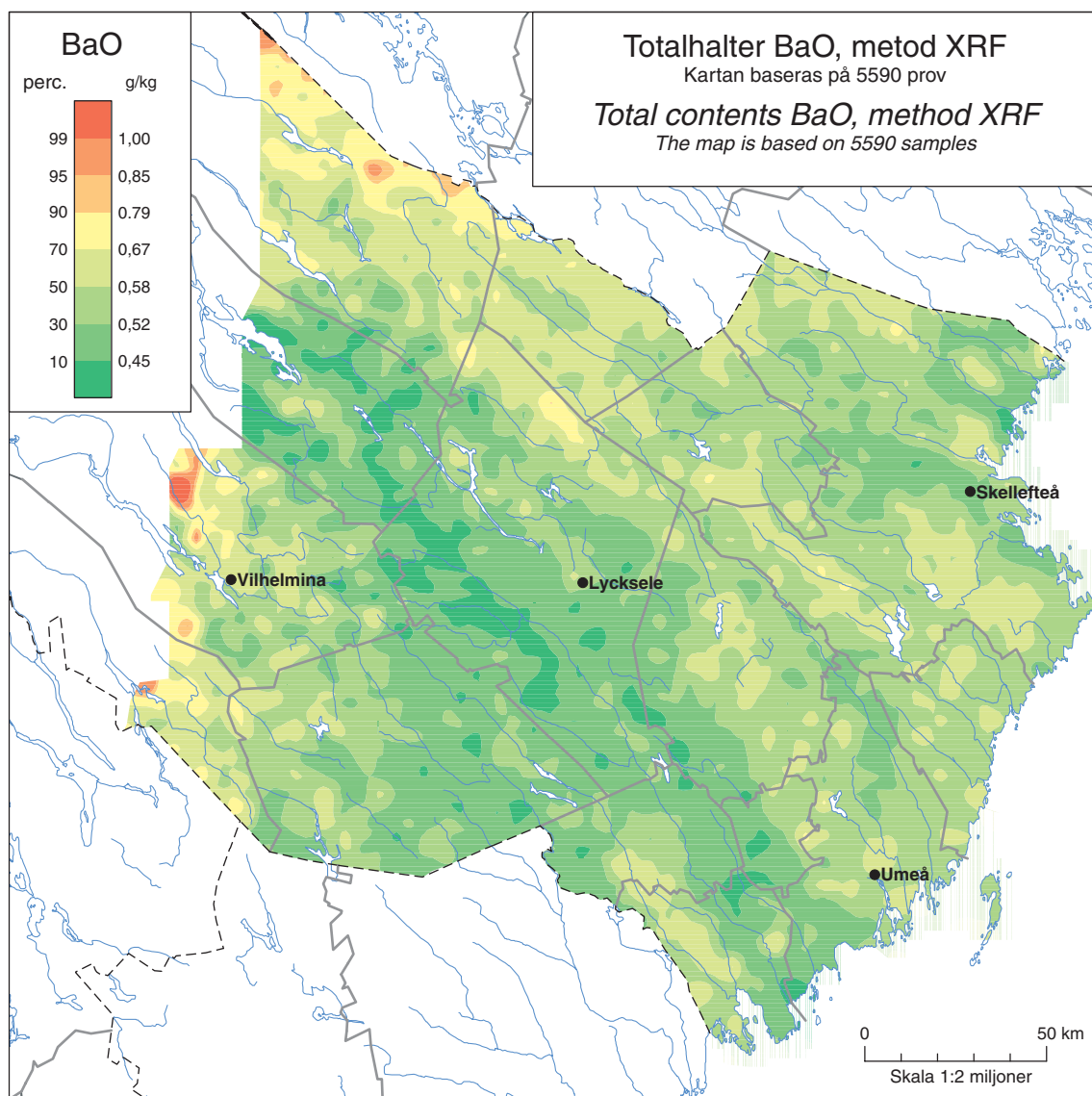
Till viss del har även analysresultat från NSGs kartering använts, dessa uppgår till 2 605 st i länet. Inget av dessa prov har dock analyserats för pH och försurningsresistens.

Nedan redovisas översiktligt de enskilda elementens förekomst i den undersökta delen av länet, samt tolkning av respektive elements fördelning. När halter bedöms som låga, normala, förhöjda eller höga sker detta ställt i relation till förekomst i den hittills karterade ytan i Sverige. Huvudelementen anges som oxider, vilket är ett relativt vanligt tillvägagångssätt för analys av geologiska material.



Aluminium (Al₂O₃)

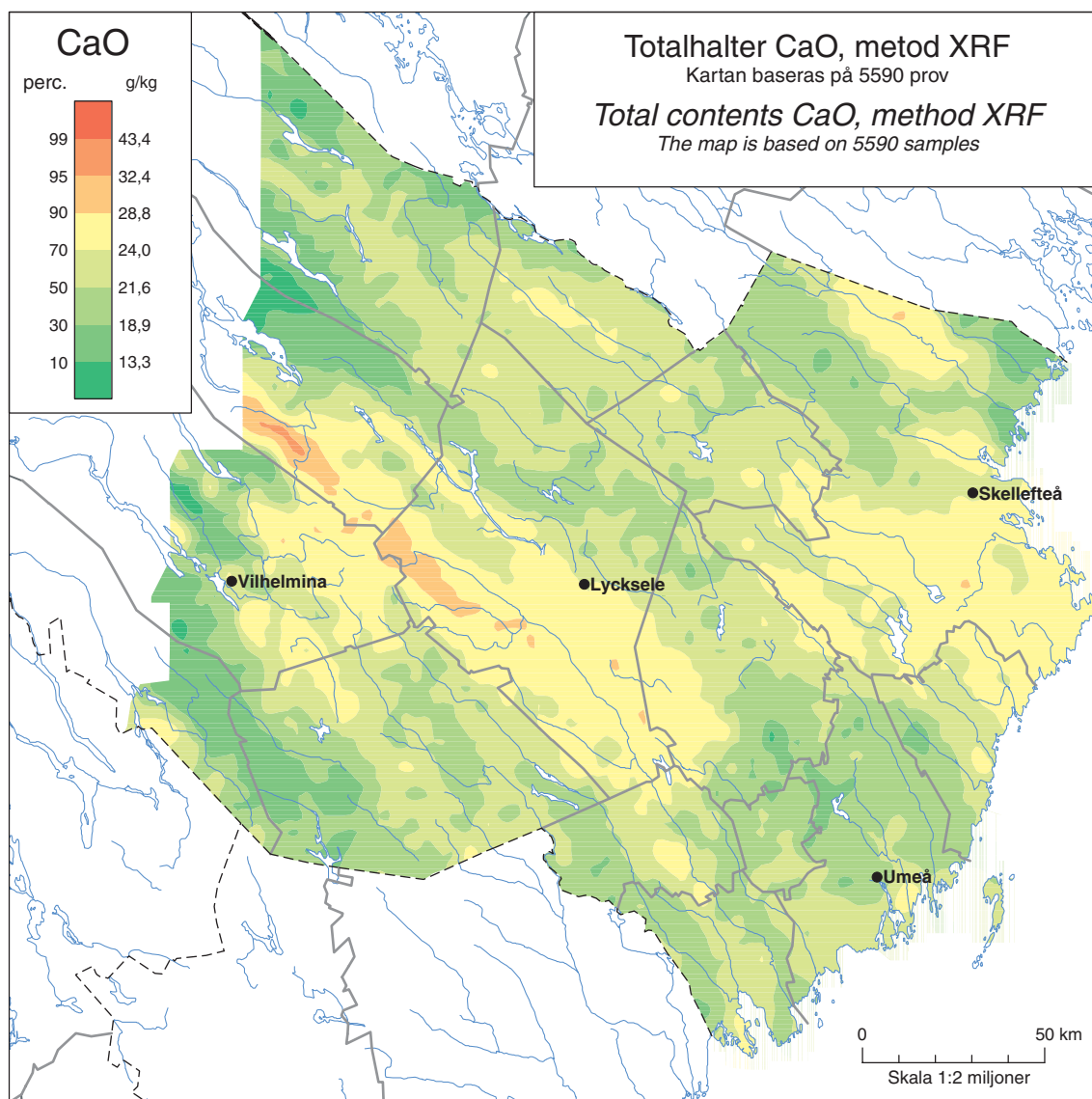
Huvudelementet aluminium uppträder inom undersökningsområdet i halter som ställt i relation till övriga riket oftast är normala. Detta gäller såväl syralakbara som **totala** halter. Förhöjda halter uppträder framför allt över eller i närheten av fjällkedjans bergarter. En karta över procentuell lakbarhet (som visar hur stor andel, uttryckt i procent, av totalt innehåll av Al som kan lösas av syra) visar att förutom fjällkedjans bergarter även argillitiska metasedimentbergarter innehåller relativt lättlakat Al. Detta indikerar att aluminium här företrädesvis förekommer i mörka mineral såsom biotit, amfibol m.m. I områden med låg lakbarhet förekommer Al sannolikt framför allt i betydligt mer svårlösta mineral såsom kalifältspat, KAlSi₃O₈. Totalhalterna korrelerar starkt positivt med framför allt Fe, Mg, Zn, V och Co, medan korrelationen med Si är starkt negativ. Detta avspeglas även vid faktoranalys, där även Ni, Cr och Ti ingår i samma faktor som Al. Kombinationen är typisk för mafiska silikatmineral (t.ex. amfiboler, pyroxener, biotit, olivin).



Barium (BaO)

Barium förekommer främst i fältspater och glimmermineral, men kan även bilda baryt (BaSO_4), ett mineral som ofta förekommer i samband med sulfidmalmer. **Totalhalterna** av barium är relativt normala i största delen av området. Däremot är de syralakbara halterna något högre, vilket kan tolkas som att elementet oftare förekommer i mer löslig form än i övriga riket. Framför allt delar av fjällkedjans bergarter inverkar förhöjande på bariumhalterna, vilket även framgår av kartan över procentuell lakbarhet. Även argillitiska metasedimentbergarter inverkar förhöjande på lakbarheten för Ba.

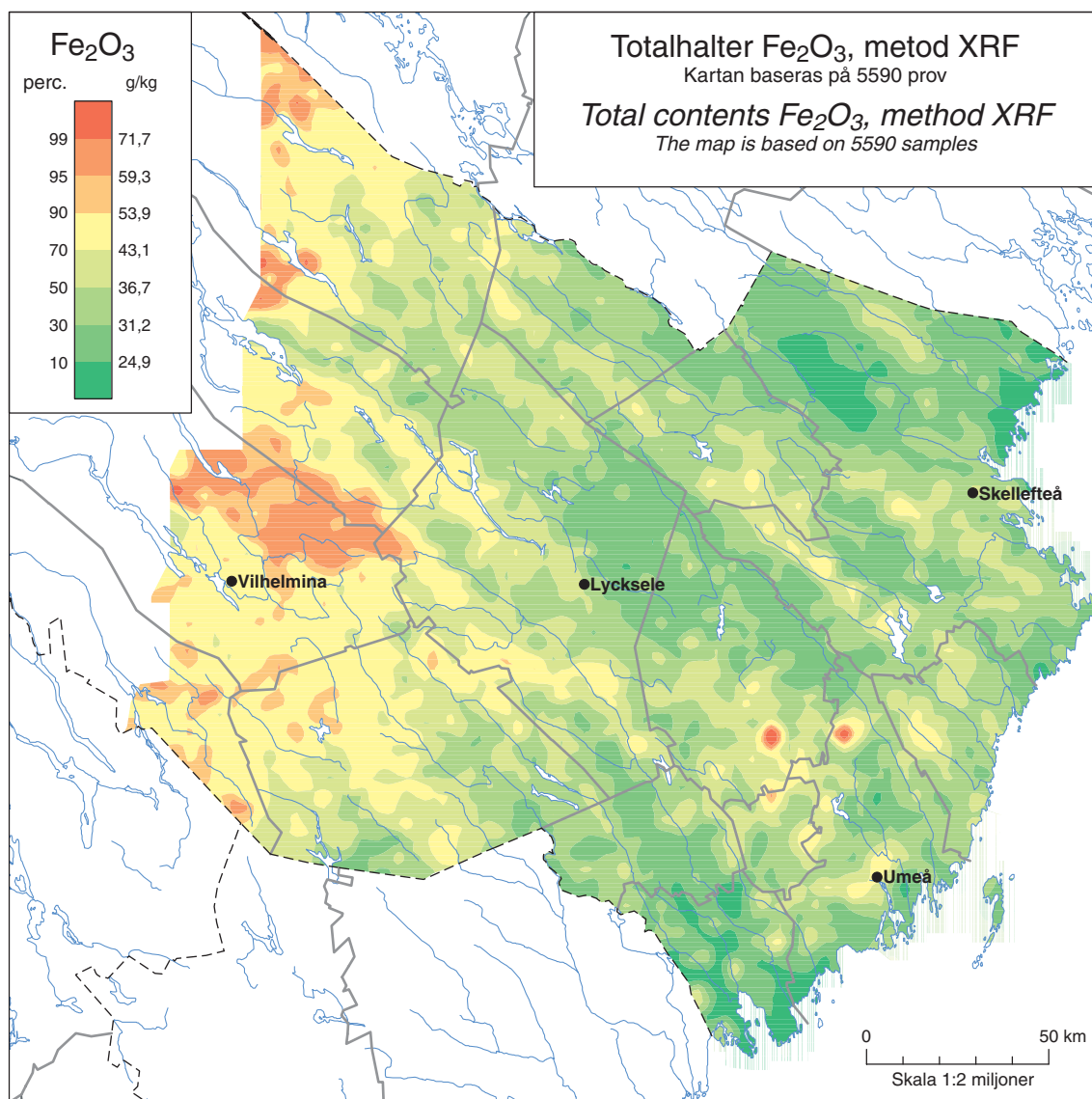
Statistiskt korrelerar totalhalterna för Ba bäst med K. Vid faktoranalys bildar Ba tillsammans med K och Rb en faktor som visar på förekomst av kalifältspat och glimmer, vanliga mineral i vilka de tre elementen uppträder.



Kalcium (CaO)

Kalcium uppträder i bergarter i flera vanliga mineral: fältspater, karbonater, amfiboler, pyroxener, apatit m.m. I länet är **totalhalterna** generellt normala eller låga i förhållande till riket i övrigt, men några något förhöjda zoner eller anomalier förekommer. Den mest framträdande är den långsträckt anomi som löper mot sydost från fjällkedjan strax norr om gränsen mellan Vilhelmina och Storumans kommuner. Zonen är ca 10 km bred och 100 km lång, och kan vara ett tecken på långtransport av morän, speciellt som de högsta halterna återfinns nedan fjällkedjan. När zonen når Lycksele kommun övergår halterna till nivåer som mer stämmer överens med den där rådande regionala geokemin. I den östra delen av länet kan ingen koppling till argilliter ses, utan CaO-förhöjningar tycks skära tvärs över dessa utbredda bergarter. Möjligen är det här granitoider med högre innehåll av Ca-rika plagioklaser som ger upphov till mönstret, alternativt skiljer sig argilliterna geokemiskt från varandra. Det är även möjligt att bägge förklaringarna gäller.

Sambandet mellan Ca och Sr i plagioklaser stöds av den statistiska analysen. Korrelationen med Sr är starkt positiv, och vid faktoranalys bildar elementen en faktor där även Na är relativt stark.

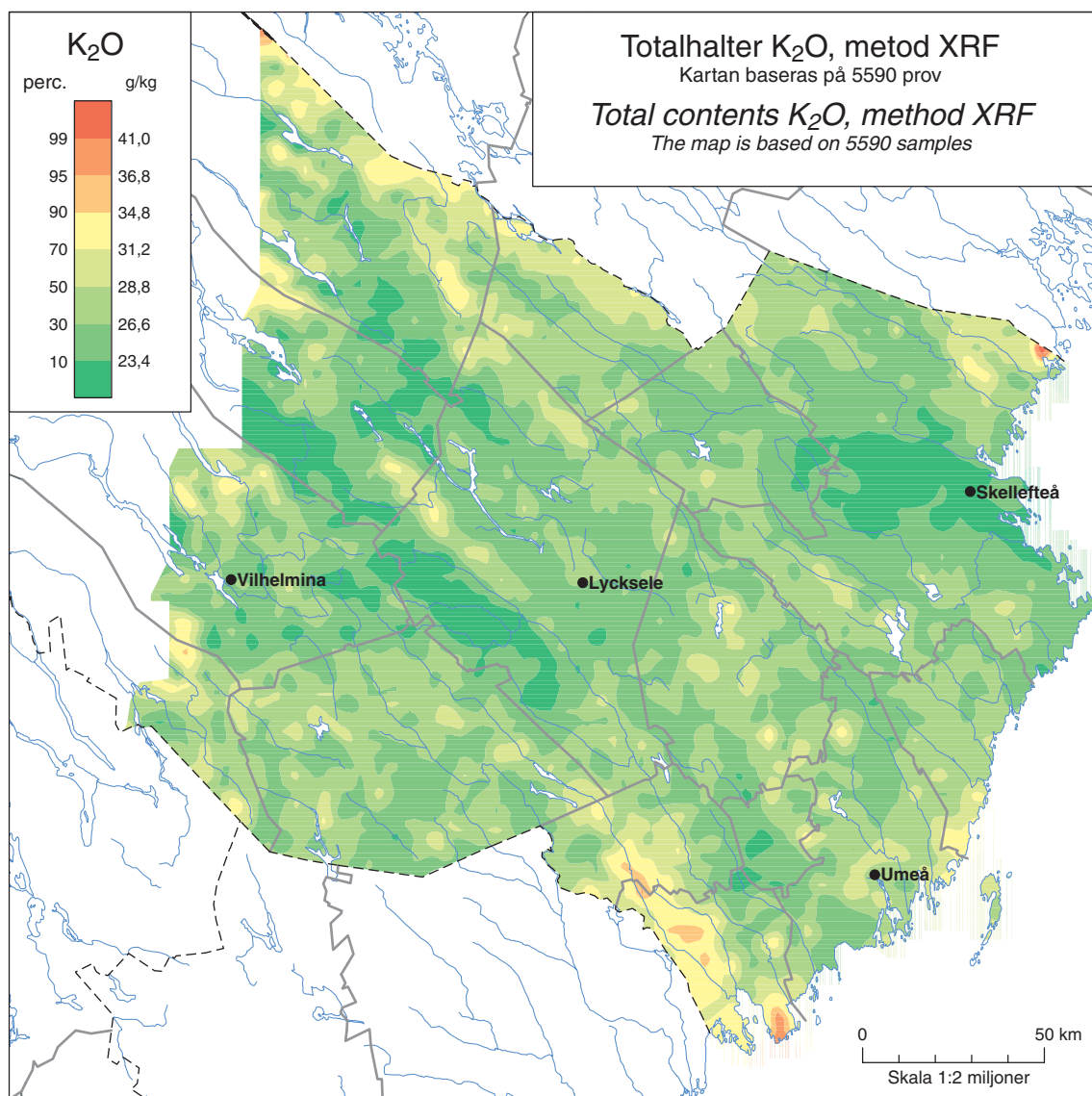


Järn (Fe₂O₃)

Huvudelementet järn ingår i de flesta bergarter och uppträder där i flera olika, vanliga mineralgrupper: amfiboler, pyroxener, glimrar och oliviner. Järn bildar även sulfidmineral och oxider. I magmatiska miljöer uppträder Fe ofta tillsammans med Mg, men under magmadifferentiation ökar kvoten mellan Fe och Mg – i ultramafiska bergarter är således t.ex. Mg-rika glimmermineral vanliga, medan motsvarande mineral i graniter är Fe-rika. Den genomsnittliga halten i jordskorpan har angetts till 5,0 % (Mason & Moore 1982) vilket motsvarar 7,1 % Fe₂O₃. I graniter och granodioriter är halten betydligt lägre (2,9 %) medan jordarter i genomsnitt innehåller 5,0 % (Koljonen 1992). Medianhalten i morän i Sverige är 3,7 %.

I moränen i Västerbotten varierar **totalhalterna** från låga och normala i den östra halvan till normala och förhöjda i väster. Den mest markanta förhöjningen återfinns norr om Vilhelmina, och kan där sannolikt knytas till inverkan från fjällkedjan eftersom underliggande berggrund består av normalt sett relativt Fe-fattig granit.

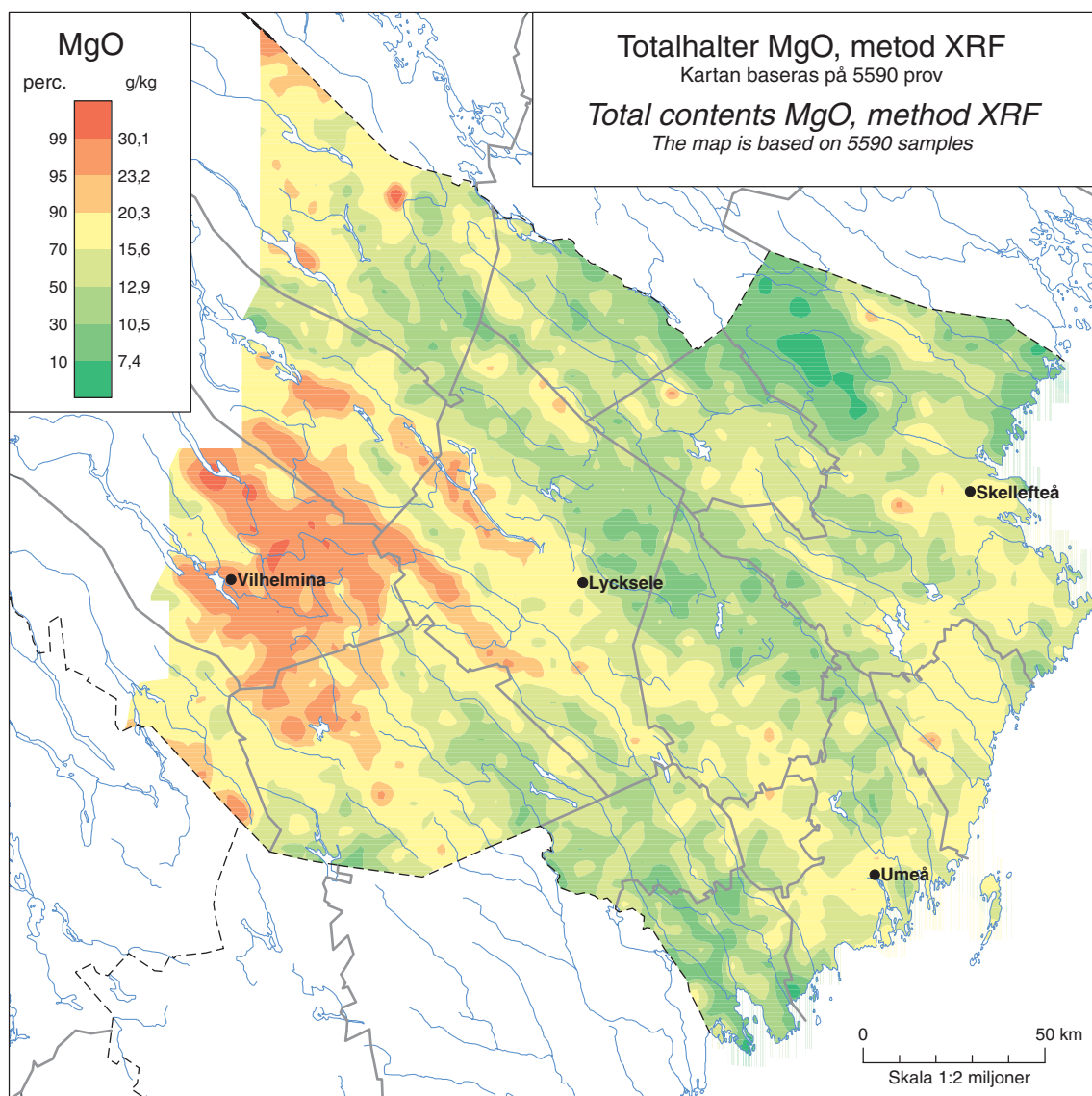
Totalhalterna för Fe korrelerar starkt med de övriga huvudelementen som är typiska för mafiska mineral, framför allt Mg och Ti men även Al och Mn. Bland spärelementen kan nämnas V, vars korrelation med Fe är mycket stark ($r=0,93$, totalhalter). Vid faktoranalys uppträder Fe i samma faktor som Al (se aluminium).



Kalium (K₂O)

Kalium ingår bl.a. i kalifältspat och glimmermineral, och är därmed en huvudbeståndsdel i många bergarter, framför allt kiselrika varianter såsom graniter. I det undersökta området är **totalhalterna** generellt sett låga till normala. Endast i mindre områden vid delar av fjällkedjan samt i det argillitdominerade området i sydöstra hörnet (Nordmaling och Bjurholms kommuner) är halterna något förhöjda. Värde att notera är den zon med låga halter som upptar samma utsträckning som den kalciumrika zonen (se Ca) från fjällkedjan mot sydost. Korrelationen för totalhalter är signifikant starkt positiv med Rb, Ba och Al, se respektive element.

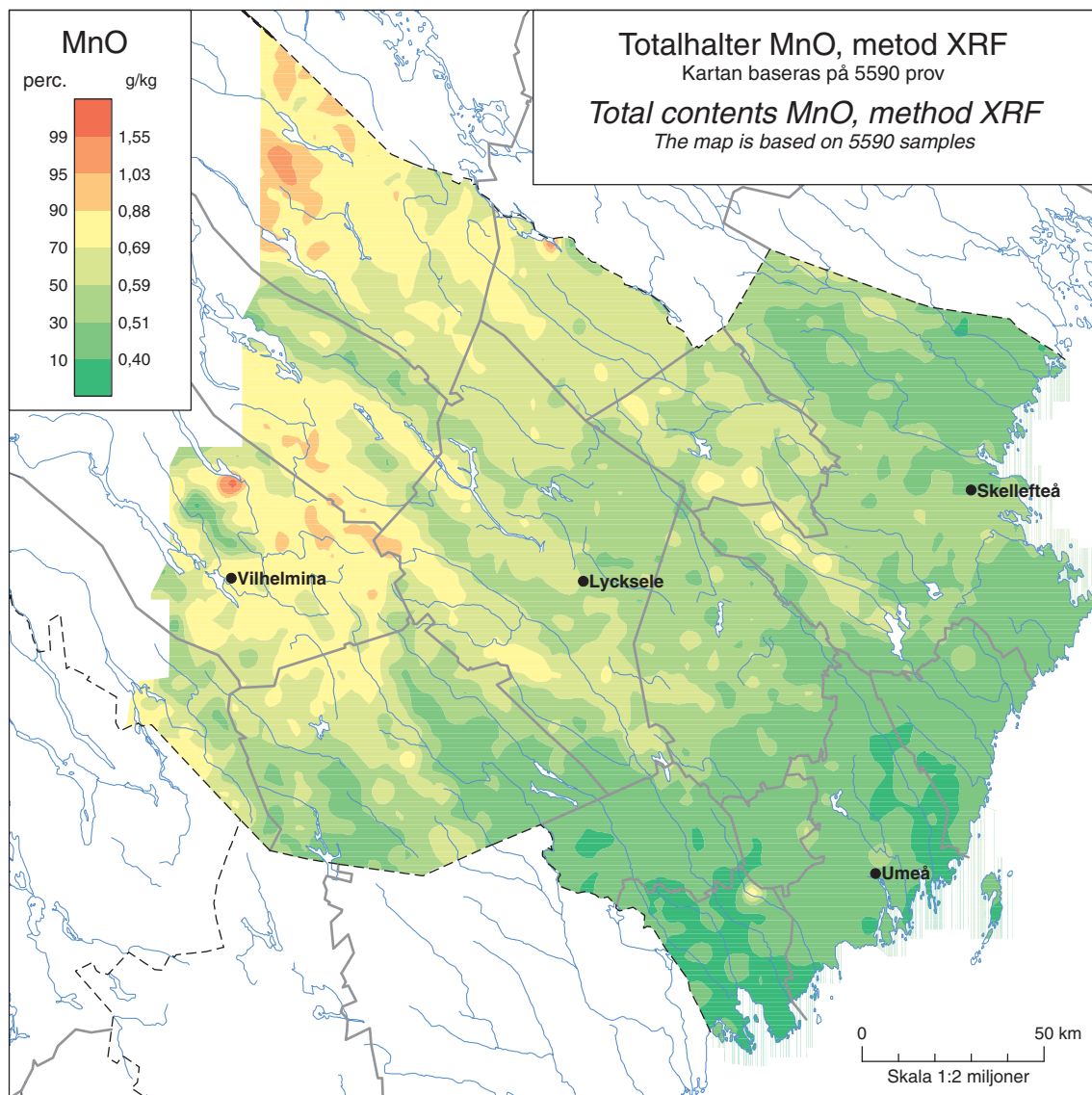
En kartbild över syralakbara halter avviker från totalhalterna (bägge uttryckta som oxiden K₂O) i flera avseenden, och en del områden med låga totalhalter uppvisar relativt höga syralakbara halter. Dyliga områden påträffas i regel i områden där argillitiska – och därmed glimmerrika – bergarter återfinns. Kvoten mellan lakbar halt och totalhalt ger därför en ganska säker bild av det mineralogiska innehållet i moränerna – låg lakbarhet påvisar att K i huvudsak påträffas i kalifältspat medan hög lakbarhet indikerar biotit.



Magnesium (MgO)

I basiska eller mafiska bergarter förekommer Mg i högre halter än i de flesta andra bergarter, och normalt tillsammans med element såsom Fe, Cr, Ni m.fl. I Västerbotten förekommer förhöjda totalhalter framförallt i Vilhelmina kommun samt i angränsande delar av grannkommunerna. Med tanke på de rådande berggrundsgeologiska förhållandena avspeglar detta sannolikt åtminstone delvis långtransport av material från fjällkedjans bergarter. I övriga delar av länet inverkar argillitiska bergarter något förhöjande på moränens Mg-innehåll.

En kartbild över syralakbart Mg (som oxiden MgO) skiljer sig från **totalhalterna** såtillvida att de högsta halterna återfinns söder om den största totalhaltsanomalin. Detta innebär att moränerna i detta område mineralogiskt är annorlunda, och de högsta syralakbara halterna uppträder i två parallella zoner vars längsta axlar löper nästan vinkelrätt mot isrörelseriktningen. Detta kan tyda på att dragen här avspeglar mer lokala förhållanden – i anknytning till bägge förhöjningarna förekommer argilliter som ställvis kan innehålla lager av mafiska bergarter. Korrelationen med övriga huvudelement är starkt signifikant positiv med Fe, Mn, Ti och Al. Se även Al.

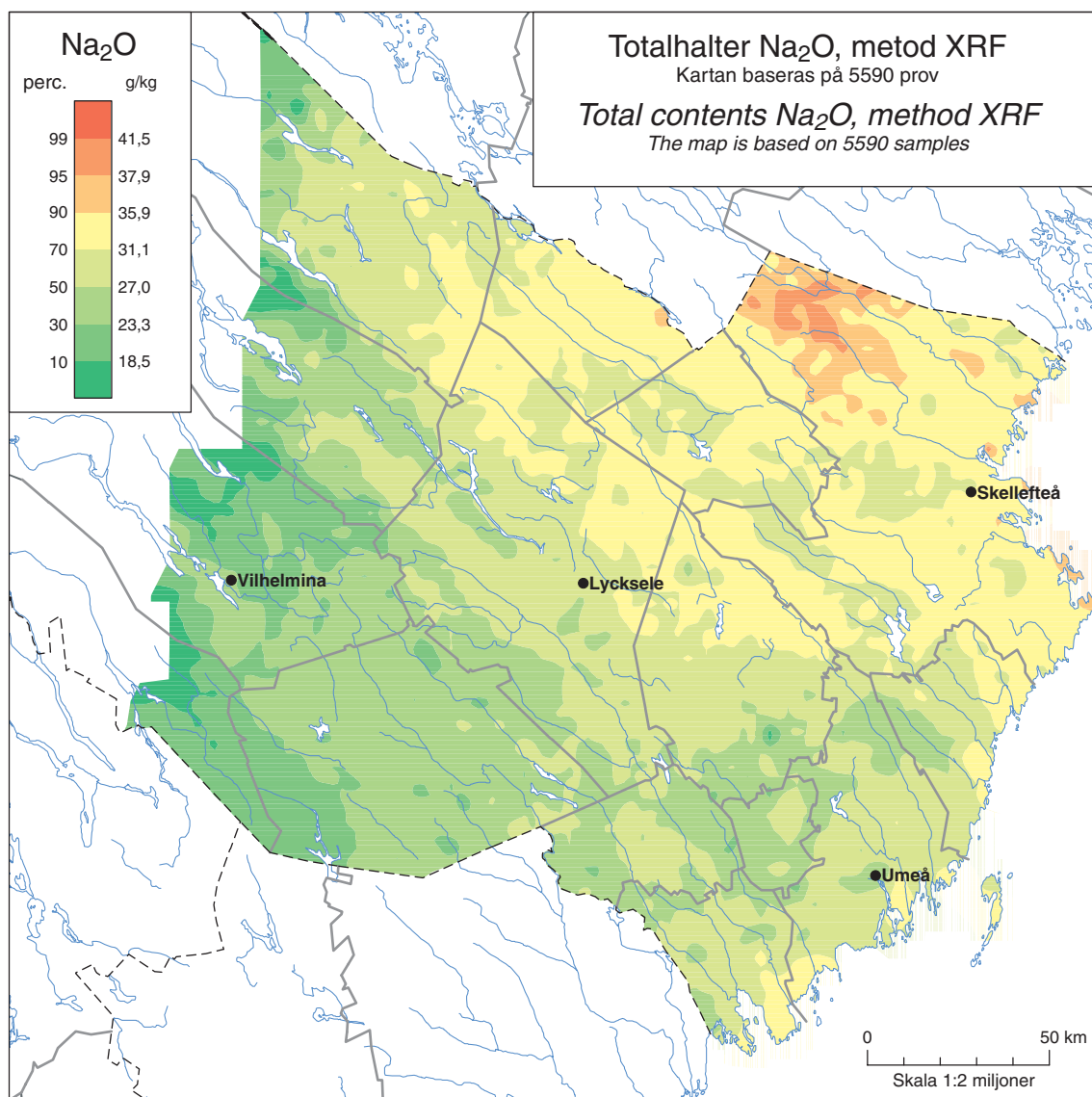


Mangan (MnO)

Mangan uppträder i många vanliga, bergartsbildande mineral och ersätter bl.a. Fe, Ca och Mg i kristallgittren, medan rena Mn-mineral är sällsynta. Halterna varierar beroende på bergart, så innehåller t.ex. gabbrobergarter vanligen betydligt högre halter än graniter (Koljonen 1992).

Totalhalterna av mangan (som oxiden MnO) uppvisar en tydlig bild med avtagande halter från fjällkedjan mot kusten. Medan de västra delarnas moräner innehåller normala till något förhöjda halter är de argillitdominerade kusttrakterna överlagrade av en Mn-fattig morän.

Mangan korrelerar starkt med flera element typiska för mafiska mineral och bergarter, men korrelationen är inte lika stark som den är mellan övriga element i gruppen. Detta beror sannolikt på att Mn i högre utsträckning kan ingå i andra mineralformer än de övriga elementen.

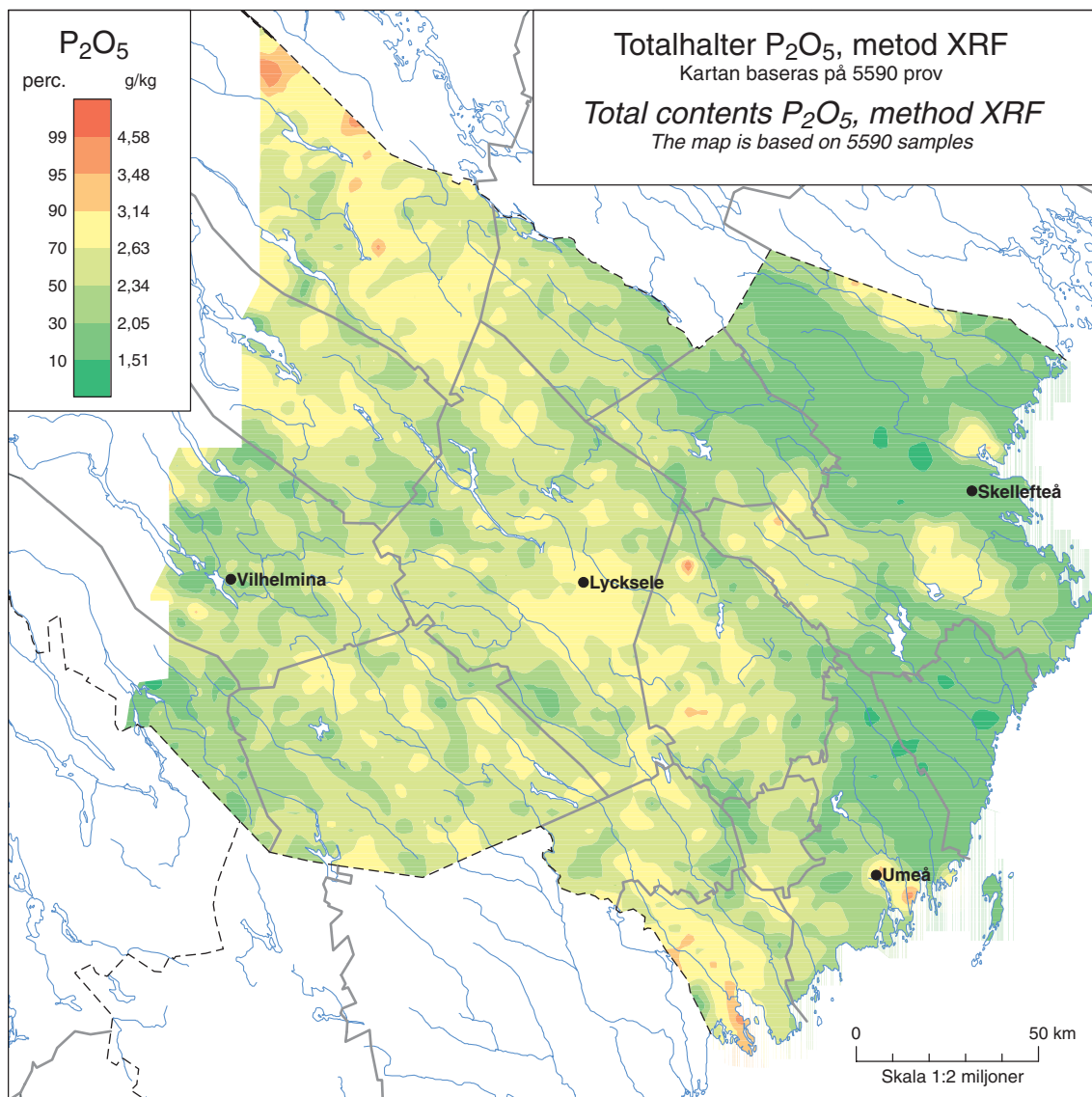


Natrium (Na₂O)

Den mest kända förekomstformen för Na är koksalt, NaCl. I Sverige förekommer dock inte detta mineral i berggrunden, utan företrädesvis i olika fältspater som i plagioklasseriens mineral (Na,Ca)AlSi₃O₈. Även en del amfiboler, pyroxener och andra silikatmineral innehåller Na.

Till skillnad från bland annat Mn stiger **Na-totalhalterna** från fjällkedjan mot kusten, och de högsta halterna i Skellefteå kommuns norra del kan sannolikt knytas till förekomst av Na-rika fältspater. Natrium förekommer oftast i förhöjda halter i anknytning till sura bergarter, och i närheten av fjällkedjan kan natriumfattig morän ses som ett tecken på relativt långtransporterad morän eftersom de underliggande bergarterna här domineras av graniter.

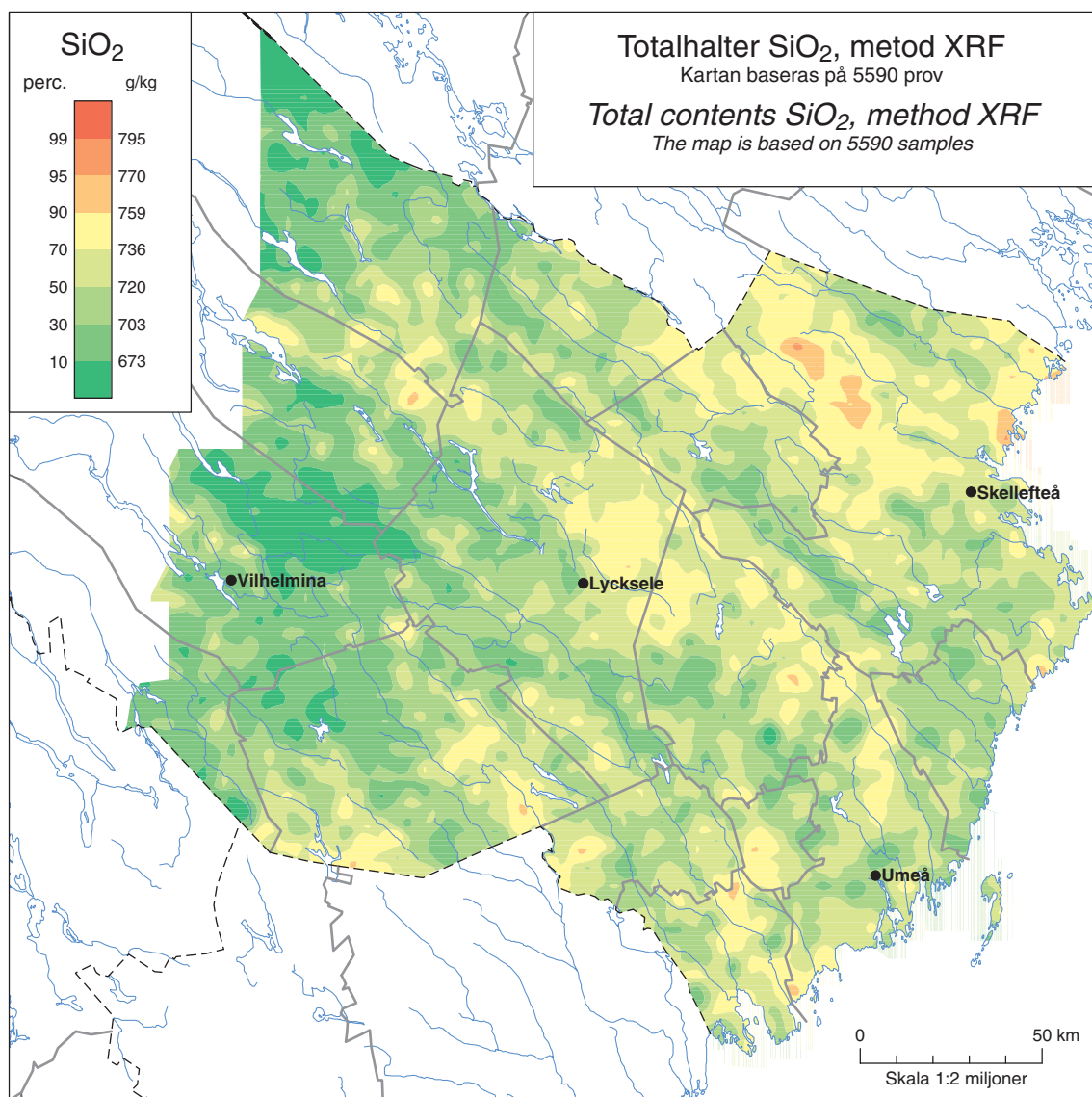
Statistiskt korrelerar totalhalterna bäst med elementen Sr, Ca och Zr, element typiska för kiselrika (sura) bergarter såsom graniter. Lakbarheten är mycket låg, vilket styrker antagandet att förekomstformen huvudsakligen är olika fältspater.



Fosfor (P_2O_5)

Mineralet apatit är normalt sett huvudkällan till näringsämnet fosfor i Sveriges berggrund. Halterna i länet är normala till låga, och en viss anrikning kan ses i anknytning till delar av fjällkedjans bergarter. Däremot tycks morän som härstammar från stora delar av argilliterna vara fosforfattig. **Totalhalter** och syralakbara halter ger nästan identiska kartbilder och likvärdiga haltnivåer. Detta visar att oavsett förekomstform är fosfor lättlakat av såväl salpetersyra som kungsvatten. Fosfor tillhör de mest lättlakade elementen.

Statistiskt korrelerar totalhalterna inte starkt med något element, men vid faktoranalys bildar P och Y tillsammans en faktor. Yttrium ingår ofta i bl.a. fosfatmineral vid bergartsbildande processer.



Kisel (SiO₂)

Det näst vanligaste elementet i jordskorpan är kisel, Si, med en snitthalt på 27,7 % medan syre, O, är det vanligaste (46,6 %). Beaktas istället volymprocenten uppgår syre till 91,7 % och Si till endast 0,2 % (Mason & Moore 1982). Kisel styr många av de bergartsbildande processerna och ingår i ett stort antal mineral, silikatmineral är den största mineralklassen med över 500 enskilda mineral.

Eftersom de flesta silikatmineral (t.ex. kvarts, SiO₂) är mycket vittringsresistenta anrikas många jordarter på Si i jämförelse med ursprungsbergarten. Detta gäller även morän, där effekten är starkast i sandfraktionen eftersom kornstorleken för många silikater gör att stark nedkrossning är begränsad.

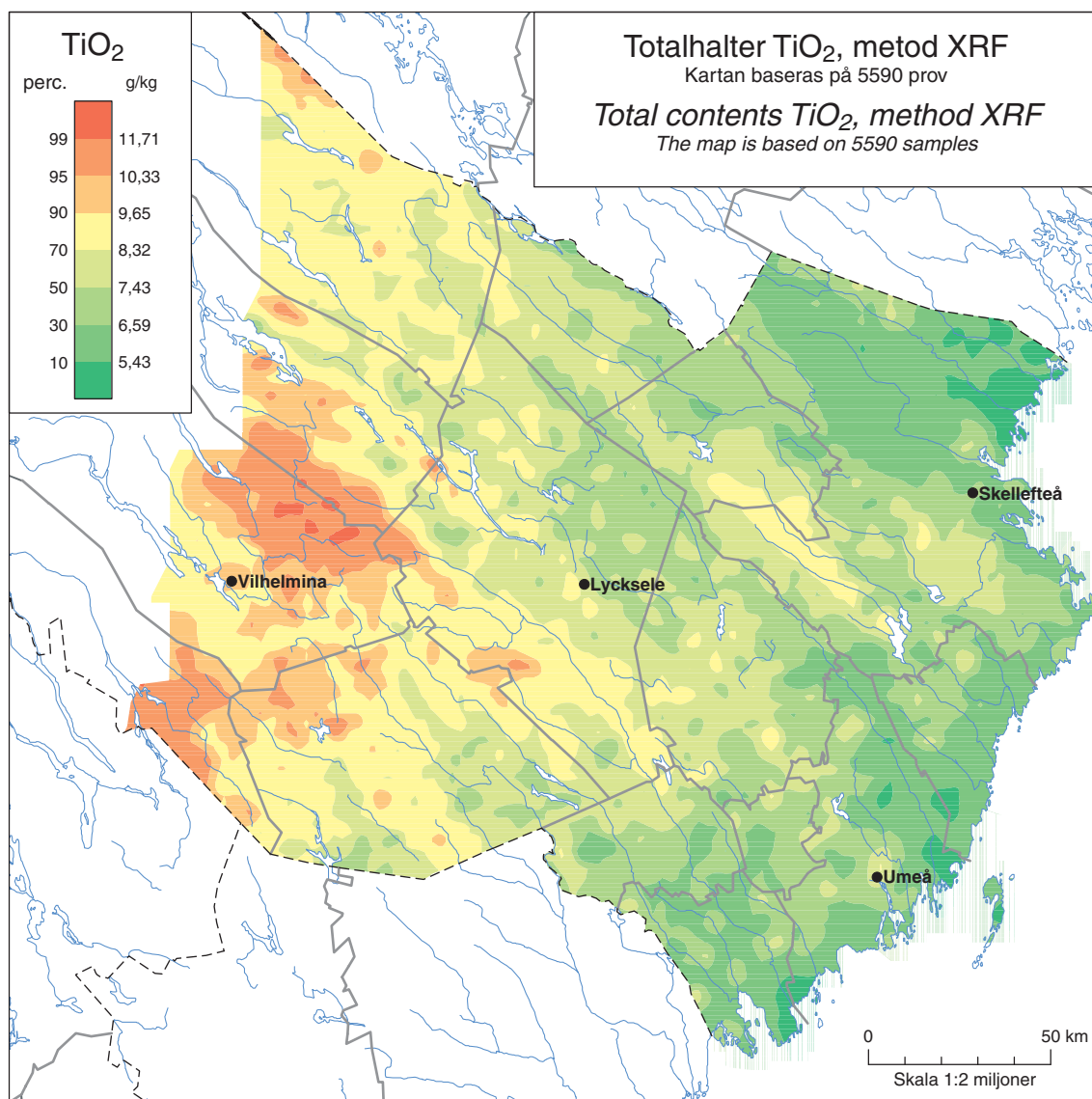
Kiselanalyser har utförts med såväl XRF för totalhalt som med kungsvattenlakning och ICP -AES. Den senare metoden har inte gett tillförlitliga analyser, och resultaten redovisas därför ej. Med XRF är kvaliteten något bättre, men fortfarande behäftad med analysvarianser. Den karta och de resultat som redovisas här baseras därför på teoretisk SiO₂-halt. Denna har beräknats genom $SiO_{2t} = (100 - \sum_{ox} - 0,2)$, dvs. 100 – summan av övriga oxider. Detta är möjligt att utföra eftersom analyskvaliteten för övriga huvudelement (uttryckta i oxidform) är god till utmärkt. Eftersom även andra element (väte, kol, svavel och andra spårelement) bidrar med en varierande del till en moräns innehåll av kemiska element har ytterligare 0,2 % schablonmässigt dragits ifrån. Det bör betonas att detta endast ger en grov bild av moränsens kiselhalt (uttryckt som procent SiO₂) eftersom förekomst av icke analyserade

element kan variera. Studier av glödningsförlust (LOI, loss on ignition) i C-horisonten har visat att denna kan variera. I en studie fann t.ex. Öhlander m.fl. (2003) att glödningsförlusten i två lokaler i Norrbotten varierade mellan 0,8 och 1,9 % i C-horisontens <2,0 mm-fraktion. Detta innebär att det schablonmässiga avdraget om 0,2 % som här använts kan vara något för litet, och att Si-halten skall vara något lägre än beräknat. Glödningsförlusten antas för övrigt huvudsakligen bestå av kolbaserade organiska ämnen och vatten.

Kartan över de **beräknade totalhalterna** SiO₂ visar att halterna generellt är låga till normala och morän härstammande från fjällkedjans bergarter innehåller relativt låga kiselhalter. En större något kiselrikare region uppträder som en följd av de sura vulkaniter och djupbergarter som är belägna norr om Skelleftefältet.

Korrelationsanalysen visar att Si korrelerar relativt väl med Zr och Na, medan korrelationen med de element som normalt ingår i mafiska mineral är starkt negativ.

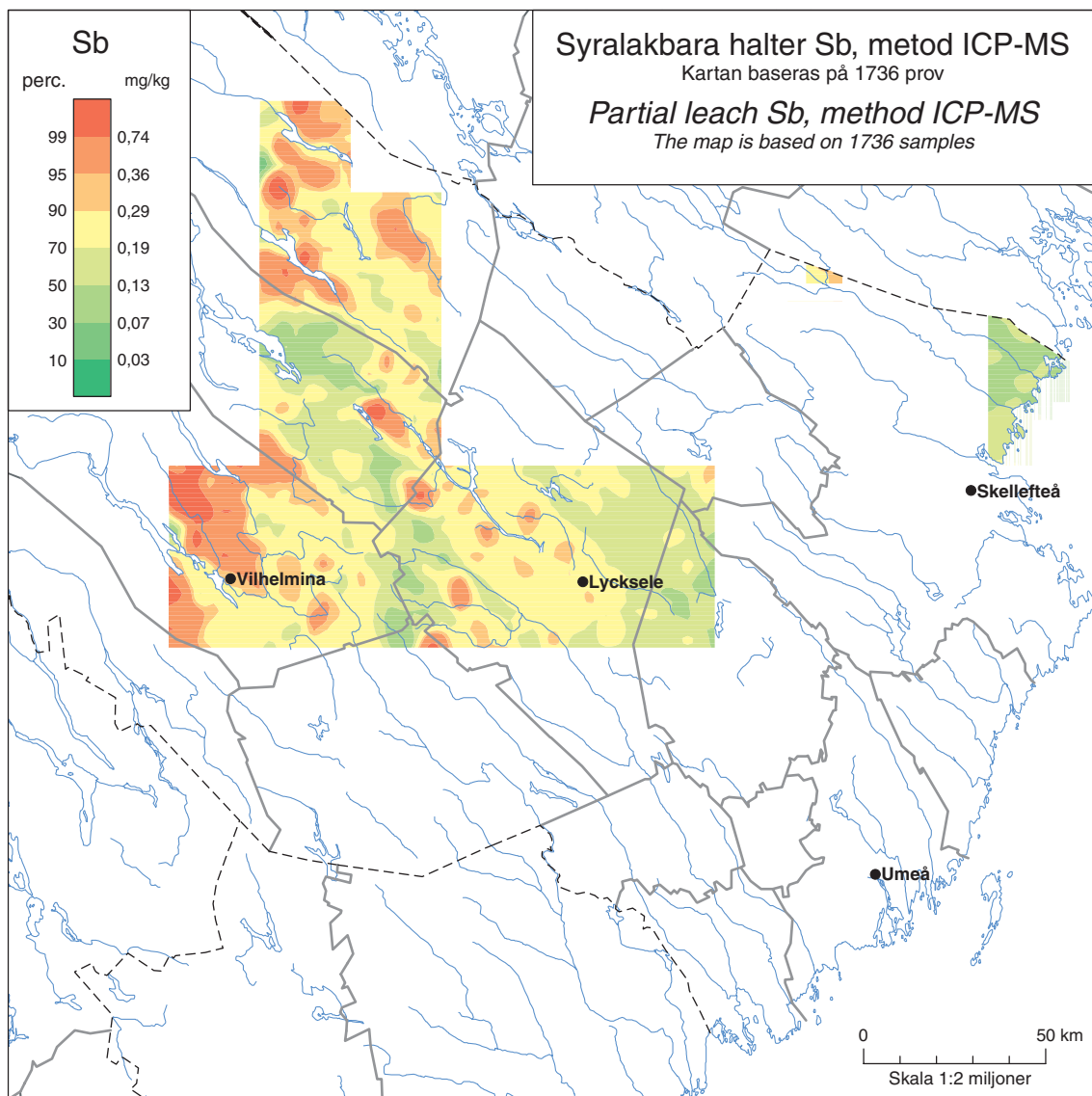
Lakbarheten för Si har inte undersökts, men ofta lakas endast <1 % av Si vid syralakning. Detta visar att silikatmineral såsom kvarts är mycket svårlösta även vid användning av starka syror som salpetersyra och kungsvatten.



Titan (TiO₂)

Titan uppträder i mineral såsom titanit, rutil och ilmenit samt ersätter Al och Fe i flera mafiska mineral såsom pyroxener, glimmer och amfiboler. Halterna i mörka, mafiska bergarter är högre än i granitiska bergarter. Oberoende av förekomstform mobiliseras Ti ytterst sparsamt under normala vittringsprocesser. Titanmineral har därför en tendens att anrikas i vittrade partier, och ibland har skillnader i titanmineralens förekomstmängd använts för att beräkna graden av vittring i jordmånen.

I det undersökta området är **totalhalterna** av Ti oftast normala eller låga, undantaget vissa områden i anknytning till fjällkedjan. Den procentuella lakbarheten är låg i området, men stiger märkbart över argillitbergarter. Detta visar att mineralogin varierar, och förhöjd lakbarhet är sannolikt en följd av ökat glimmerinnehåll. Titan ingår även vid statistisk analys i gruppen element som påvisar mafiska mineral eller bergarter, se t.ex. Fe.



Antimon (Sb)

Antimon förekommer oftast i förhöjda halter i argillitiska bergarter, och ofta i sulfidmineraliseringar och -malmer. Geokemiskt är Sb närbesläktat med As och Bi, vilket även framgår vid jämförelse mellan kartbilderna i denna undersökning – förhöjda halter uppträder för alla element i anknytning till Skelleftefältet, vissa argilliter samt fjällkedjans bergarter. Speciellt de sistnämnda bergarterna inverkar förhöjande på Sb-innehållet, vilket även framgår av NSG-analyserna.

Korrelationen mellan Sb och As samt Sb och Bi är trots ett geokemiskt släktskap statistiskt relativt låg. En plottnig av Sb mot As visar varför – av grafen (fig. 5) framgår två populationer som karakteriseras av olika förhållanden mellan de två elementen. Geografiskt faller den relativt Sb-rikare gruppens provpunkter i huvudsak nära fjällkedjan, men även vid kusten norr om Byske har proven samma signatur. Kartan över Sb baseras enbart på salpetersyralakade prov.

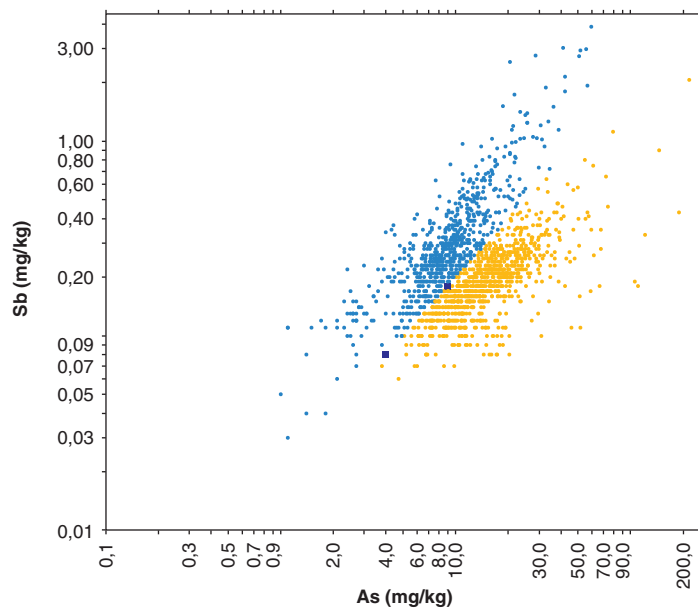


Fig. 5. Korrelation mellan kungsvatten-lakbart Sb och As, mg/kg. n=1574.

Correlation between Aqua Regia leachable contents of Sb and As, mg/kg. n=1574.

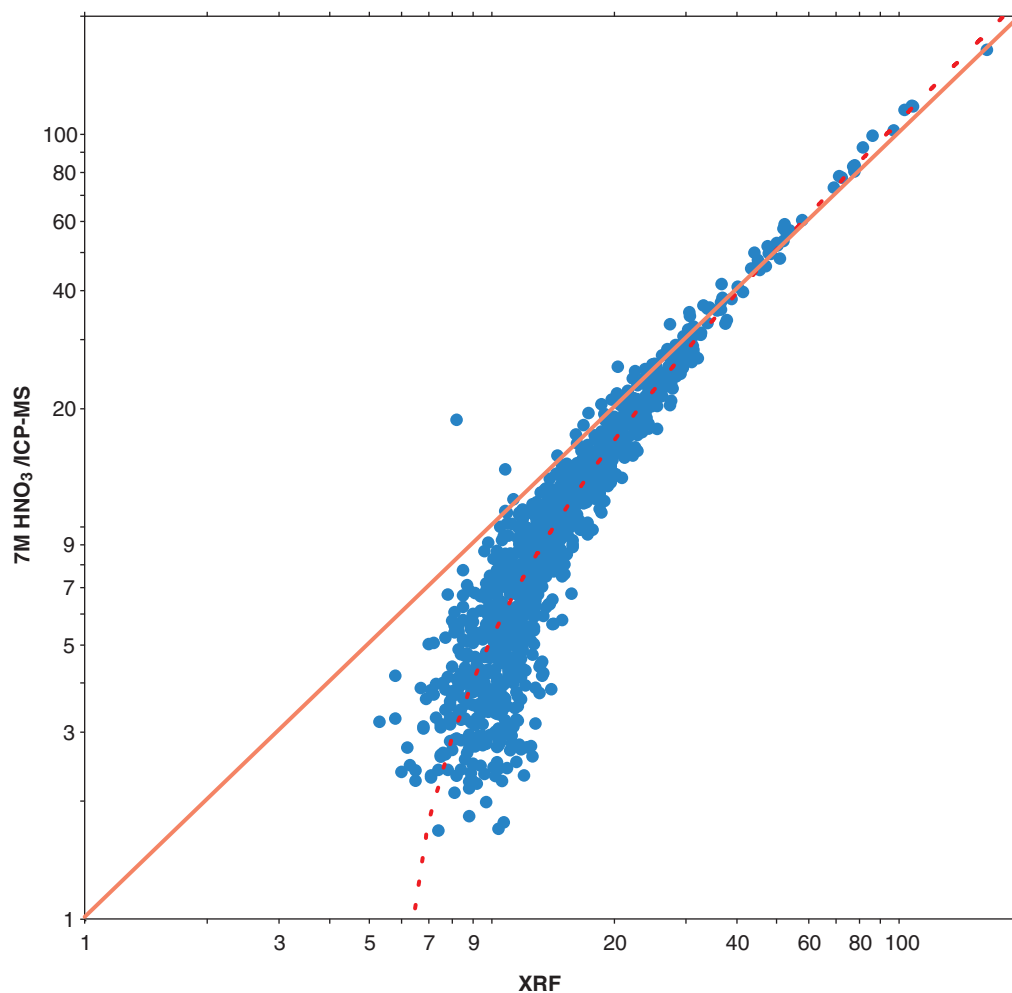
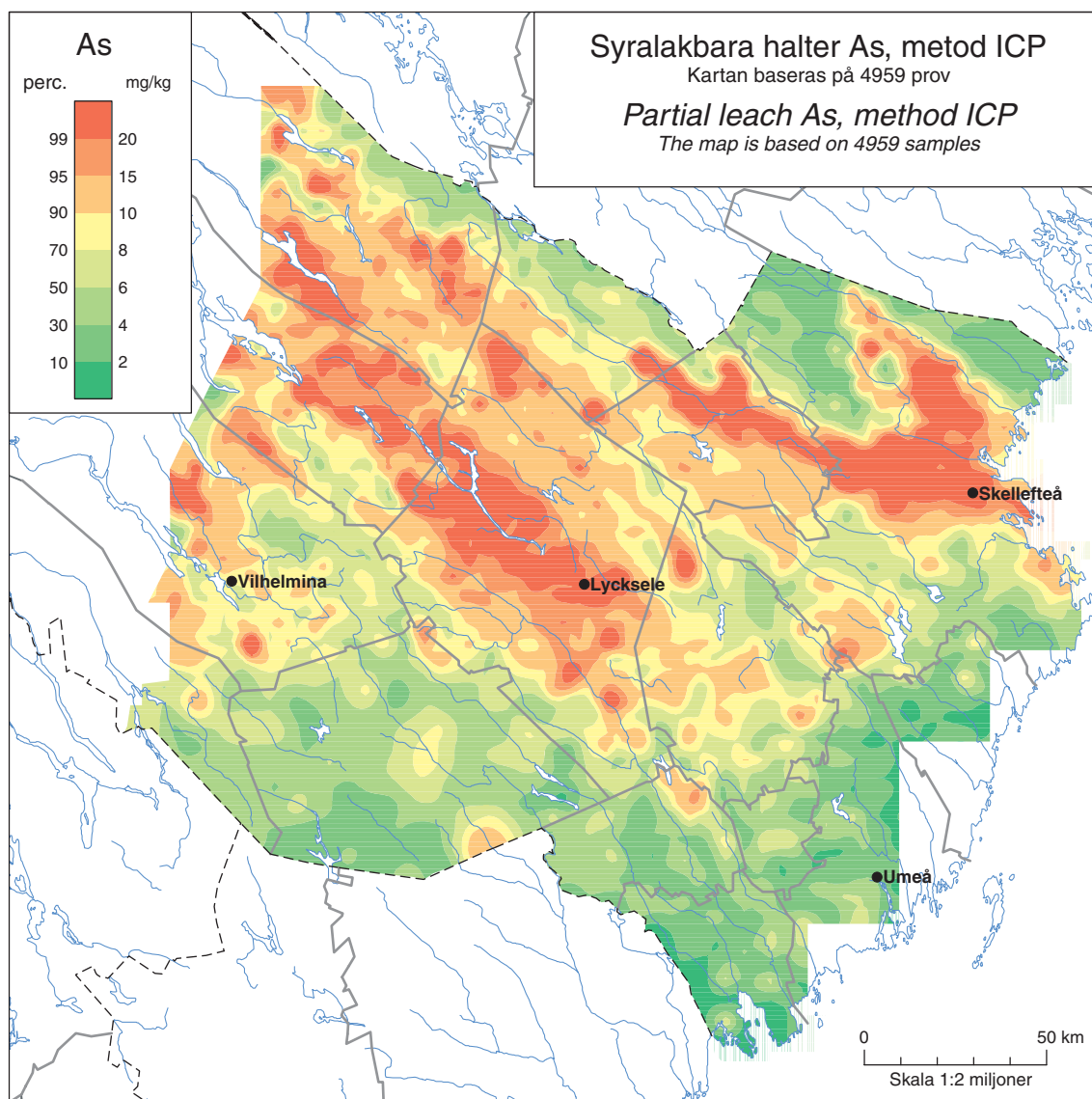


Fig. 6. Korrelation mellan totalhalter för As (XRF) och salpetersyralakbar (ICP-MS) halt i moräners finfraktion. n = 1166.

Correlation between total (XRF) and 7M nitric acid leachable (ICP-MS) contents in the fine fraction of tills. n = 1166.



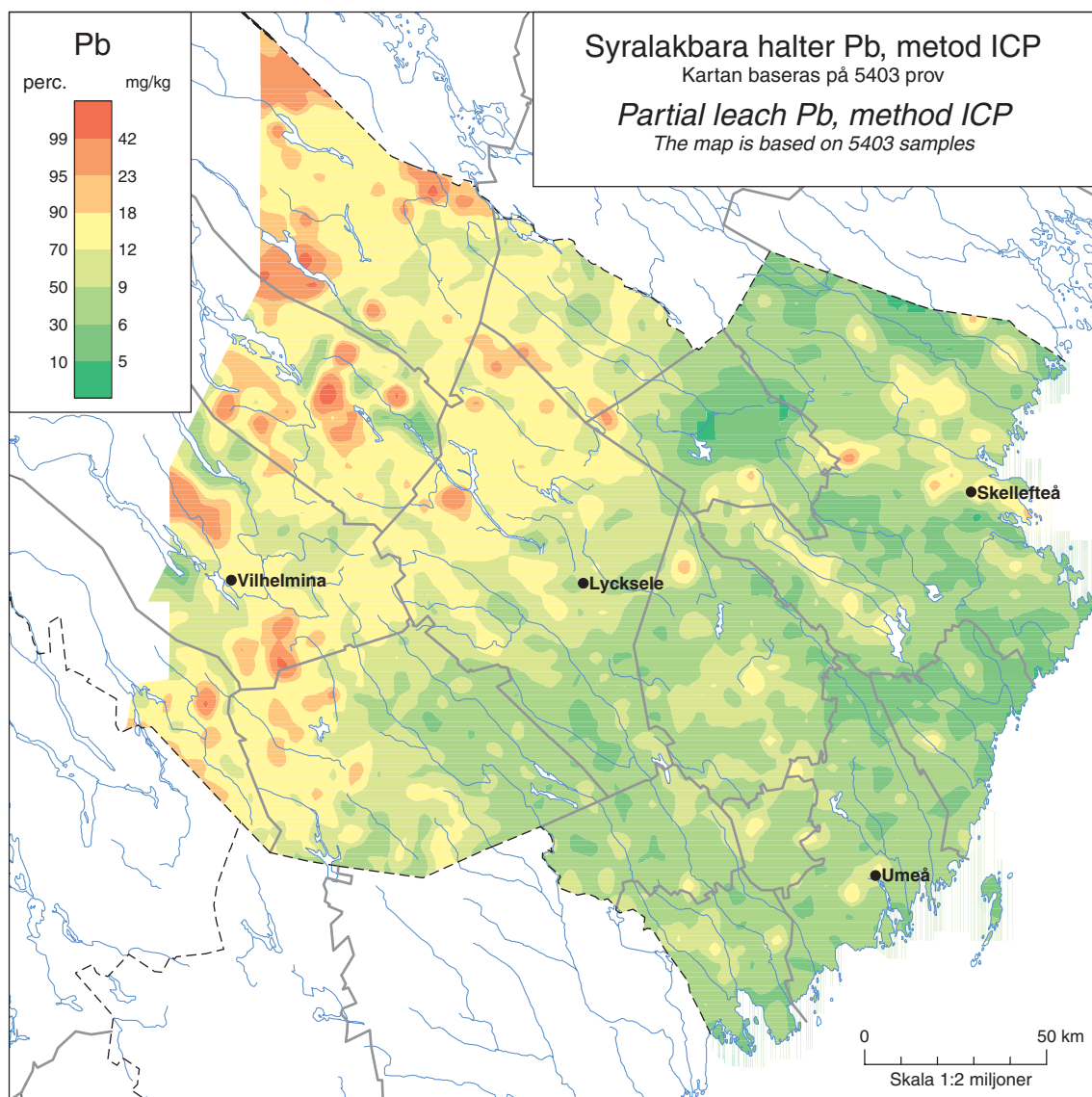
Arsenik (As)

Arsenik uppträder i bergarter i en mängd olika mineral, varav arsenikkis (FeAsS) torde vara vanligast. I bergarter är de högsta halterna i regel knutna till skifferbergarter. Geokemiskt är As närbesläktat med Sb och Bi, och vid guldprospektering används ibland As som guldindikator.

I det undersökta området förekommer förhöjda totalhalter av As i två stora zoner. En västlig zon löper från Lycksele mot NV fram till fjällkedjans bergarter. Här förekommer ett antal mineraliseringar med arsenikkis inom den förhöjningen, och ett nära samband med argillitiska sediment (glimmerskiffer, gnejser etc.) kan förklara avvikelsen. En östlig förhöjning löper längs Skelleftefältets huvuddel, och regionen sammanfaller här med förekomst av argillitiska sedimentbergarter samt sura och intermediära vulkaniter. Kartan baseras på nivellerad information från SGUs och NSGs databaser (kungsvattenlakning).

Total- och salpetersyralakbara halter uppvisar stora likheter. En jämförelse mellan 1 166 analyserade prov visar att halterna mätta med XRF generellt är högre på låga nivåer, medan halter från ca 30 mg/kg ger nära identiska resultat (fig. 6). Detta kan vara en följd av mineralogiska faktorer, men mer sannolikt är det ett uttryck för ökad mätosäkerhet för XRF vid låga halter, dvs. att halten As överskattas vid låga nivåer. Normalt är nedre bestämningsgräns för As med XRF 10 mg/kg.

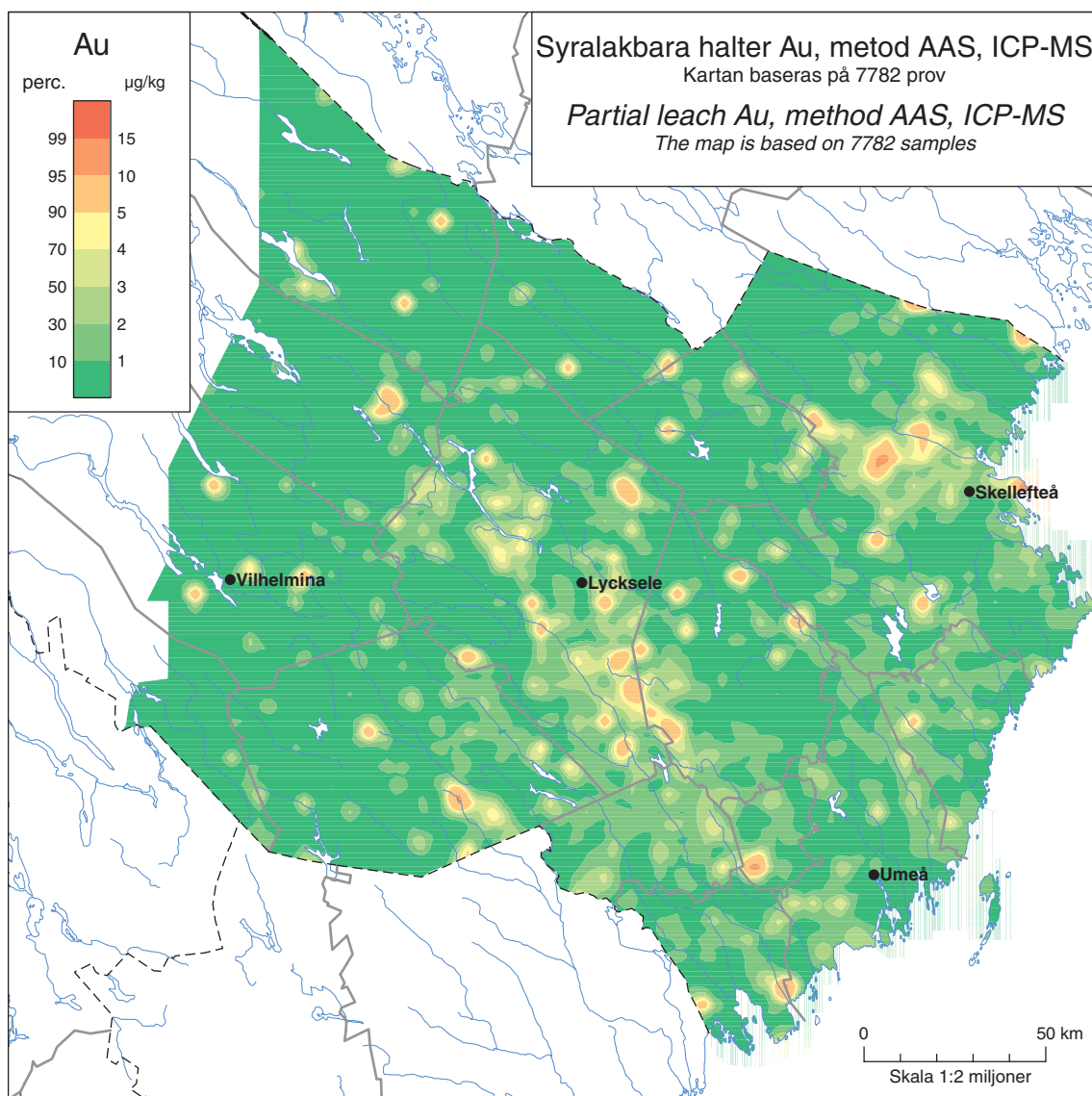
Bland analyserade spärelement korrelerar salpetersyralakbart As bäst med Cd, Bi, Zn och Cu. Sambanden är dock inte speciellt starka ($r = 0,5-0,6$, $n = 2\,739$).



Bly (Pb)

Tungmetallen bly, Pb, uppträder i bergarter normalt i halter på några mg/kg och förekommer där bundna till svavel (främst som blyglans, PbS) eller i olika silikater, framför allt fältspater där det ersätter kalium eller strontium samt i viss mån kalcium (Koljonen 1992). Bly i jordar är relativt immobilt i de flesta miljöer.

Totalhalterna av Pb är förhöjda framför allt i undersökningsområdets nordvästra del. Även morän vid fjällranden innehåller förhöjda totalhalter. En karta över lakbarhet för bly visar att fjällkedjans bergarter ger upphov till en morän med betydligt mera lättlakat Pb än bergarterna i områdets östra hälft – i fjällkedjans närhet ligger lakbarheten t.o.m. över 72 %, medan lågområden i öster normalt ger runt eller mindre än 30 %. Förklaringen ligger sannolikt i de olika förekomstsätten Pb kan uppvisa, höga lakbarheter kan indikera förekomst av blyglans. I denna rapport redovisas en karta baserad på nivellerad information från SGUs och NSGs databaser (lakning med kungsvatten och 7M salpetersyra).



Guld (Au)

Guld är en ädelmetall som uppträder ytterst sparsamt i naturen, halterna ligger normalt under 1 PPB ($\mu\text{g/kg}$). Ibland kan geologiska processer anrika Au till halter och mängder som kan brytas och utvinas, ibland i form av rena guldmalmer men lika ofta som biprodukt vid utvinning av andra metaller (t.ex. Cu, Zn, Ni, Pt, Pd).

Mineralprospektering efter Au sker relativt ofta med hjälp av moränprovtagning, och vid upptäckten av Björkdalsgruvan i Skelleftefältet användes metoden framgångsrikt. Guld var tidigare förhållandevis svårt att analysera – idag finns relativt snabba och säkra analysmetoder. Mer problematisk är dock provtagningsmetodiken, eftersom guld till skillnad från många andra element inte är jämnt spridd i morän utan ofta uppträder som korn (den s.k. nuggeteffekten) vilket gör att enskilda prov kan vara relativt svårtolkade. Guld kan även sällsynt förekomma i grövre fraktioner, och ingår därmed ej i den här analyserade finfraktionen.

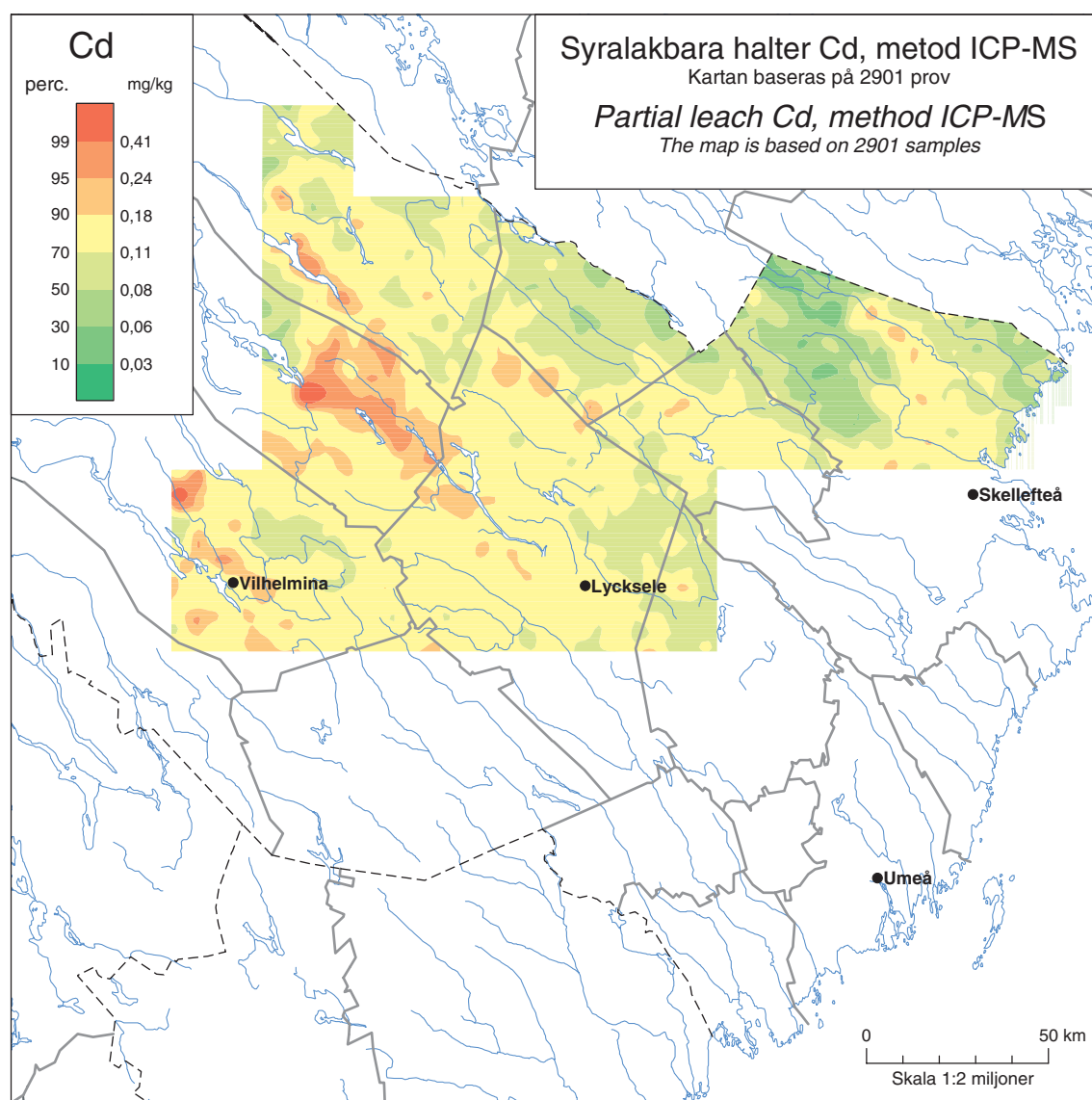
I kartan har använts samtliga analysresultat från såväl SGUs pågående kartering som från NSG-databasen. Eftersom analysering skett med flera olika metoder, vars resultat skiljer sig en del från varandra, har en omfattande nivåjustering (s.k. nivellering) gjorts före kartframställningen. Av kartan framgår att det finns två större områden där förhöjda guldhalter är relativt vanliga, dels i anknäring till en del av Skelleftefältet, dels i en långsträckt zon som sträcker sig från ett område nordväst om

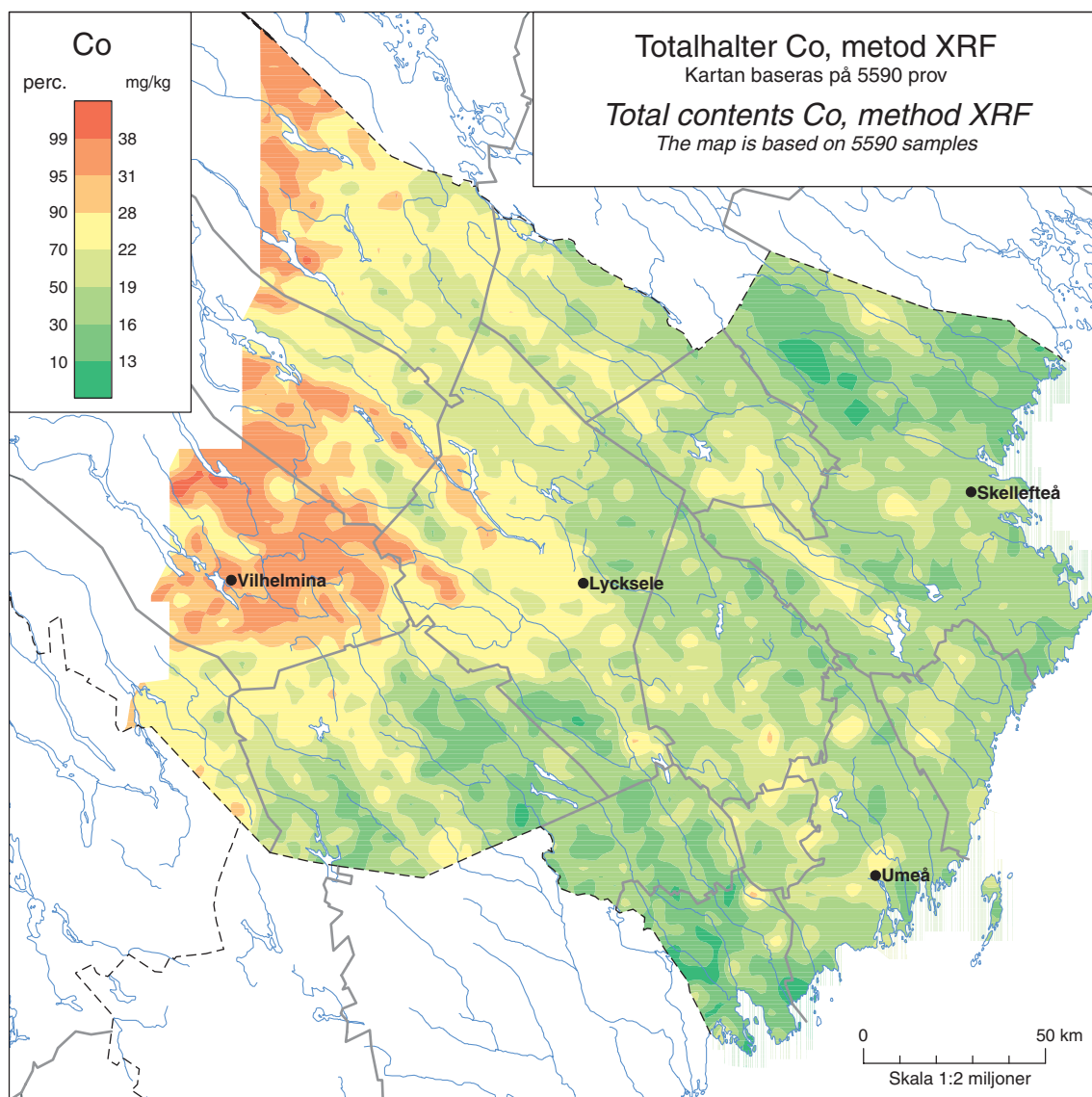
Lycksele mot sydost. I eller i nära anknytning till dessa anomalier är flera guldmalmer eller guldminaliseringar kända. Utanför dessa områden uppträder sporadiska punkter där förhöjda guldhalter uppmätts. Ibland finns även här kända mineraliseringar, ibland är källan okänd.

Kadmium (Cd)

Kadmium är geokemiskt nära besläktat med zink (Zn) och elementen uppträder ofta tillsammans i t.ex. zinkblände, ZnS. Detta framgår även vid en jämförelse av kartorna över salpetersyralakbara halter. Korrelationskoefficienten (r) för Zn-Cd i morän (0,69, $n=2739$) är signifikant positiv.

Salpetersyralakbart kadmium uppträder i förhöjda haltnivåer främst i anknytning till argilliter, framför allt i närheten av fjällkedjan. Även Skelleftefältets argilliter inverkar förhöjande på Cd-halterna, men inte lika kraftigt som i Storumanregionen. Totalhalten för Cd har ej analyserats, men p.g.a. det nära släktskapet med Zn kan lakbarheten antas ligga i samma intervall, dvs. nära 70 %.



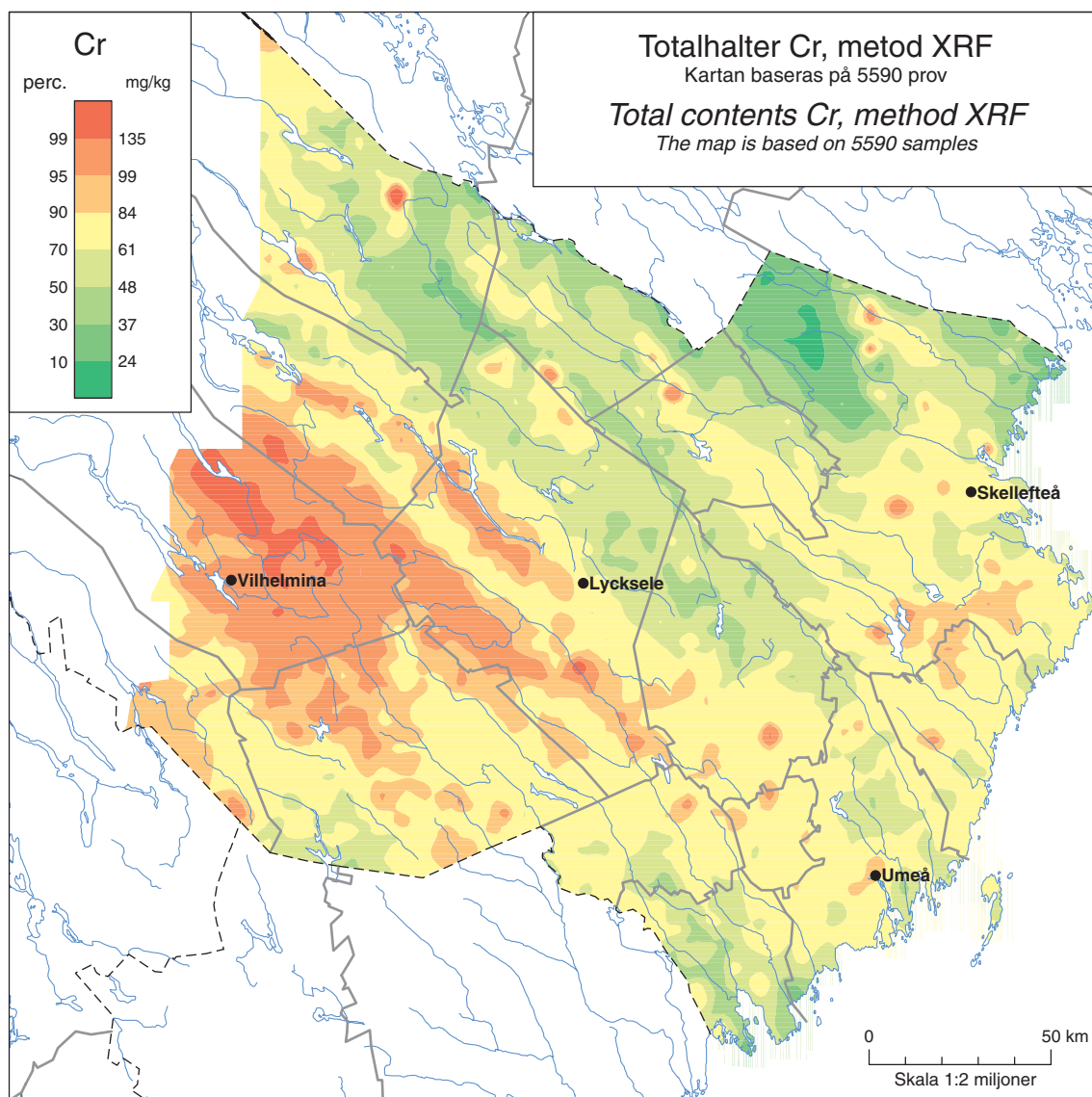


Kobolt (Co)

Den mest spridda förekomsten för Co mineralogiskt är mörka Fe- och Mg-silikater, detta eftersom Co ofta ingår i de bergarter och mineral som bildas tidigt under en magmas kristallisation. Kobolt förekommer även tillsammans med Fe och Ni i sulfidform.

Totalhalterna av Co är förhöjda främst i anknytning till fjällkedjans bergarter, och halterna klingar av österut i området. Syralakbara (såväl NSGs kungsvatten som SGUs salpetersyraanalyser) följer samma mönster. Den procentuella andelen syralakbart Co ger en kartbild där mer lättlakat Co förekommer i västra halvan av undersökningsområdet. I öster är lakbarheten <15 % över stora ytor. Undantaget här är Skelleftefältets bergarter vilka tycks ha inverkat förhöjande på lakbarheten.

Medianhalten för totalt Co-innehåll är 19,5 mg/kg, vilket är mycket nära den genomsnittliga halten i kontinental jordskorpa (20 mg/kg). Medianvärdet för den procentuella syralakbarheten är 25 % vilket kan betraktas som lågt (se t.ex. Koljonen 1992). Sannolikt förekommer Co därför vanligtvis i relativt svårlakade mineral, troligen i någon form av silikater. Statistiskt (korrelationer, faktoranalys) faller Co inom gruppen mafiska element, se t.ex. Fe, Mg.

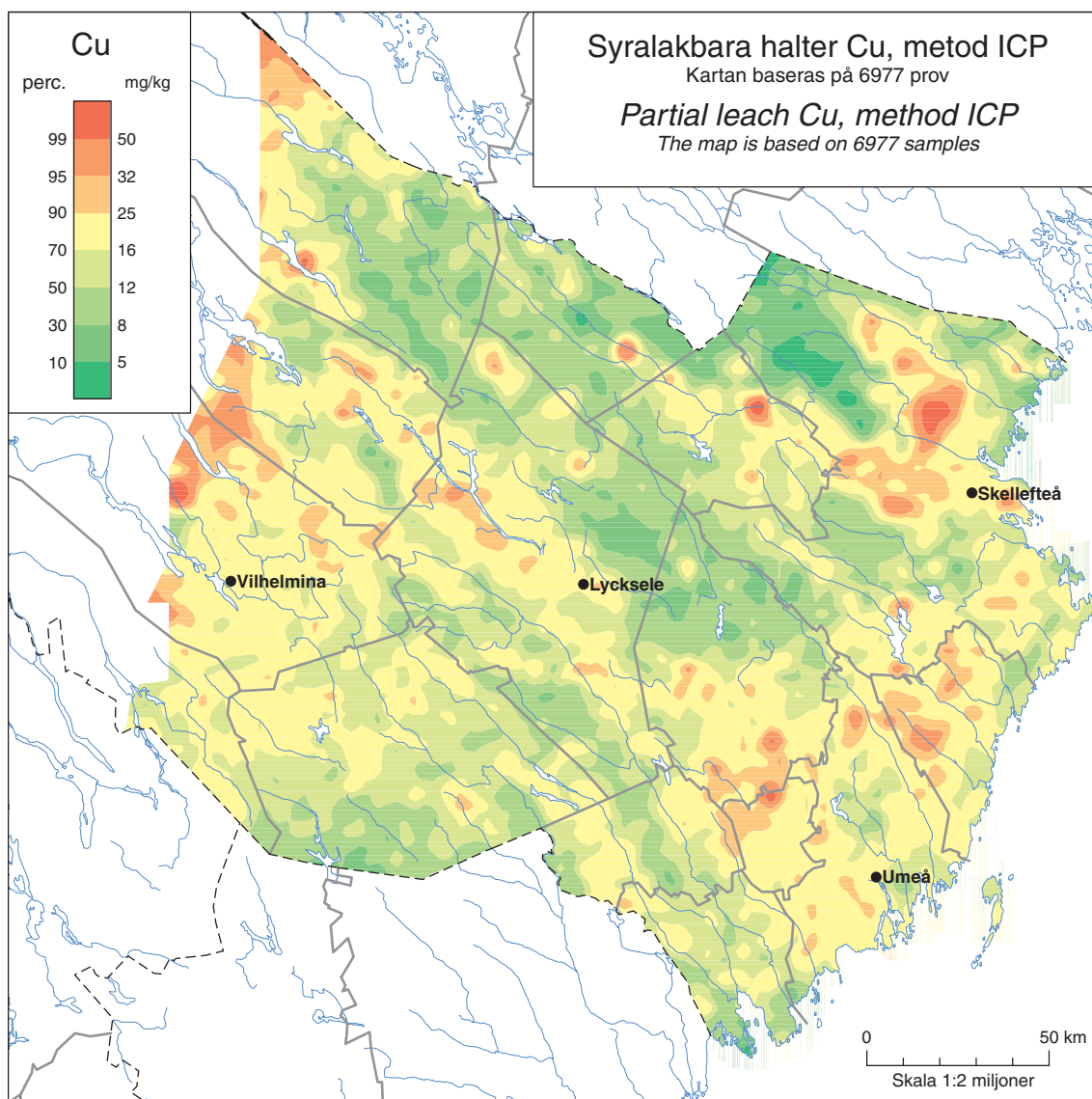


Krom (Cr)

Krom uppträder ofta i mafiska mineral och ingår därför i högre utsträckning i ultramafiska och mafiska bergarter än i kiselrikare varianter. Spårelementet är essentiellt, men som kromatjon (sexvärt Cr) är elementet toxiskt.

Förhöjda **totalhalter** uppträder i framför allt Vilhelmina kommun, där en anomal zon med halter överstigande 100 mg/kg sträcker sig från fjällkedjan norr om Vilhelmina nedströms isrörelseriktningen mot sydost. En mindre förhöjning uppträder sydväst om Lycksele, och orsakas där sannolikt av basiska vulkaniter eller motsvarande djupbergarter. I stark kontrast till dessa områden står nordvästra delen av Skellefteå kommun, där halterna ligger runt 20–30 mg/kg. I SGUs mineralfyndighetsdatabas finns enbart en fyndighet med Cr i det beskrivna området (se vanadin).

Syralakbara halter följer endast delvis samma mönster, och förhöjda halter förekommer ofta i den östra delen av länet, där argillitiska bergarter dominerar. Av detta följer att de höga totalhalterna för Cr nedströms fjällkedjan sannolikt indikerar förekomst i relativt svårlakade mineral. Statistiskt (korrelationer, faktoranalys) faller Cr inom gruppen mafiska element, se t.ex. Fe, Mg.



Koppar (Cu)

I jordskorpan uppträder Cu i såväl sulfider som karbonater och hydroxider. Även elementärt Cu kan uppträda. Gabbroida bergarter och argilliter är generellt något anrikade i jämförelse med andra bergarter, men de högsta halterna återfinns i skiffrar med hög halt organiska ämnen (Koljonen 1992). Vid malmbildande processer är slutprodukten oftast kopparkis (CuFeS_2).

I undersökningsområdet tillhör koppar de metaller som bryts och har brutits i flertalet av malmen. I Skelleftefältet förekommer kopparmalmerna och -mineraliseringarna i anknytning till förhöjda halter Cu i morän, men förhöjningarna är inte speciellt markanta. Kartan baseras på nivellerad information från SGUs och NSGs databaser (kungsvattenlakning). Även utanför Skelleftefältet är kopparmineraliseringar kända, och förekommer även då inom eller i nära anknytning till anomala moränhalter. Totalt finns 124 kända kopparmineraliseringar och malmer beskrivna i SGUs mineralfyndighetsdatabas i länets här undersökta del. I anknytning till de högst uppmätta halterna (50–100 mg/kg totalhalt Cu) finns dock inga kända mineraliseringar. Om detta beror på generellt förhöjda bakgrundshalter i berggrund, eller om mineraliseringar ej upptäckts eller inte dokumenterats, är obekant. Ett samband mellan argilliter och förhöjda bakgrundshalter är relativt tydligt.

Koppar uppvisar en stark korrelation mellan syrilakbara halter och totalhalter, och lakbarheten är generellt mycket hög, ca 90 %. Detta innebär att Cu är bundet till lättlakade mineral såsom skikt-

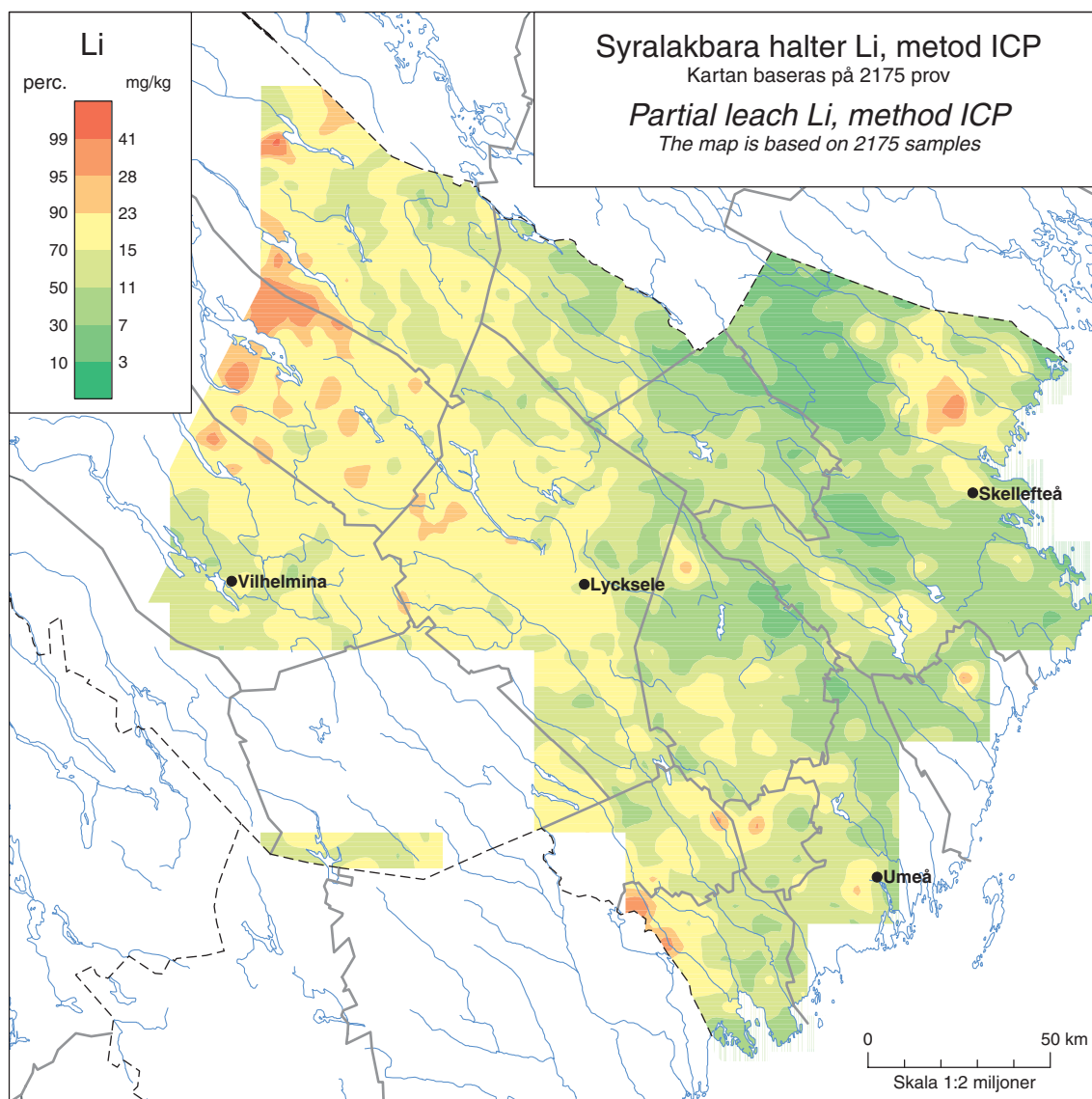
silikater (lermineral m.m.) eller sulfider.

Totalhalterna korrelerar relativt väl med gruppen mafiska element, men inte lika väl som de övriga i gruppen sinsemellan. Cu är det element som korrelerar bäst med svavel, och även om korrelationen inte är speciellt stark kan detta ändå indikera att en del av de uppmätta Cu-halterna avspeglar ursprunglig förekomst i sulfidform. Eftersom sulfiderna sannolikt oxiderat ingår Cu förmodligen i sekundära former såsom biotit och järnhydroxider (se t.ex. Öhlander m.fl. 2003).

Lantan (La)

Lantan tillhör de s.k. sällsynta jordartsmetallerna (REE), och uppträder framför allt i granitiska bergarter och då ofta i det vittringsmotståndskraftiga mineralet monazit [(Ce, La, Th)(PO₄, SiO₄)]. Lantan förekommer ofta tillsammans med spårelementen Y, Th och Sc.

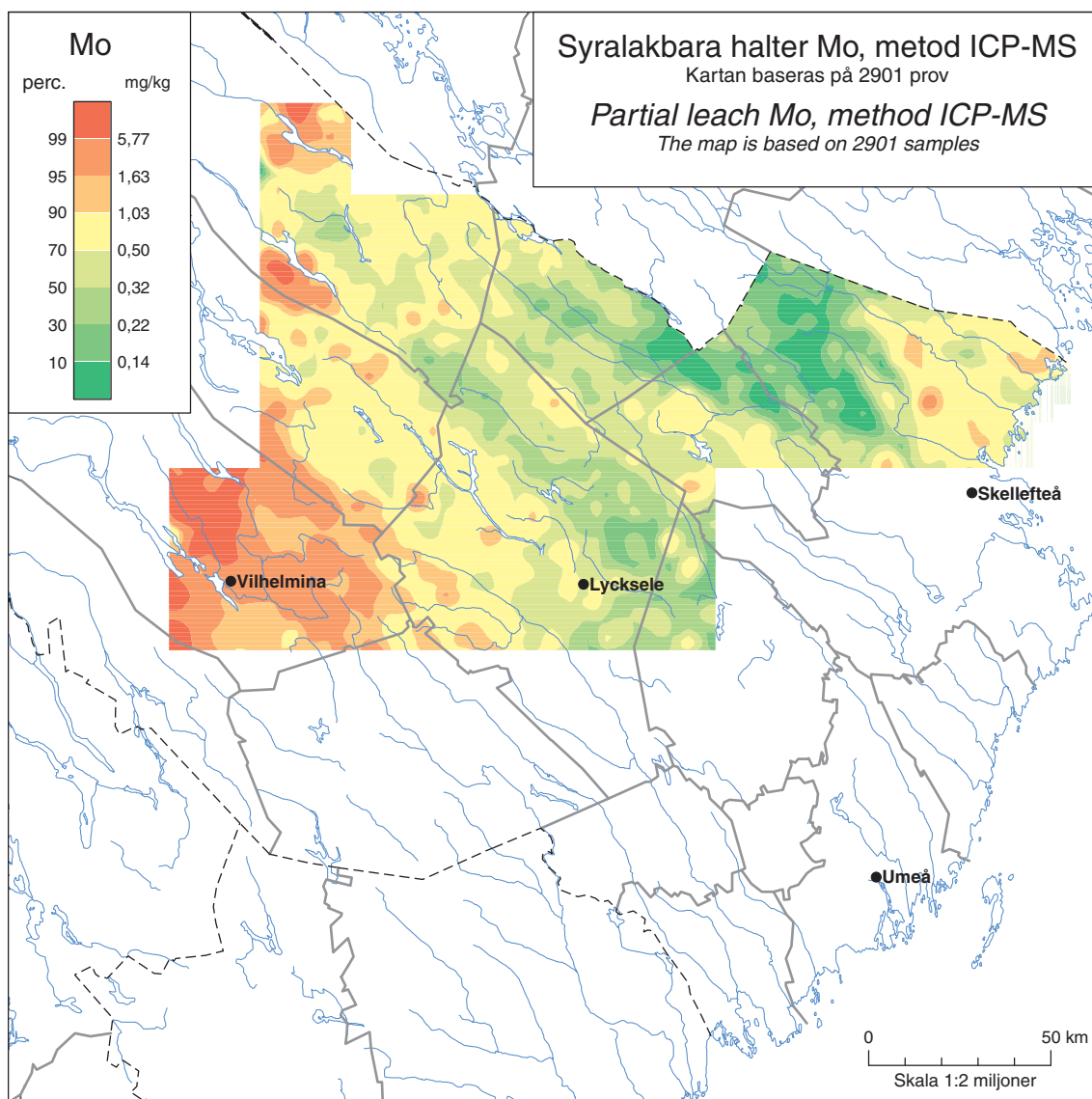
Endast syralakbara halter har analyserats och täckningsgraden i området är ofullständig, i sydvästra delen har inga analyser skett. Lantan redovisas ej som karta. Halterna är generellt sett låga, dock uppträder något förhöjda halter i anknytning till delar av grannkommunerna Sorsele, Malå och Lycksele. Här underlagras moränen av graniter, vilket sannolikt också gett upphov till förhöjningarna.



Litium (Li)

Alkalimetallen litium uppträder i flera olika mineral såsom pyroxener, turmalin och glimmer. Till den senare gruppen hör bl.a. lepidolit, ett glimmermineral som brutits i Varuträskgruvan, ett pegmatitbrott som var i drift 1936–1946 och där även andra litiummineral (framför allt amblygonit och petalit) bröts. Varuträskpegmatiten är belägen ungefär halvvägs mellan Skellefteå och Boliden och ett 50-tal olika mineral, varav flera sällsynta, finns beskrivna.

Den vanligaste förekomstformen för Li är sannolikt biotit (Koljonen 1992) vilket förklarar varför över 70 % av totalhalten anses vara lakbar med kungsvatten. I denna undersökning har inga totalhalter undersökts, utan kartan baseras enbart på kungsvattenlakbara halter. Av kartan framgår att halterna är förhöjda speciellt i nära anknytning till delar av fjällkedjan, men även delar av den argillitiska berggrunden inverkar förhöjande på moränens litiumhalt. Detta stämmer väl med antagandet att det huvudsakligen är moderbergarternas biotit innehåll som styr haltnivåerna.

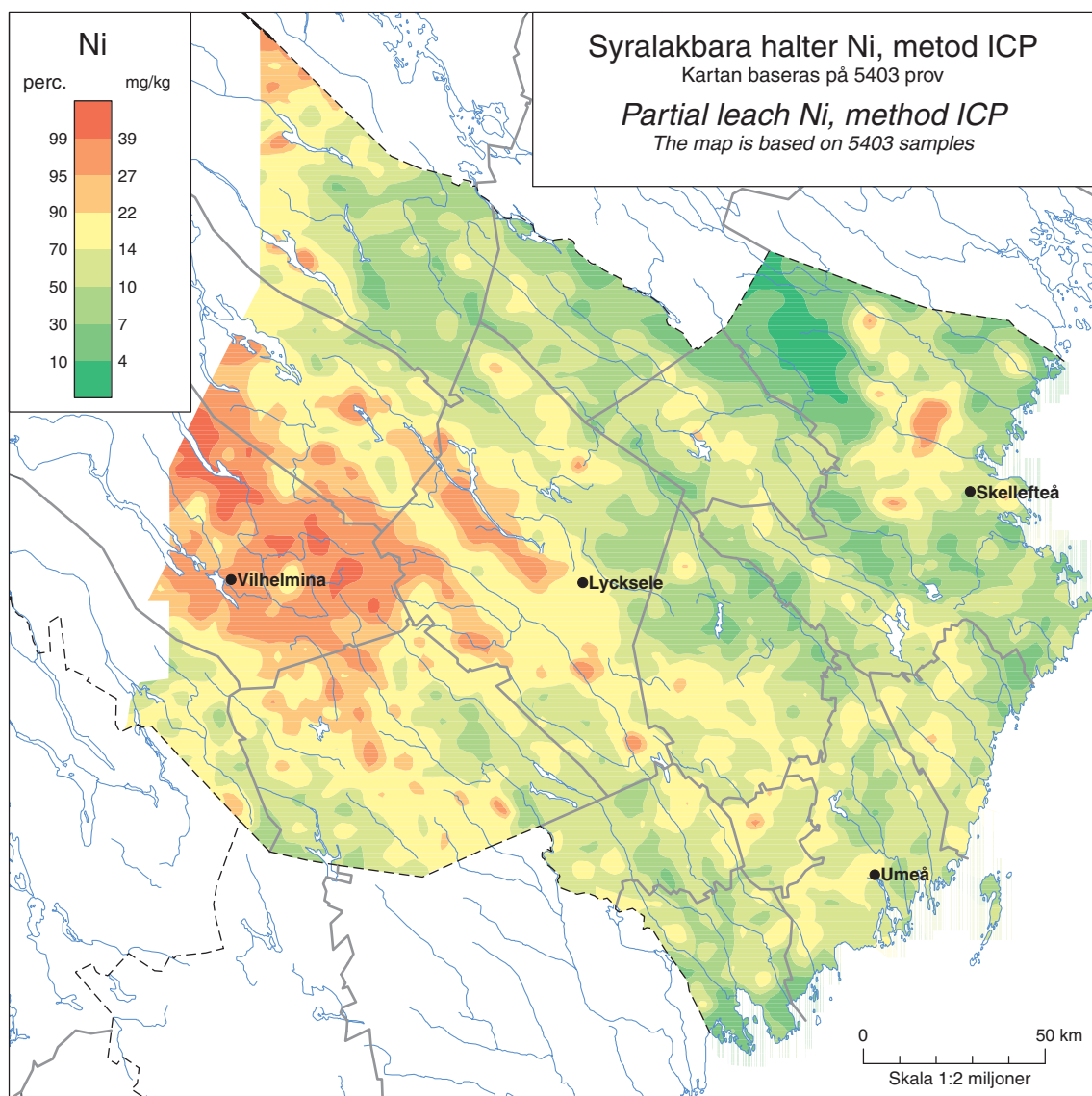


Molybden (Mo)

Spårelementet och metallen molybden uppträder normalt i de flesta bergarter i haltintervallet 1–2 mg/kg. Den huvudsakliga förekomstformen är molybdenglans (MoS_2), men Mo kan även i låga koncentrationer uppträda bland annat i andra sulfider och silikatmineral. Geokemiskt följer Mo och W samma mönster.

Molybdenglansen vittrar under sura förhållanden endast marginellt, och frigit Mo adsorberas snabbt på lermineral och organiska sediment. Den begränsade vittringen leder ibland till att urlakningshorisonten i podsolfjordar innehåller anomala mängder MoS_2 , såvida förutsättningarna (dvs. ett ursprungligt MoS_2 -rikt modermaterial) är de rätta.

Molybdenmineraliseringar uppträder ofta i anknytning till graniter, och i Västerbotten finns enligt SGUs mineralfyndighetsdatabas en handfull kända mineraliseringar beskrivna där Mo uppträder tillsammans med spårelement som Au, Cu och W. Kartan över Mo baseras enbart på salpetersyralakbara halter och visar att halterna är starkt förhöjda i anknytning till fjällkedjan; den högsta halten som där uppmäts uppgår till 56 mg/kg vilket överstiger medianhalten (0,35 mg/kg) för riket 160 ggr. Även totalhalter har bestämts, men majoriteten av analyserna ligger under eller nära den undre bestämningsgränsen (även kallad detektionsgränsen) och resultaten är därför relativt osäkra. Ett antal högre halter påträffas dock även här i anknytning till morän som påverkats av fjällkedjebergarter.

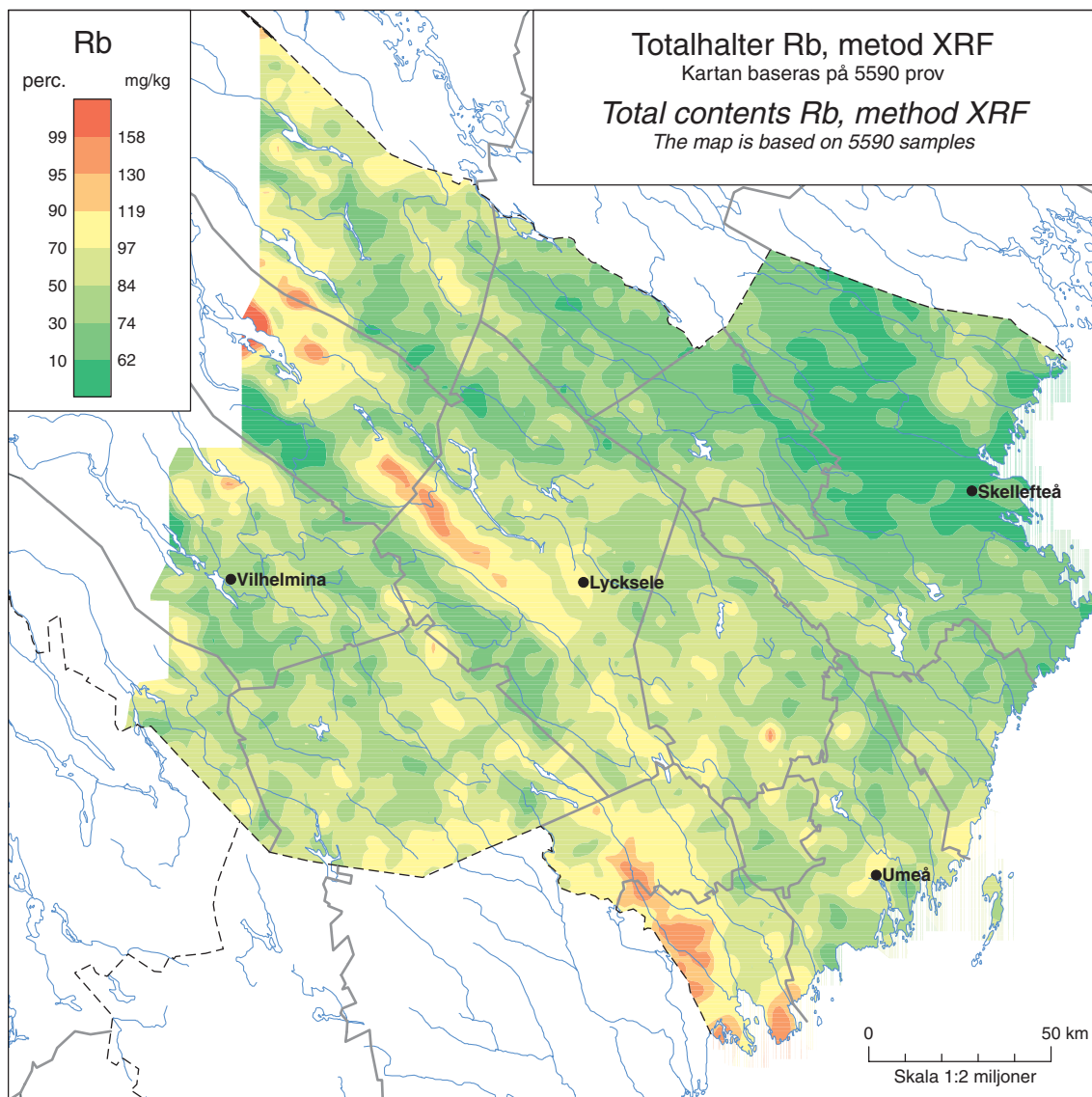


Nickel (Ni)

Metallen nickel uppträder normalt i bergarter i halter mellan 1 och 200 mg/kg (Koljonen 1992) men kan i framför allt ultramafiska bergarter uppgå till 2 000 mg/kg. Nickel ingår i såväl sulfid- som silikat-mineral. Bägge är lättvittrade, och löst Ni tenderar att adsorberas till Fe,Mn-(hydr)oxider. Geokemiskt följer Ni såväl Fe som Mg, och ersätter ofta dessa i mineralgitter.

I moränen uppvisar Ni drag som starkt påminner om Mg, vilket också reflekteras i en starkt signifikant korrelationskoefficient ($r=0,90$). Även för övriga mafiska element är korrelationen starkt positiv.

I området förekommer ett flertal kända nickelmineraliseringar, varav tre har brutits. Ett tjugotal nickelfyndigheter bildar en zon som sträcker sig från kusten i södra delen av Skellefteå kommun mot sydväst in i sydligaste delen av Lycksele kommun. De flesta fyndigheterna associeras till sepienit, peridotit, hornbländit, pyroxenit eller ultramafiska intrusivbergarter. Ingen av mineraliseringarna framträder tydligt på den morängeokemiska kartan över länet, vilket kan bero på använd skala. Kartan baseras på nivellerad information från SGUs och NSGs databaser (kungsvattenlakning). Däremot finns ett samband mellan vissa basiska vulkaniter och motsvarande djupbergarter och förekomst av förhöjda, framför allt syralakbara, Ni-halter. Procentuellt sett är lakbarheten högst i områdets sydöstra del, men även inom det nordvästra hörnet (sammanfaller väl med fjällkedjebergarter) överstiger den lakbara delen 70 %.



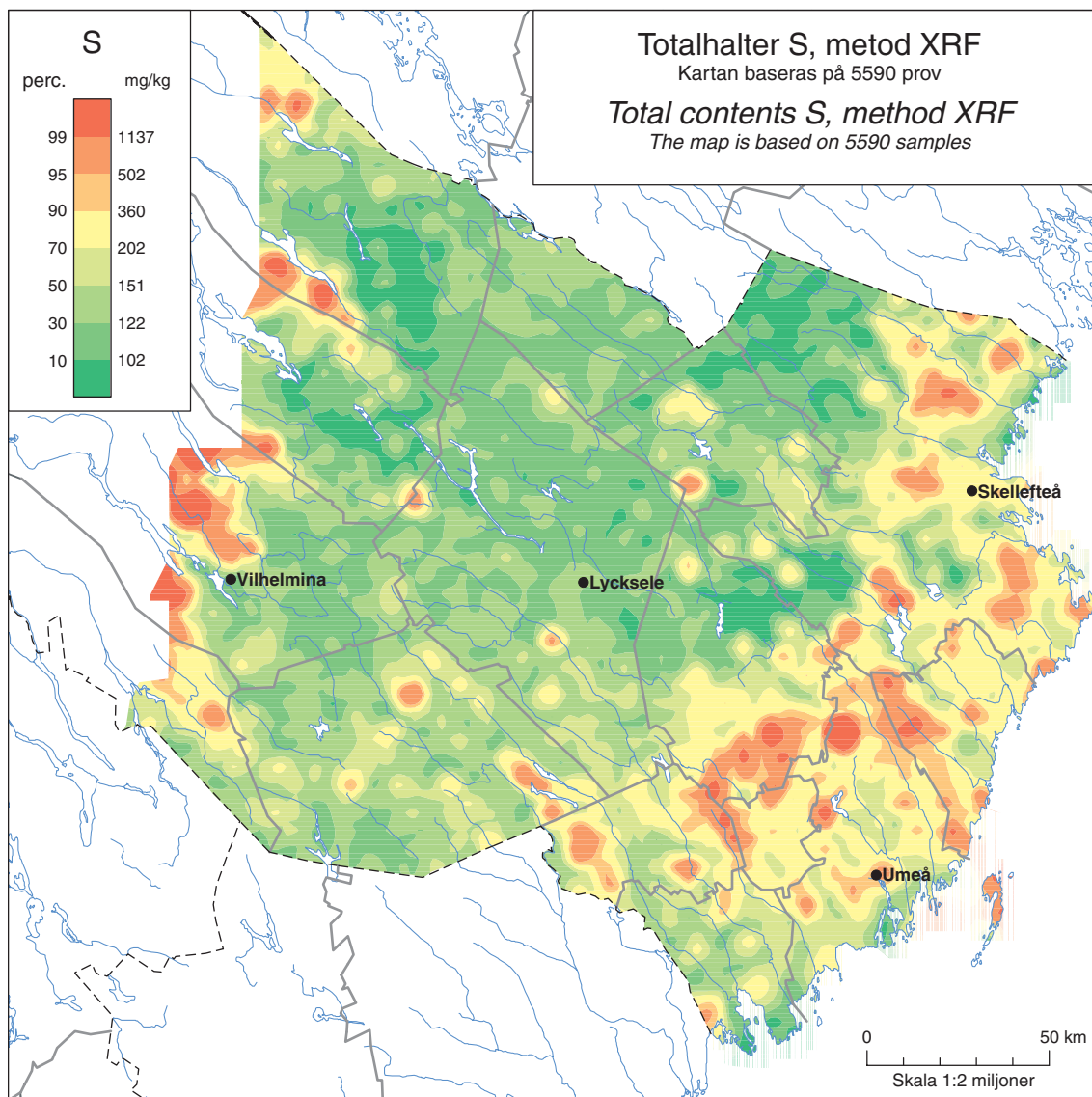
Palladium (Pd)

Palladium analyserades inom ramen för NSG-SGAB-karteringen, och redovisas här ej i kartform. Ädelmetallen Pd förekommer, liksom Au, Pt m.fl. i ytterst låga halter i bergarter och morän – i undersökningsområdet har 1 701 prov analyserats och endast 105 av dessa innehöll halter på 1 µg/kg eller högre (analysmetod kungsvattenlakning + AAS). Den högst uppmätta halten, 6,2 µg/kg, uppmättes i morän från Sorsele kommuns nordöstra hörn. Inga signifikanta korrelationer med övriga analyserade element kan konstateras.

Rubidium (Rb)

Alkalimetallen rubidium följer ofta kalium i geokemiska processer, och ingår därför i kalifältspater och glimmermineral. Normalt anrikas Rb i graniter, som i genomsnitt innehåller ca 4 ggr mer Rb än exempelvis gabbrobergarter.

Kartan över totalhalter för Rb i morän är också mycket snarlik kartan över K. Korrelationen med K är starkt positiv, $r = 0,75$. Den procentuella lakbarheten för Rb är i genomsnitt högre än för K (i riket i genomsnitt 16,2 % mot 4,6 %). Kartbilderna över syralakbara halter är snarlika – däremot skiljer sig syralakbara och totala halter från varandra (se K).



Strontium (Sr)

Strontium är ett grundämne som geokemiskt är närbesläktat med Ca och därför följer de bägge elementens mönster ofta varandra. Detta gäller även för totalhalterna i Västerbotten, dock saknas den markanta, långsträckt zon från fjällkedjan som framgår av kartan över kalcium. I övrigt hänvisas till Ca och Na.

Svavel (S)

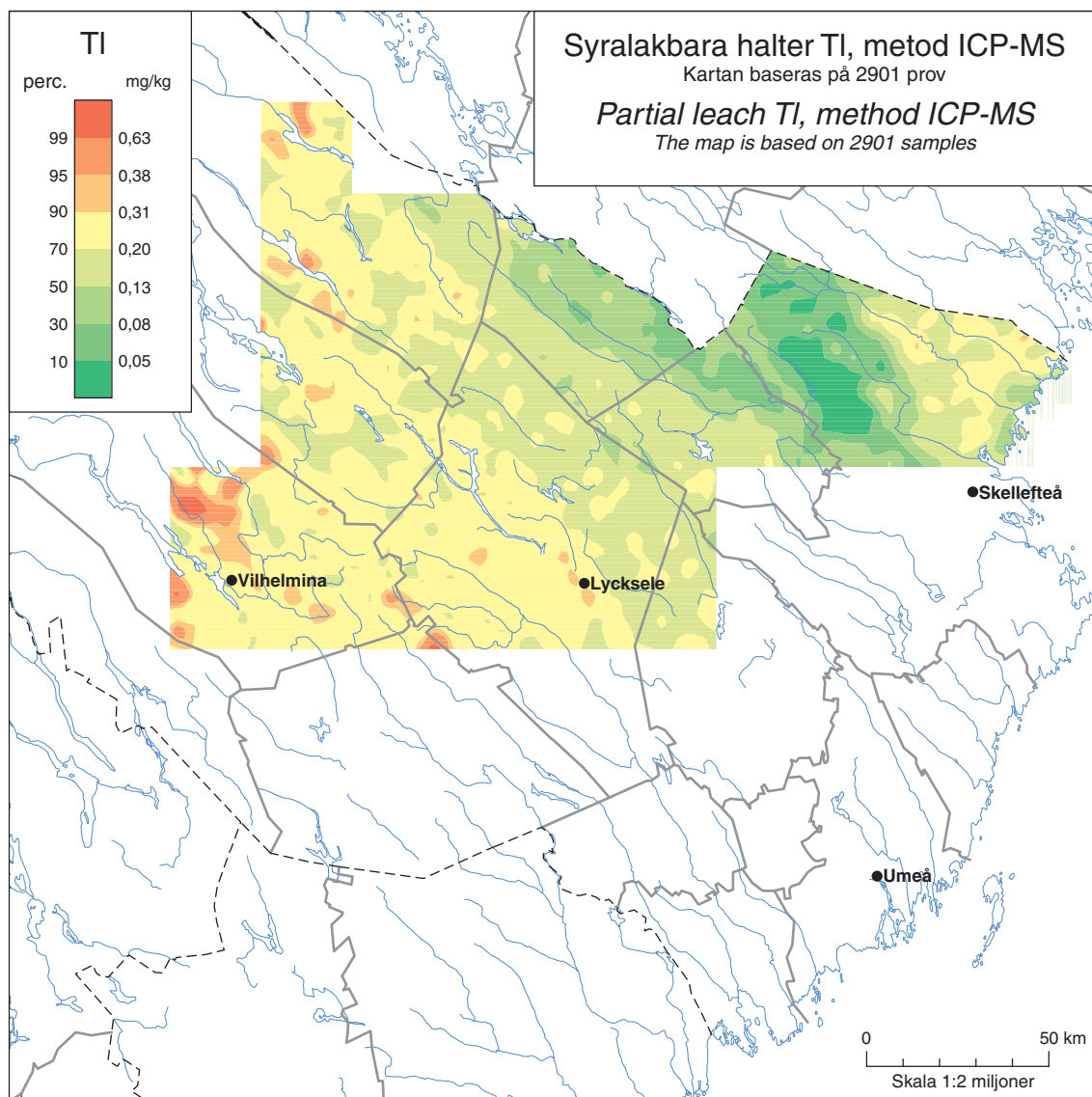
Svavel är ett essentiellt grundämne, en icke-metall som i bergarter i huvudsak förekommer som sulfider och i betydligt mindre utsträckning som sulfat. I bergarter förekommer S heterogent, och stora mängder påträffas i exempelvis större sulfidmalmer. I undersökningsområdet finns ett stort antal dylika malmer och mineraliseringar, framför allt i Skelleftefältet men även i såväl fjällkedjans bergarter som i övriga, urbergsdominerade partier. Enligt SGUs mineralfyndighetsdatabas är ca 160 sulfidmineraliseringar av varierande storlek kända i området.

Kartbilden över totalhalten S i morän visar att halterna är förhöjda över eller i anslutning till nästan samtliga partier av fjällkedjeranden, samt över argillitdominerade områden i länets östra del. I själva Skelleftefältet uppträder mindre markanta anomalier ställvis i anknytning till några av de större sulfidmineraliseringarna.

Statistiskt korrelerar S förhållandevis dåligt med samtliga elements totalhalter; den starkaste, positiva korrelationen ($r=0,31$) återfinns med Cu. Detta är föga överraskande eftersom många sulfidmineral är instabila under oxiderande förhållanden, och medan de flesta metaller som ingått i sulfiderna återutfälls i moränerna när svavlet (som sulfatjon) grundvattnet och transporteras bort. Negativa korrelationskoefficienter finns närmast gentemot Ca och Na, typiska plagioklaselement. Värt att notera är också de stora skillnaderna i innehåll av S i olika områden – medan exempelvis relativt stora ytor över de sura yt- och djupbergarterna norr om Skelleftefältet har moräner med <100 mg/kg uppträder i fjällkedjan och över argilliter ibland halter som överstiger 1 000 mg/kg (dvs. 0,1 % S). Speciellt i dessa områden är det möjligt att primära sulfidmineral fortfarande finns i moränen.

Tallium (Tl)

Tallium är ett starkt giftigt spårelement som ibland används inom malmprospektering som s.k. ”pathfinder”-element (Lett m.fl. 1997). I normala fall associeras Tl till K och Rb, eftersom Tl i bergarter uppträder i skiktssilikater (Reimann m.fl. 1998). Medelhalten i jordarter har angetts till 0,5 mg/kg (Koljonen 1992). I den undersökta delen av länet är medelhalten 0,19 mg/kg salpetersyralakbart Tl, och de högsta halterna återfinns i anknytning till fjällkedjebergarterna (där den högsta halten om 1,77 mg/kg påträffats).



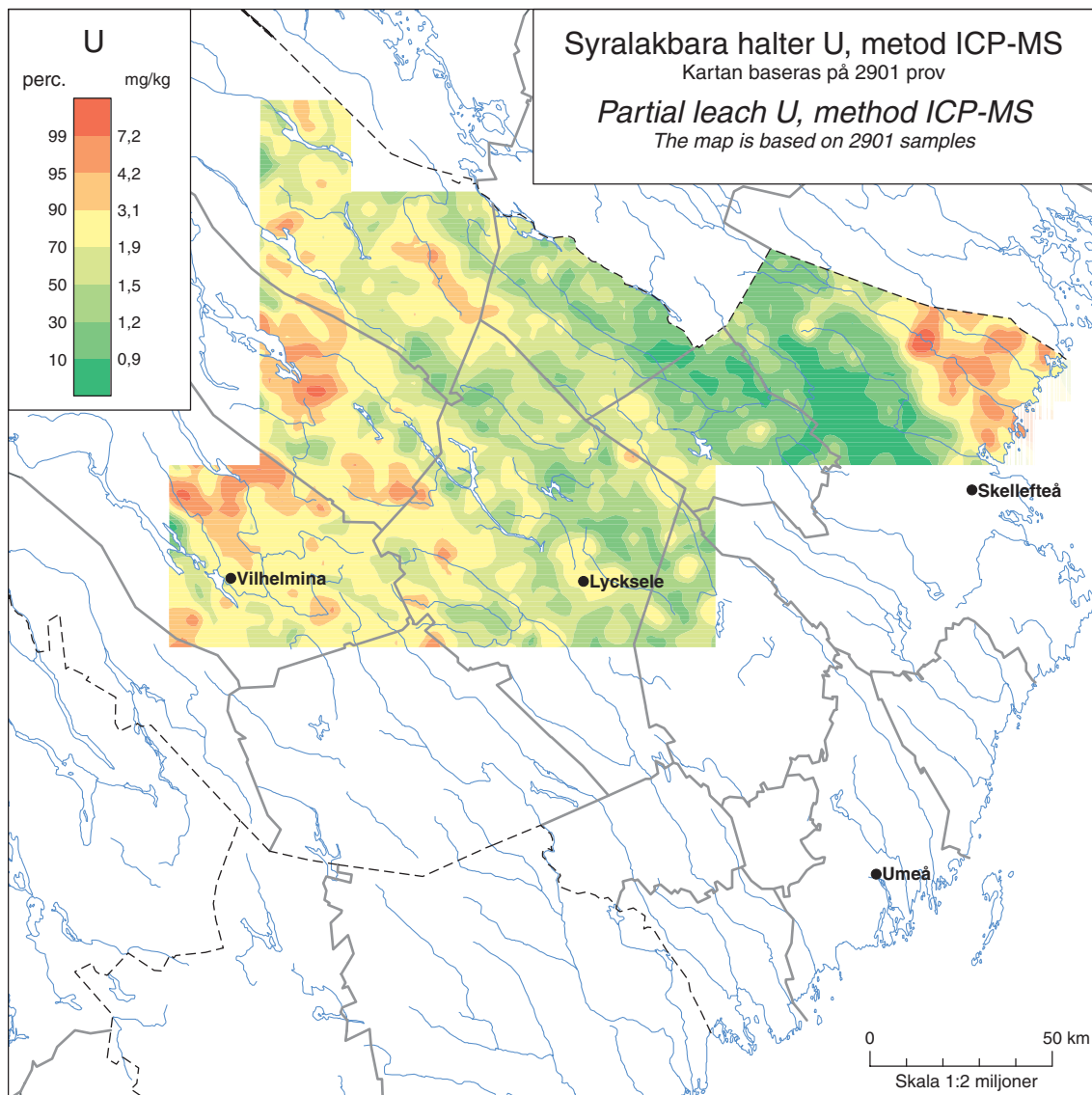
Den geokemiska kartan över Tl följer K och Rb (salpetersyralakning), men avvikelser finns framför allt i delar av fjällkedjan, där ett samband med höga svavelhalter uppträder. Detta visar att även om skiktssilikater (Tl-K-Rb) är den vanligaste associationen för Tl, kan sulfidinnehållet lokalt inverka starkt förhöjande.

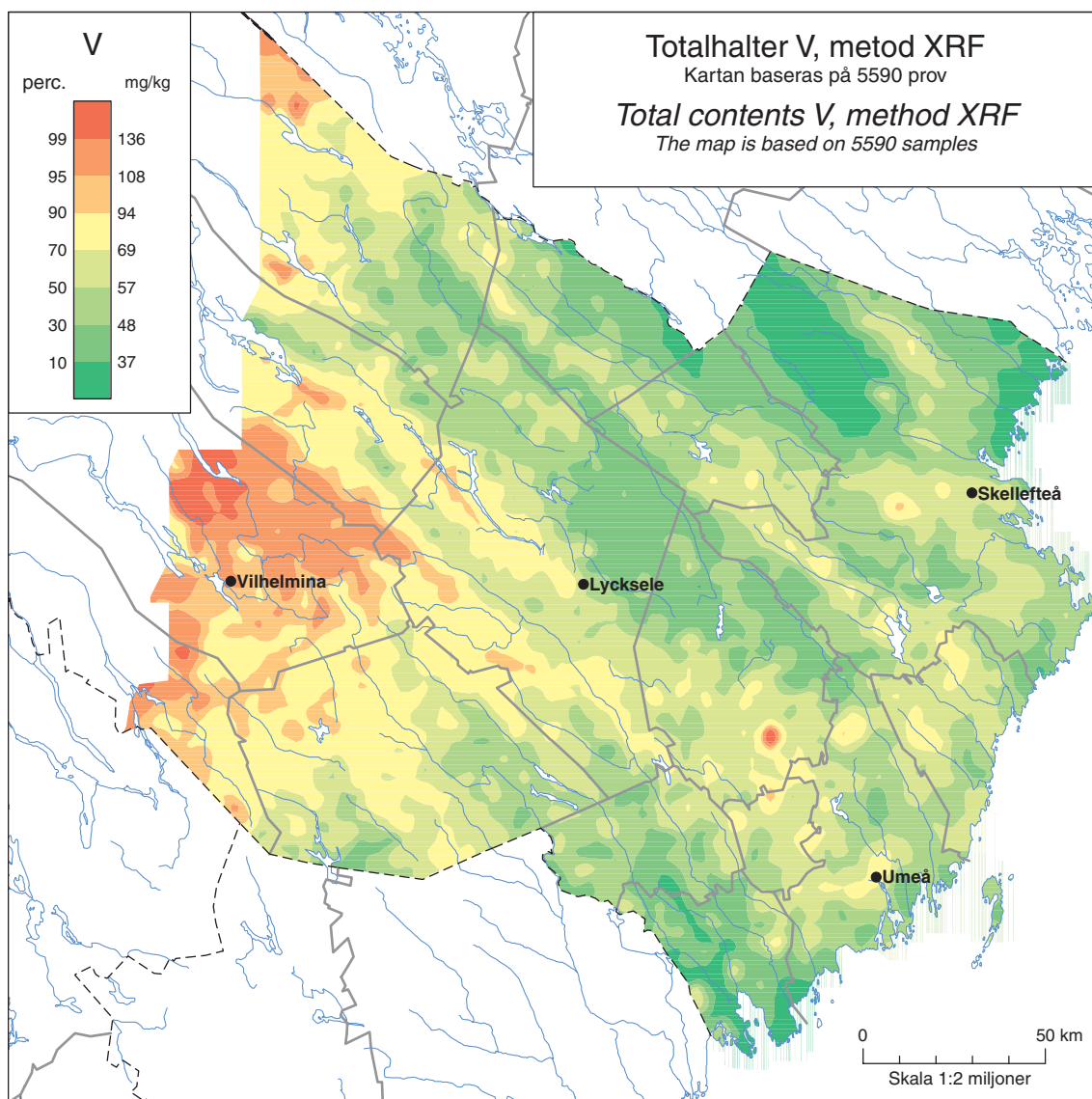
Torium (Th)

Det radioaktiva elementet torium uppträder ofta något anrikat i graniter, granodioriter, skiffrar och gnejs, vanligen associerat till K och U (Reimann m.fl. 1998). Ett begränsat antal Th-analyser (salpetersyralakning, ICP-MS) har utförts i området (redovisas ej i kartform), och visuellt finns ett visst samband med U. De högsta halterna (>25 mg/kg) återfinns spritt över området, och de största anomalerna återfinns i anknytning till fjällkedjan samt i östra delen av Sorsele kommun.

Uran (U)

Uran är, liksom Th, ett radioaktivt element. Bägge elementen uppträder generellt i förhöjda halter i samma bergarter, men till skillnad från Th är U under vissa förhållanden mycket mobilt. Även om U i sig har giftverkan (radioaktiviteten är dock låg), har framför allt sönderfallsprodukten radon hittills setts som den dominerande hälsorisken.



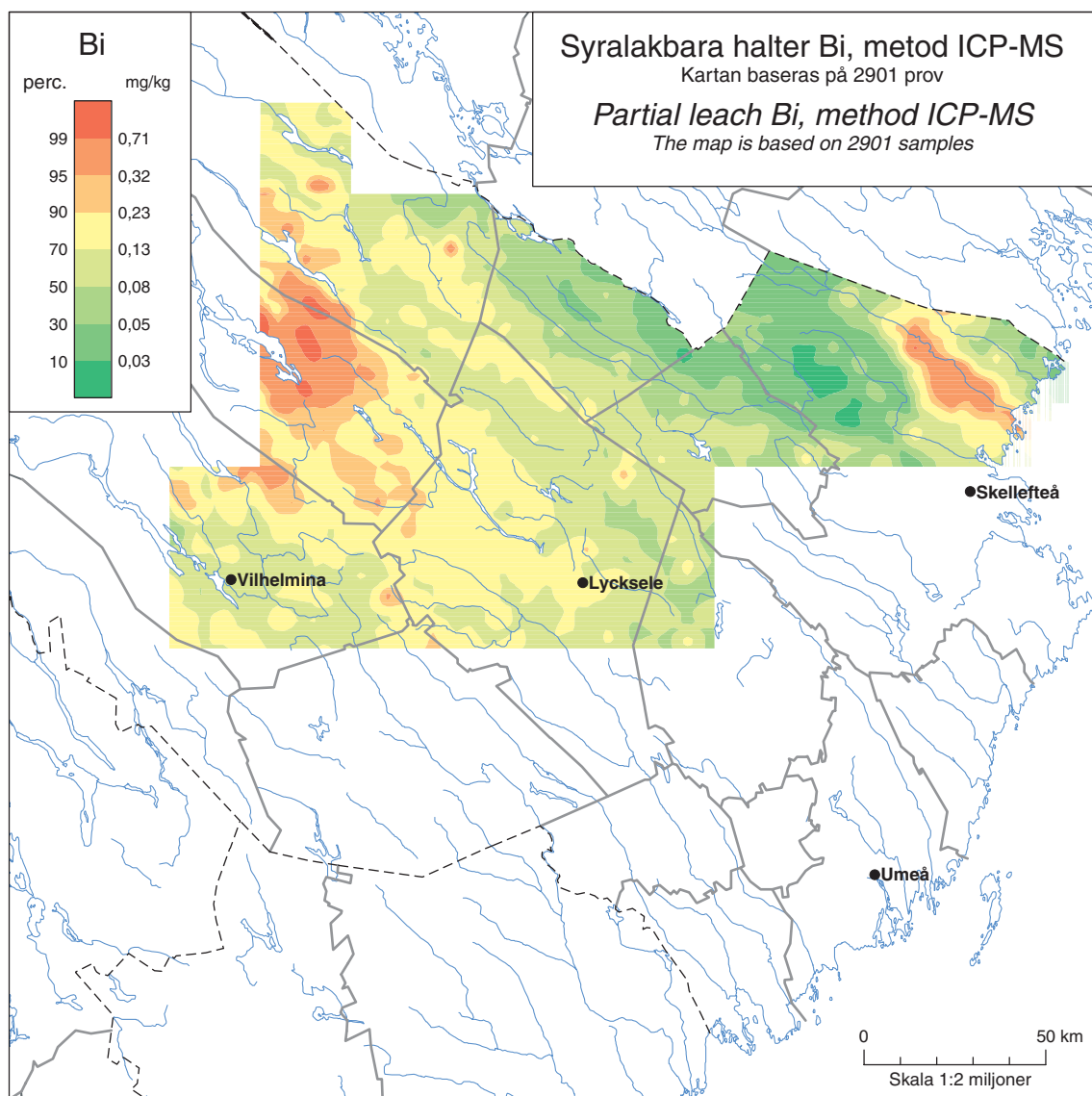


I SGUs mineralfyndighetsdatabas finns nio uranmineraliseringar i det undersökta området upptagna. De flesta är belägna i anslutning till fjällkedjan och av dessa är Duobblon (Sorsele kommun) den största och bäst kända. Även i Åsele kommun finns ett par fyndigheter, och där associeras U med Zr. Kartan (salpetersyralakning) visar att förhöjda halter uppträder framför allt i anknytning till argillitiska bergarter, samt över och nedan om delar av fjällkedjan. Se även avsnittet om miljögeokemi.

Vanadin (V)

Vanadin är en metall som ofta ersätter Fe i mafiska mineral, och uppträder därför i regel i samma grupp som elementen Fe, Mg, Ti, Cr, Ni m.fl. **Totalhalterna** av vanadin är starkt förhöjda över fjällkedjans bergarter i en del av Vilhelmina kommun, och når där halter som ligger mer än tio gånger högre än lågområdet i norra delen av Skellefteå kommun. Kungsvattenlakbara halter av V (NSG-data) uppvisar inte samma klara trend, utan är i jämförelse högre över argilliterna i områdets östra del, där även den procentuella lakbarheten är kraftigt förhöjd. Detta indikerar att V förekommer i olika mineralogiska former, där sannolikt biotitbundet V leder till förhöjda syralakbara halter – jämför även med K. Statistiskt korrelerar totalhalterna av V bäst med Fe ($r=0,93$) och Mg ($r=0,90$), korrelationerna med Si, Na och Zr är signifikant negativa.

I SGUs mineralfyndighetsdatabas finns endast en mineralisering med V upptagen. Denna (Getarliden) finns i Malå kommun och associeras där till Cr, Fe och Ti.

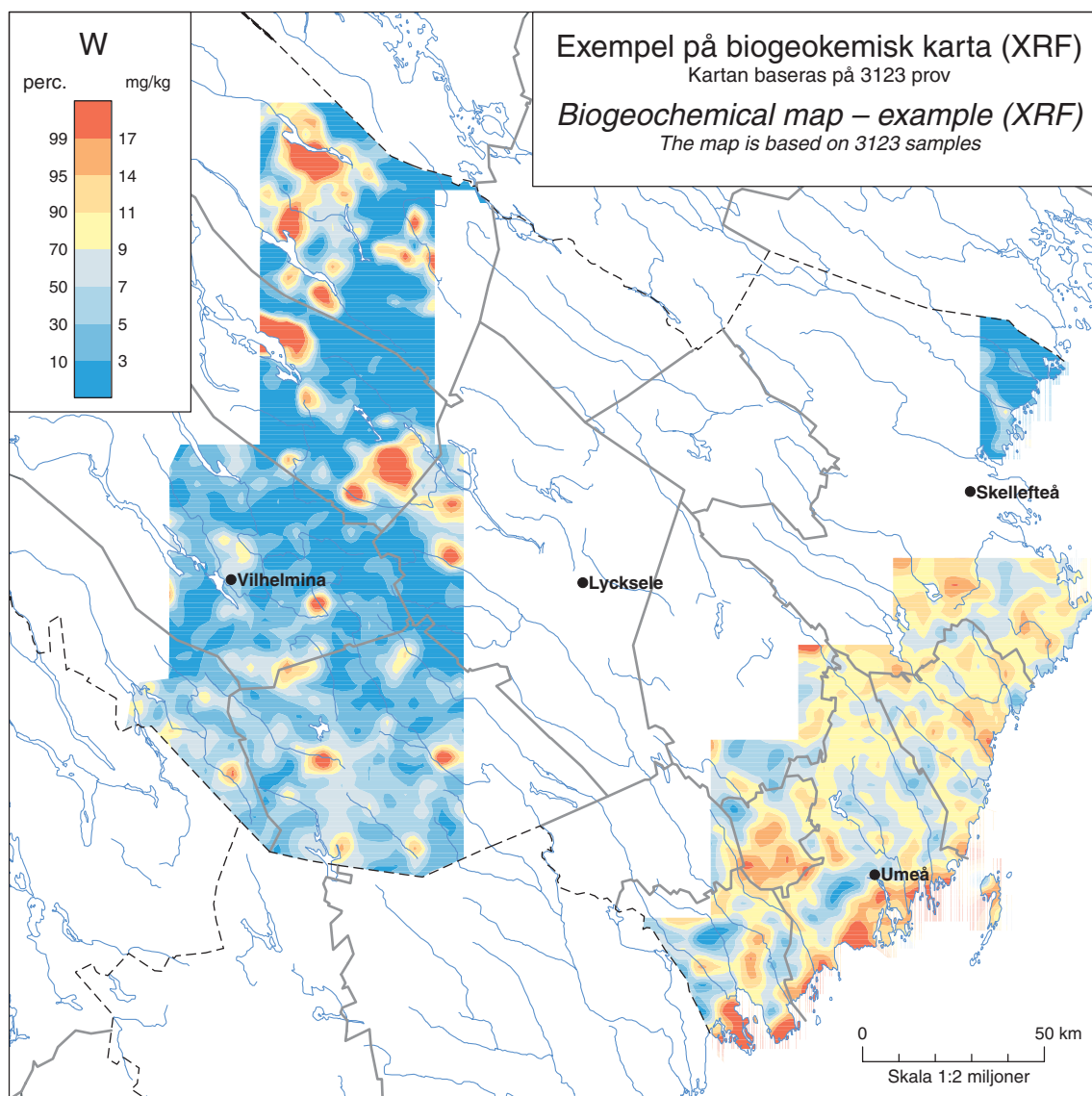


Vismut (Bi)

Vismut är ett spårelement som normalt förekommer något anrikat i glimmerrika, metasedimentära bergarter (argilliter). Medelhalten för salpetersyralakbara halter är 0,14 mg/kg, men i norra delen av Storumans kommun samt över en del av argilliterna i norra delen av Skellefteå kommun överskrider 1 mg/kg. I Storumans kommun är källan endera fjällkedjans bergarter enbart, eller lokalt förekommande argillitiska bergarter. Det senare är dock mindre sannolikt eftersom de högsta halterna i regel återfinns mellan argilliter och fjällkedjans bergarter (givet att istransporten i huvudsak varit från nordväst mot sydost). De högsta korrelationskoefficienterna återfinns mot Li och Tl (>0,7) och bland huvudelementen är korrelationen med Fe och K starkast (>0,6).

Wolfram (W)

Metallen wolfram uppträder normalt i låga halter i jord och berg. Den analysmetod som använts för att bestämma wolframhalt i morän i undersökningsområdet (XRF) har en nedre bestämningsgräns som normalt överstiger de halter som finns i de flesta prov. Här redovisas därför ett exempel från SGUs biogeokemiska kartering. Denna metod omfattar provtagning av levande bäckvattenväxter (rötter från starrarter, *Carex*, och älgräs, *Filipendula ulmaria*) samt näckmossa (*Fontinalis antipyretica*). Dessa torkas, inaskas och analyseras därefter på bl.a. W-innehåll.



Kartan baseras på innehållet i aska. Halterna har korrigerats för inverkan av Fe, Mn och organisk halt. För närmare beskrivning av metodiken se t.ex. Holmberg et al. (1999).

Yttrium (Y)

Spårelementet yttrium förekommer i alla bergarter och bland de vanligt förekommande innehåller i regel graniter, granodioriter och metasediment (t.ex. skiffrar) de högsta halterna. Kartbilderna (redovisas ej här) skiljer sig något beroende på om totalhalt eller syralakbar halt betraktas, vilket sannolikt beror på att analysätten visar delvis olika förekomstsätt. Halterna är generellt låga till normala. Det mest utmärkande draget är att kungsvattenlakbara halter är låga i områden som antas påverkade av metasedimentär (argillitisk) berggrund.

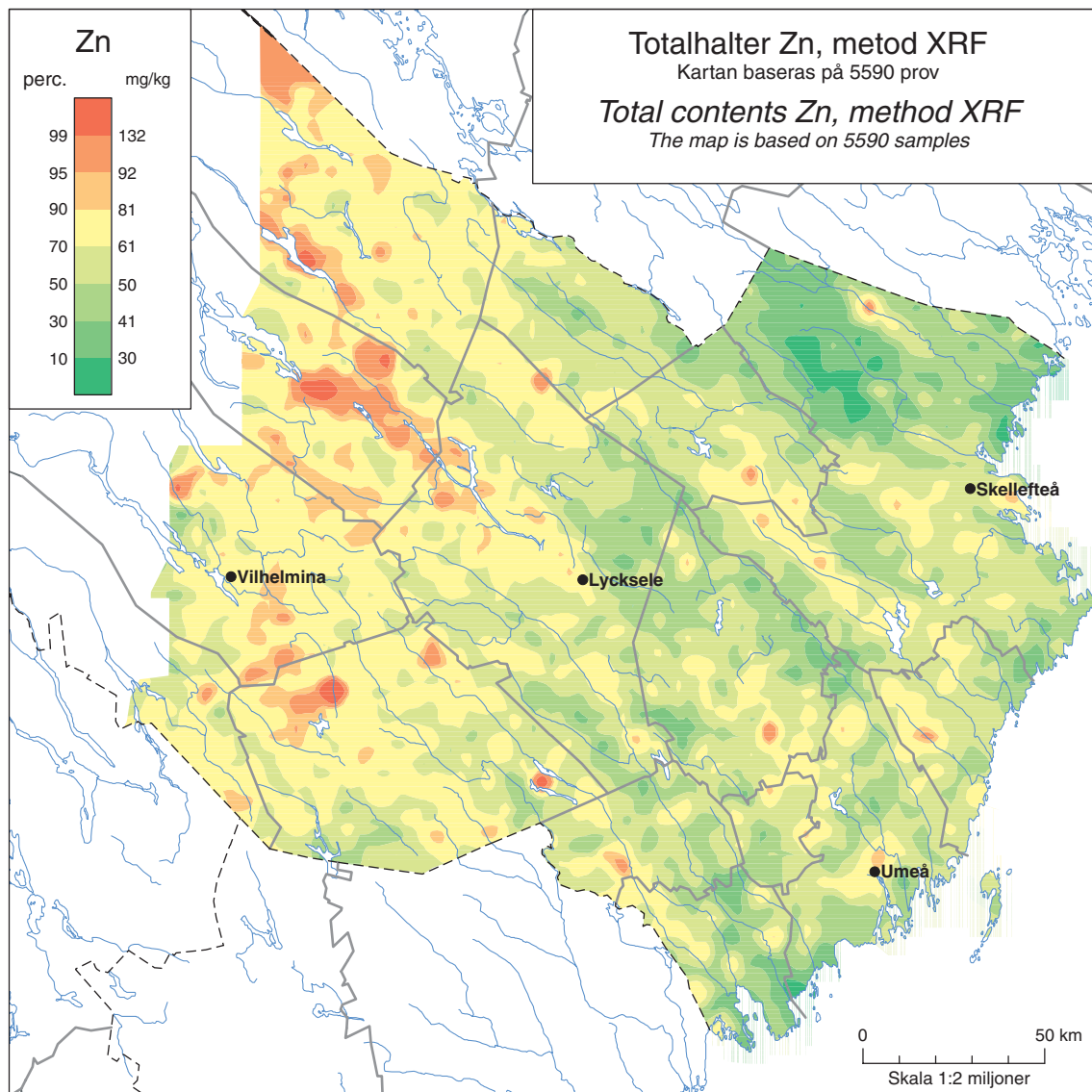
Medan totalhalterna statistiskt sett korrelerar bäst med Zr, är korrelationen för salpetersyralakbara halter bäst med La och Be. Däremot ingår även Zr tillsammans med Y, La och Be vid faktoranalys i en gemensam faktor. Det bör även nämnas att kvaliteten på totalhaltsbestämningarna av Y varierar något, vilket sannolikt inverkar en del på resultatet. Vid faktoranalys baserad på totalhalter bildar Y, P och Zr en faktor. Den statistiska analysen visar att kartbilden sannolikt reflekterar förekomst av Y i vanliga värdmineral såsom biotit, fältspater, pyroxener och apatit samt mer sparsamt förekommande

yttriummineral som monazit $[(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th}, \text{Y})(\text{PO}_4, \text{SiO}_4)]$ och xenotim (YPO_4). På grund av relationen till Zr i totalhalter kan sannolikt förhöjda totalhalter av även Y indikera inblandning av kiselrika (graniter etc.) djup- eller ytbergarter i morän.

Zink (Zn)

Metallen zink är ett essentiellt spårelement som först i höga halter har gifteffekt på människor. I bergarter uppträder Zn främst i olika silikater och substituerar då för Fe, Mg (i exempelvis biotit kan upp till 1 500 mg/kg Zn påträffas; Koljonen 1992), samt i sulfider (främst zinkblände (ZnS) och järnsulfider). I Västerbotten är många av malmerna och mineraliseringarna sulfidmalmer där Zn är en viktig komponent. Skillnaden i zinkinnehåll mellan olika bergarter är vanligtvis ganska liten (Reimann m.fl. 1998), men skiffer och gabbro innehåller i regel de högsta halterna.

Kartbilder över **totalhalter** och kungsvattenlakbara halter av Zn är relativt likartade. Något förhöjda halter uppträder främst i anknytning till fjällkedjans bergarter. Skelleftefältets bergarter med sina talrika zinksulfidmineraliseringar framträder bättre i en karta över syralakade halter. Den procentuella lakbarheten är högst i anknytning till fjällkedjebergarterna i områdets norra del, men spridda förhöjda områden förekommer ställvis även en bit österut. I Skelleftefältet uppträder de flesta sulfidmalmer där en svag men märkbar ökning av lakbarheten inträder i moränen.

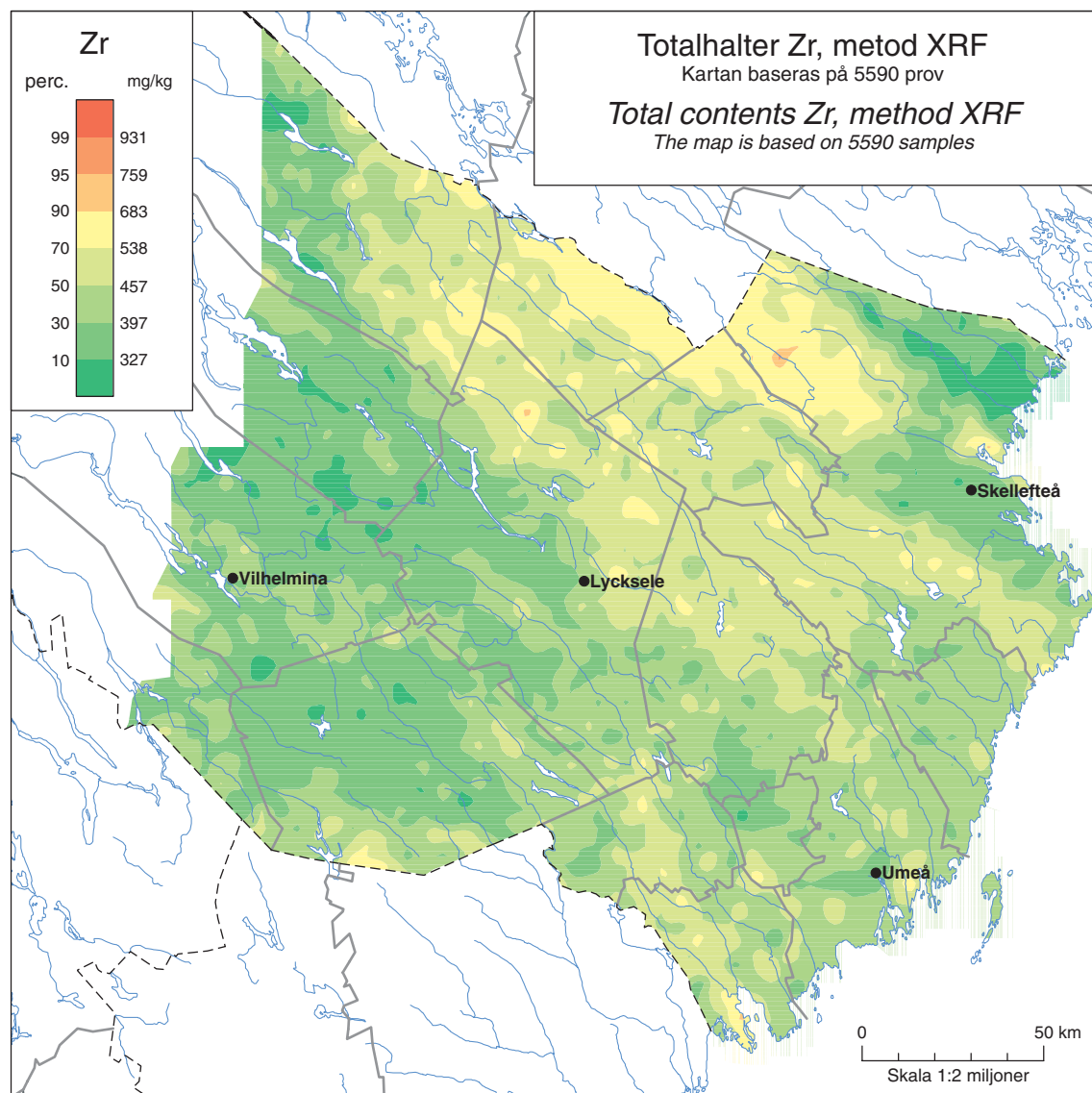


Vid statistisk analys av totalhalter uppträder Zn främst tillsammans med de mafiska elementen, vilket sannolikt beror på förhållandet till Fe och Mg i silikater (se ovan). För syralakbara (7M HNO₃) halter är detta inte lika entydigt – vid faktoranalys ingår Zn svagt i så gott som samtliga faktorer förutom Y-Zr-La. Resultatet, och därmed även kartorna, visar därför att totalhalterna främst styrs av förekomst av Fe- och Mg-silikater medan syralakbara halter återger förekomst av Zn i flera olika associationer. Sulfidbundet Zn är generellt mer mobilt än andra metaller, och en viss mängd Zn, som frigjorts vid oxidation av sulfider, förväntas ha nått grundvattnet och transporterats vidare med detta.

Zirkonium (Zr)

Metallen Zr ingår till största delen i det vittringsresistenta mineralet zirkon, ZrSiO₄. På grund av den begränsade vittringsförmågan tenderar Zr därför att anrikas i en jordmån när övriga mineral vittrar (se även Ti). I bergarter innehåller i regel kiselrika bergarter som graniter (framför allt pegmatiter) förhöjda halter. De högsta halterna påträffas dock i de relativt ovanliga alkalina bergarterna och dess pegmatiter (Koljonen 1992).

Av kartan över **totalhalter** framgår att något förhöjda halter framträder i moräner där moderbergarterna domineras av kiselrika (sura) bergarter, t.ex. vulkaniter och djupbergarter norr om Skellefteå.

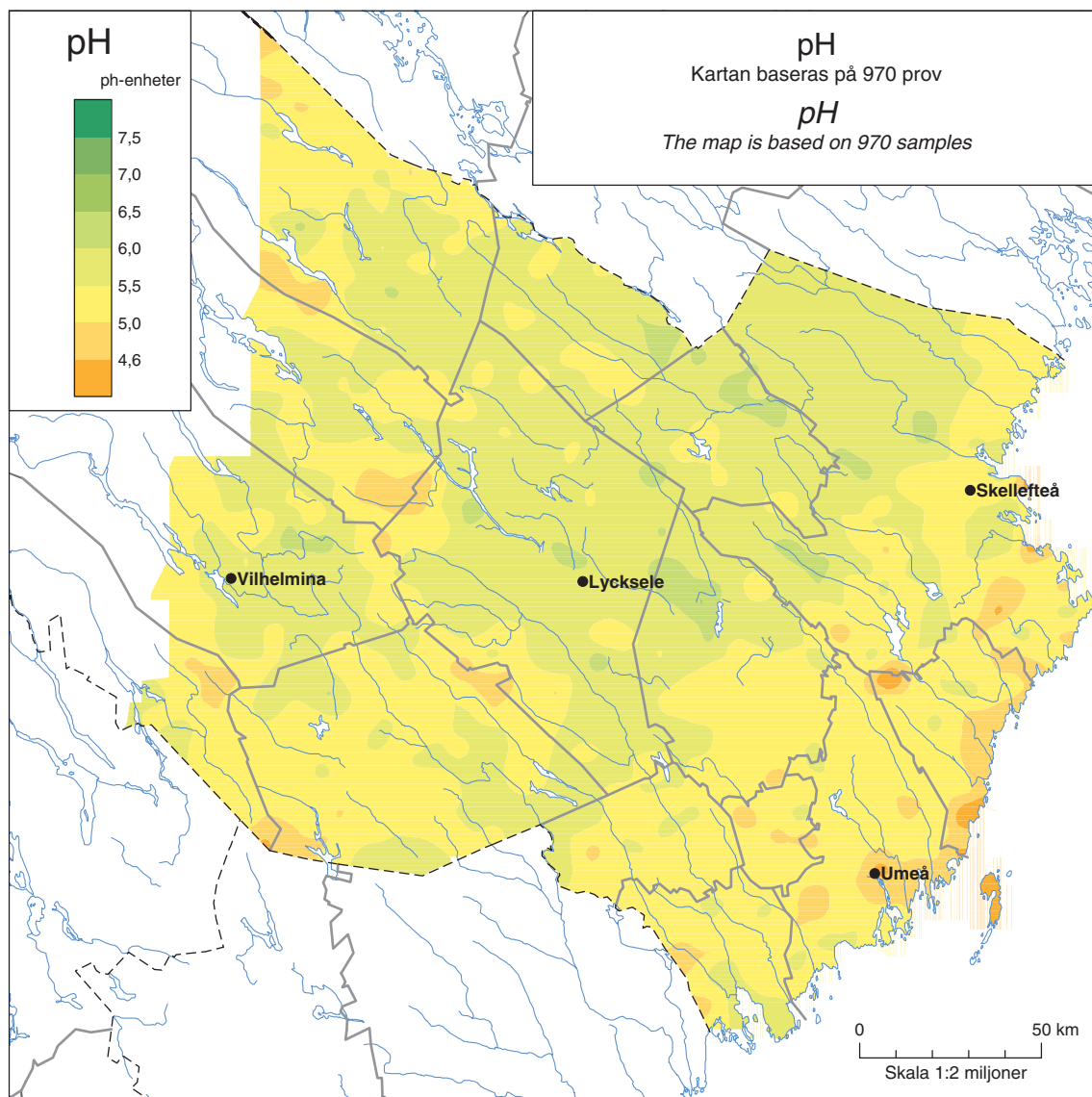


fältet. Den syralakbara delen av Zr är mycket låg, i riket normalt mellan 1–2 %. Detta visar att det mesta av Zr ej löses vid syralakning, och att huvudsaklig förekomstform är zirkon.

pH och försurningsresistens

pH har uppmätts genom uppslamning av torkade prov med avjoniserat vatten. Eftersom ungefär vart sjätte prov analyserats kan ingen detaljerad bild erhållas. Uppmätta pH-värden varierar i länet mellan 3,6 och 6,9, och eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär detta en skillnad i surhetsgrad på ca 2000 ggr. Samtliga prov med $\text{pH} < 4,5$ har uppmätts i relativt kustnära områden, och lägst pH uppmättes på Holmön. En interpolerad karta visar att moränerna närmare kusten generellt har ett lägre pH-värde än inlandet, men även i fjällkedjeregionen finns områden med lågt pH. Ett visst samband mellan förhöjd svavelhalt och lägre pH kan ses. Även om korrelationen inte är speciellt stark är skillnaderna tydliga om de högsta respektive lägsta pH-grupperna betraktas: medan prov med $\text{pH} > 6,2$ alla innehåller ca 100 mg/kg S är motsvarande halt för prov med $\text{pH} < 4,3$, 900 mg/kg eller högre.

pH-bilden påverkas i området sannolikt av ett antal faktorer, varav moränernas textur, mineralogi och högsta kustlinjen förmodligen är de viktigaste. Antropogen påverkan (dvs. ”surt regn”) antas inte ha påverkat moränerna i någon större utsträckning.



Intressant nog faller många områden med låga pH-värden inom regioner som klassats som försurningskänsliga (Länsstyrelsen i Västerbotten 1996). Försurningsresistensen (som uttrycks i procent och beräknas efter syratillskott och förnyad pH-mätning) visar att sannolikheten för aluminiumutlakning är högst i områdets sydöstra del samt i anknytning till fjällkedjan. Det finns ett visst samband mellan förekomst av förhöjda halter syralakbart Al och förhöjd sannolikhet för aluminiumutlakning. Dessutom sammanfaller dessa områden även med potentiellt försurningskänsliga områden (Länsstyrelsen i Västerbotten 1996).

Miljögeokemi – morän och andra sediment

Resultaten kan användas för bl.a. bakgrundshalter vid förorenad markundersökning. Naturvårdsverket har slagit fast gränsvärden för känslig markanvändning för flera metaller: As >15 mg/kg, Pb >80 mg/kg, Cd >0,4 mg/kg, Co >30 mg/kg, Cr >120 mg/kg, Cu >100 mg/kg, Ni >35 mg/kg, V >120 mg/kg och Zn >350 mg/kg (Naturvårdsverket 1999). Dessa s.k. KM-värden baseras på salpetersyalakade prov i <2,0 mm-fraktion vilket försvårar jämförelse med den information som SGU huvudsakligen producerar (halter i fraktionen <0,063 mm, tidigare med kungsvattenlakning). Sedan 1995 har dock SGU analyserat prov med salpetersyalakning, varav en del prov på även <2,0 mm-fraktion (icke malda prov), och resultaten av denna visar att korrelationen för metaller mellan de två fraktionerna är utmärkt. Vad gäller kungsvatten och 7M salpetersyra är lakningseffektiviteten något olika, därmed skiljer sig resultaten åt något (delvis elementberoende). Ett exempel ges i figur 7A, som visar korrelationen mellan nickelhalter vid kungsvatten- respektive salpetersyalakning. I figur 7B visas hur samma element korrelerar vid jämförelse mellan finfraktion och <2,0 mm-fraktion.

Såväl analysmetod som val av fraktion bör med andra ord beaktas om resultaten av karteringen skall ställas i relation till KM-värdet. Av tabell 3 framgår relationerna mellan finfraktion och <2,0 mm-fraktion för analyserade element med fastslagna KM-värden.

Tabell 3. Korrelationer mellan salpetersyalakbara metallhalter i finfraktion och <2,0 mm-fraktion, samt medianhalter. r_s =rangordnad korrelationskoefficient, r_p =Pearsons korrelationskoefficient.

Correlations between nitric acid leachable contents in the fine fraction and the <2.0 mm fraction, and median contents. r_s =rank correlated correlation coefficient, r_p =Pearsons correlation coefficient.

Element	r_s	r_p	m <2,0 mm	m <0,063 mm
As	0,91	0,97	2,1	3,6
Cd	0,84	0,96	0,037	0,056
Co	0,93	0,92	2,5	3,7
Cr	0,89	0,90	7,3	11,7
Cu	0,95	0,95	8,0	12,1
Ni	0,93	0,97	4,5	6,4
Pb	0,84	0,98	3,2	4,9
V	0,89	0,82	11,3	18,9
Zn	0,88	0,96	16,0	22,0

SGU utförde i mitten av 1995 en jämförande studie gällande lakningseffektivitet för kungsvatten och 7M HNO₃. Jämförelsen omfattade 115 moränprov, och halterna med avseende på metallerna As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb och Zn korrelerade starkt positivt: Spearmans rangkorrelerade korrelationskoefficient låg >0,90 för samtliga. Detta visade alltså att lakningsmetoderna var jämförbara, dvs. resultaten avspeglade i stort sett samma metallinnehåll. Genom att dividera medianhalterna med varandra kan därför ett mått på teoretiskt salpetersyalakbart innehåll fås genom division med kvoterna i tabell 4. Se även figur 7.

De teoretiska värden som då erhålls innehåller en del fel och osäkerheter. Framför allt bör det poängteras att den icke analyserade fraktionen (2,0 mm – 0,063 mm) i sig kan avvika från

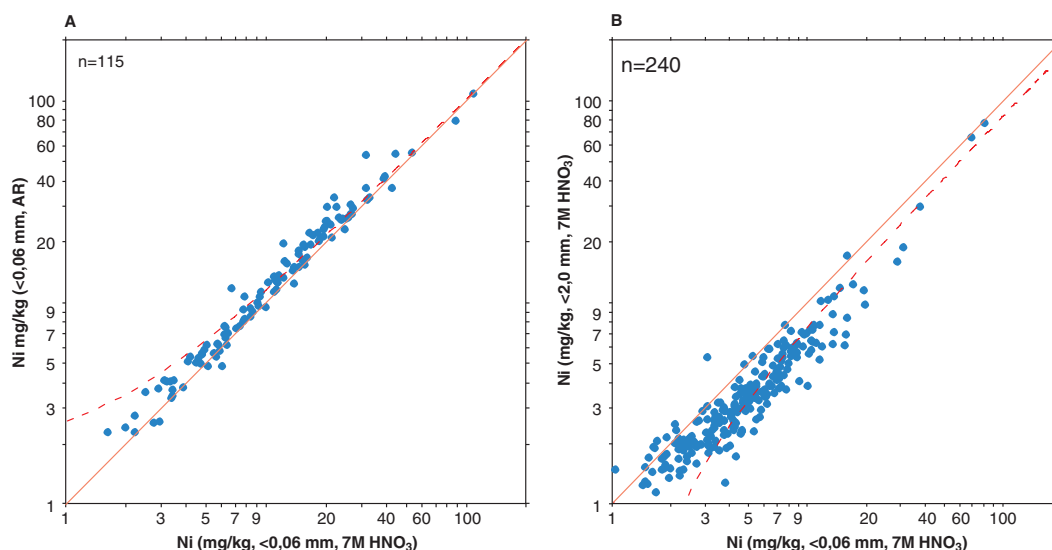
Tabell 4. Korrelationer mellan kungsvatten- (AR) och 7M HNO₃-lakning med ICP-MS. Medelvärden. r_s =rangordnad korrelationskoefficient, r_p = Pearsons korrelationskoefficient. *Kungsvattenanalyserad med ICP-AES. n=115.

*Correlations between Aqua Regia (AR) and 7M nitric acid (HNO₃) leachable contents in the fine fraction and the <2.0 mm fraction by ICP-MS, and mean contents (m). r_s =rank correlated correlation coefficient, r_p = Pearsons correlation coefficient. *Aqua Regia analysed by ICP-AES.*

Element	r_s	r_p	mAR	mHNO ₃	kvotAR/HNO ₃
As	0,98	0,98	8,3	7,0	1,19
Co	0,98	0,95	7,4	6,7	1,10
Cr	0,97	0,97	10,6	8,0	1,32
Cu	0,98	0,95	17,2	15,0	1,15
Ni	0,99	0,98	16,7	15,1	1,11
Pb	0,92	0,89	8,7	7,9	1,10
V*	0,94	0,95	25,3	19,9	1,27
Zn	0,98	0,94	36,1	30,2	1,20

den normalt analyserade finfraktionen, t.ex. kan oproportionerligt höga halter av kvarts och fältspater innebära att halterna i det teoretiska KM-värdet överskattas. En undersökning i Finland (Tarvainen 1995) visade att samtliga undersökta metaller (bl.a. Co, Cr, Cu, Ni, V och Zn) vid kungsvattenlakning följer trenden (halt i finfraktion)>(halt i mald <2 mm-fraktion)>(halt i omald <2 mm-fraktion). Skillnaderna i metallhalt mellan mald grovfraktion och finfraktionen <0,063 mm varierade något, metallhalterna i mald <2,0 mm-fraktion låg mellan 60 % och 73 % av finfraktionen. Vid SGU används inte kungsvattenlakning utan 7M HNO₃, men skillnaderna bör vara likartade.

Det är med andra ord viktigt att hålla skillnader p.g.a. metodval (analysmetod och provbehandling) i minnet vid utnyttjande av finfraktion som bakgrundsinformation vid förorenad markundersökning, men ett relativt enkelt sätt är att betrakta värdet som ett riskvärde; ett uppmätt värde (i finfraktion) som ligger nära eller t.o.m. över det teoretiska KM-värdet visar att moränen i området kan överstiga ett ”korrekt” uppmätt KM-värde. Småskaliga variationer i moränernas sammansättning kan dessutom innebära att KM-värdet (baserat på analys av mald <2,0 mm-fraktion) överskrids i eller i närheten av den aktuella provpunkten, även om uppmätt



Figur 7. Korrelation mellan nickelhalter vid jämförelse mellan A) kungsvatten- och salpetersyralakning (bägge <0,063 mm) och B) salpetersyralakning av finfraktion och <2,0 mm-fraktion.

Correlation between contents of Ni comparing A) Aqua Regia and 7M HNO₃ leachable contents (both <0.063 mm) and B) 7M HNO₃ leachable contents in the fine and <2.0 mm fractions.

resultat i själva provpunkten (i finfraktion) ligger strax under KM-värdet. Detta stöds även av figur 3, som visar att redan inom en provpunkt kan variationer i metallhalt uppträda – koppar stiger t.ex. från 35 mg/kg i det ytligaste C-horisontprovet (40–50 cm) till 51 mg/kg vid 80–95 cm. Dessutom visar elementvis plottning av metallinnehåll i finfraktion kontra <2,0 mm-fraktion att halterna närmar sig varandra med stigande halt – kraftiga avvikelser förekommer främst på låga nivåer. Detta kan bero på att det finns en generell koppling mellan förekomst av finfraktion och metallhalt. Oavsett orsak innebär detta att angreppssättet med finfraktions-analysvärden som ”riskvärden” fungerar relativt väl. Det bör också påpekas att resultaten endast avspeglar risk för halter överstigande KM-värdet, ingen bedömning av eventuella miljö- eller hälsoeffekter kan göras utan detaljerade undersökningar.

Tabell 5. Antalet prov för respektive metall som överskrider KM-värdet (analys av finfraktion, kungsvatten- eller 7M HNO₃-lakning). KM = Känslig markanvändning i mg/kg, nTOT = totalt antal analyser (SGU+NSG), %>KM = total procentuell andel som överstiger KM-värdet.

The number of samples analysed that contain higher levels of metals than the KM guideline value (fine fraction analysed by Aqua Regia or 7M nitric acid). KM = KM guideline value in mg/kg, nTOT = total number of samples analysed, %>KM = total share of samples above the KM-value.

Element	KM	SGU _{n>KM}	NSG _{n>KM}	nTOT	%>KM
As	15	739	424	4511	25,8
Cd	0,4	22	-	2739	0,8
Co	30	3	2	8142	<0,1
Cr	120	3	2	3572	0,1
Cu	100	5	1	8142	0,2
Ni	35	183	103	8142	3,5
V	120	1	2	3572	<0,1
Pb	80	7	6	8142	0,2
Zn	350	2	2	8142	<0,1

Av tabell 5 och 6 framgår tydligt att de största problemen för metaller med fastställda KM-värden återfinns för arsenik och nickel. Kartan över As (se ovan) i förhållande till KM-värdet visar att det framför allt är delar av norra Västerbotten där KM-värdet överskrider i morän. I några områden ligger halterna mer än två gånger högre än KM-värdet. Den högsta uppmätta halten har konstaterats i NSG/SGAB-kartläggningen; halten (omräknat till <2,0 mm) uppgick här till 510 mg/kg vilket överstiger KM-värdet 34 ggr.

Kartan över nickel (se ovan) i förhållande till KM-värdet visar att endast små områden överstiger KM-värdet. Undantaget är Vilhelmina kommun, där relativt stora ytor är täckta av nickelrik morän.

Oavsett element beror de höga halterna på naturliga, geologiska förutsättningar, dvs. berggrunden. Av de större tätorterna berörs framför allt Skellefteå, Lycksele, Storuman och Stensele av moräner där KM-värdet för As kan överstigas. Även runt Vilhelmina visar resultaten att KM-värdet för Ni kan överskridas, men de högsta halterna påträffas i kommunens norra del. Vid större tätorter förekommer kadmium i halter över KM-värdet framförallt i närheten av Stensele–Storuman. Se tabell 6 för kommunvis sammanfattning över förekomst av naturligt metallrika moräner.

Av övriga metaller (som ej i Sverige har fastslagna gränsvärden i mark) har i enstaka fall uppmätts relativt höga halter. Många av dessa har giftverkan, och beskrivs relativt utförligt av t.ex. Sternbeck och Östlund (1999). Som exempel kan nämnas tallium (Tl), som är en starkt giftig metall som i dricksvatten ses som giftigare än As, Sb och Pb, och minst lika giftigt som Hg. Naturliga halter i grundvatten är oftast extremt låga, och förgiftning från naturligt förekommande Tl har hittills setts om mycket ovanligt (Agency for Toxic Substances and Disease Registry 1992) – viktiga källor är antropogent luftnedfall, rökning och vissa växter. Tallium löst i vatten anrikas i vattenlevande organismer, men om intag av t.ex. fisk kan vara en riskfaktor är

Tabell 6. KM-värde och morängeokemi i Västerbotten, kommunvis sammanställning baserad på resultat från NSG-SGABs och SGUs kartering. 0 = antal prov som för varje element helt understiger KM-värdet, 1–2 = antalet prov som har en halt som ligger 1–2 ggr KM. 2–3, 3–4, 4–5 och >5 analogt med 1–2. $\Sigma >KM$ = totalt antal prov som för något element överstiger KM-värdet. Tot = totalt antal analyserade prov.

KM guideline value and till geochemistry in Västerbotten, compilation per municipality based on results from the NSG-SGAB and SGU mapping programmes. 0 = number of samples where no element is above the KM guideline value, 1–2 = number of samples where one or more levels are above one but below two times the guideline value. 2–3, 3–4, 4–5 and >5 analogous with 1–2. $\Sigma >KM$ = total number of samples where levels exceed the guideline value. Tot = total number of analysed samples.

Kommun	0	1–2	2–3	3–4	4–5	>5	$\Sigma >KM$	Tot	%>KM1
Bjurholm	297	2					2	299	0,7
Dorotea	174	4					4	178	2,2
Lycksele	871	355	10	2			367	1 238	29,6
Malå	351	28		1			29	380	7,6
Nordmaling	235	1					1	236	0,4
Norsjö	297	106	1	1			108	405	26,7
Robertsfors	207	1		1			2	209	1,0
Skellefteå	1 228	191	10	2			203	1 431	14,2
Sorsele	544	175	8	3			186	730	25,5
Storuman	255	162	20	4			186	441	42,2
Umeå	377						0	377	0,0
Vilhelmina	411	170	16	2	2	1	191	602	31,7
Vindeln	570	13					13	583	2,2
Vännäs	121	2					2	123	1,6
Åsele	925	23	2				25	950	2,6
Totalt	6 863	1 233	67	16	2	1	1 319	8 182	16,1

än så länge okänt. I undersökningsområdet förekommer halter på maximalt 1,77 mg/kg salpetersyralakbart Tl, och nästan samtliga halter >0,6 mg/kg påträffas i anknytning till fjällkedjans bergarter. Norr om Skelleftefältet uppgår halterna generellt till <0,1 mg/kg.

Även uran (U) har identifierats som en potentiell hälsorisk, och då inte för radioaktivitet (direkt eller via sönderfallsprodukterna) utan på grund av direkt giftverkan (Kurtzio m.fl. 2002) där uran löst i t.ex. dricksvatten påverkar njurfunktionerna. Uranhalten i länets moräner är generellt sett låg eller normal (medelvärde ca 2 mg/kg salpetersyralakbar halt), men i norra delen av Skellefteå kommun har ett par prov med 20–32 mg/kg uppmätts.

Om resultaten av de morängeokemiska undersökningarna används vid förorenad mark bör naturligtvis jordarten beaktas. Med detta avses att resultaten inte kan tillämpas om objektet som undersöks är beläget på annan jordart, t.ex. glacifluviala avlagringar. Detta eftersom metallhalterna i olika jordarter varierar, bl.a. som en följd av kornstorleksfördelningen.

Malmprospektering

Morängeokemisk provtagning och analys har sedan länge använts som ett led i malmprospektering. Den regionala geokemiska kartering som SGU utför kan inte användas för att lokalisera enskilda malmförekomster, däremot ger analyserna information om större regioner eller zoner inom vilka olika elementassociationer ger intressanta indikationer om bergarternas sammansättning. Ofta uppträder mineraliseringar eller malmer inom eller i kantområdet av förhöjda halter i morän.

Skelleftefältets bergarter och mineraliseringar avspeglas relativt väl genom förhöjda Cu, Au och As-halter i moränen. Däremot är inslaget av Zn relativt lågt. Detta beror på högre bakgrundshalter av Zn i t.ex. fjällkedjebegarter. Denna problematik är välkänd, och bemöts lättast genom att endast använda sig av resultat från Skelleftefältet (lokal fördelning) vid ingående bearbetning.

Morängeokemisk kartering har använts med varierande framgång i länet. Orsaken till detta är sannolikt, åtminstone vad gäller uppföljningsprojekt, osäkerhet gällande transportlängder. I delar av området kan moränernas mäktighet vara betydande, vilket innebär att prov tagna i ytan kan representera bergarter relativt långt från källan. Dessutom kan förekomsten av ett flertal moränbäddar medföra tolkningsproblem.

Det finns ett antal rapporter om uppföljningsprojekt i länet, och för en del av dessa finns den morängeokemiska informationen lagrad i databaser vid SGU. Delar av denna är lagrad som "jordprov" och det är osäkert i vilken utsträckning provtyperna utgörs av morän eller om andra sediment ingår. Vanligen är även analyskvaliteten svår att uppskatta, vilket gör att denna information skall användas med viss försiktighet.

ANDRA GEOKEMISKA UNDERSÖKNINGAR

Västerbotten har ingått i flera olika geokemiska karteringsprojekt där syfte och därmed provmedia varierat. Av markgeokemiska undersökningar kan Melkerud m.fl. (1992) och Eriksson m.fl. (1997) nämnas. I Melkerud m.fl. (1992) har länet ingått i en rikstäckande kartering av skogsmarkens geokemi, där 156 moränprov och 34 högsorterade sediment ingick. Ett fast provdjup på 50 cm tillämpades, och analys skedde på totalinnehåll av <2,0 mm-fraktion. För ett mindre antal prov uppmättes även andra parametrar.

Åkermarkernas kemi undersöktes av Eriksson m.fl. (1997). Såväl matjord som alv undersöktes, och i Västerbotten ingick ett 80-tal matjordsprov och ett obekant antal alvprov. De flesta proven togs i kustområdet och resultaten visar generellt en stark koppling till geologin. Som ett exempel kan As nämnas, där genomsnittshalterna i Västerbotten och Jämtland är de högsta i landet. Förutom grundämnesanalyser utfördes även analys av andra parametrar.

SGUs biogeokemiska kartering har täckt delar av länet, och i dagsläget har 2 046 prov insamlats och analyserats (kartering pågår i länet). Den biogeokemiska karteringen använder sig av levande bäckvattenväxter, och analysering sker på ett trettio-tal element varav ca 15 hittills offentliggjorts. Resultaten visar ofta på en stark koppling till geologiska faktorer, men även antropogena källor påverkar resultaten. Rapporter över resultaten har publicerats, se t.ex. Ressar m.fl. (1986).

Atmosfäriskt nedfall av metaller kan studeras genom analys av mossa (husmossa, väggmossa). Metoden har använts sedan 1970-talet som övervakningsmetod, och resultat finns från hela landet. I Västerbotten finns 29–143 prov analyserade (beroende på år). Närmare metodbeskrivning och referenser till rapporter finns i Berg m.fl. (2003). Allmänt har konstaterats att halterna av flera tungmetaller minskar, inte bara i länet utan i hela landet.

Förutom geokemiska karteringsprojekt har en rad olika projekt med geokemisk inriktning utförts i Västerbotten. Inriktningarna har varierat, och som exempel kan här nämnas olika projekt med inriktning mot gruvavfall, se t.ex. Mistra-programmet MiMi:s årsrapporter för referenser. Ett avsevärt antal projekt med inriktning mot mineralprospektering har publicerats, och dessa kan t.ex. sökas i SGUs Georegister. Dessa projekt behandlar ett flertal olika provmedier, bl.a. morän.

REFERENSER

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1992: *Toxicological profile for thallium*. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Allen, R.L., Weihed, P. & Svensson, S.-Å., 1997: Setting of Zn-Cu-Au-Ag massive sulfide deposits in the evolution and facies architecture of a 1.9 Ga marine volcanic arc, Skellefte district, Sweden. *Economic Geology* 91, 1022–1053.
- Andersson, M., 1988: Markgeokemiska kartan 18–22, G–I. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 53, 37 s.
- Andersson, M., 1990: Markgeokemiska kartan 18–21, H–J. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 62, 40 s.
- Andersson, M. & Lax, K., 1996: Markgeokemiska kartan 20–22, I–L. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 85, 39 s.
- Andersson, M., Johansson, P. & Lax, K., 1997: Markgeokemiska kartan i Östra Norrbottens inland, västra Småland och södra Halland, samt markkemiska variabler. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 94, 91 s.
- Andersson, M. & Lax, K., 2000: Geokemiska kartan. Markgeokemi. Metaller i morän i delar av Västerbotten, Västergötland, Halland och Skåne. *Sveriges geologiska undersökning Gk* 2, 49 s.
- Berg, T., Hjellbrekke, A., Rühling, Å., Steinnes, E., Kubin, E., Larsen, M.M. & Piispanen, J. 2003. Absolute deposition maps of heavy metals for the Nordic countries based on moss surveys. Köpenhamn. Nordiska Ministerrådet. *TEMANORD 2003:505*, 35 s.
- Bergel, T., Huttunen, T., Johansson, P., Jokinen, S., Lagerbäck, R., Mäkinen, K., Nenonen, K., Olsen, L., Svedlund, J.-O., Väänänen, T. & Wahlroos, J.-E. 1999. *Maps of Quaternary geology in central Fennoscandia, sheet 2: Glacial Morphology and Palaeohydrology*, scale 1:1 000 000. Geological Surveys of Finland (Espoo), Norway (Trondheim) and Sweden (Uppsala).
- Delin, H. (red.), 2001: Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 2000. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 105, 88 s.
- Ek, A., Löfgren, S., Bergholm, J. & Qvarfort, U., 2001: Environmental effects of one thousand years of copper production at Falun, central Sweden. *Ambio* (30):2, 96–103.
- Eriksson, J., Andersson, A. & Andersson, R., 1997: Tillståndet i svensk åkermark. *Naturvårdsverket, rapport 4778*, 132 s.
- Holmberg, J., Ohlsson, S.-Å. & Ressar, H., 1999: Geokemiska kartan. Biogeokemi. Tungmetaller i bäckvattenväxter Mellersta Dalarna. *Sveriges geologiska undersökning Gk* 1, 44 s.
- Hättestrand, C., 1998: The glacial geomorphology of central and northern Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 85, 47 s.
- Bouchard, M.A. & Salonen, V. -P., 1990: Boulder transport in shield areas. I: *Glacial Indicator Tracing*. R. Kujansuu, and M. Saarnisto. A.A. Balkema (red.), Rotterdam. 87–107.
- Karppanen, H., 2002: Epidemiological studies on the relationship between magnesium intake and cardiovascular diseases, The Magnesium Web Site, www.mgwater.com/estudies.shtml.
- Koljonen, T. (red), 1992: *The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till*. Geological Survey of Finland, Espoo. 218 s.
- Krüger, J., 1979. Structures and textures in till indicating subglacial deposition. *Boreas* 8, 323–340.
- Kurtio, P., Auvinen, A., Salonen, L., Saha, H., Pekkanen, J., Mäkeläinen, I., Väisänen, S.B., Penttilä, I.M. & Komulainen, H., 2002: Renal effects of uranium in drinking water. *Environmental Health Perspectives* 110:4, April 2002, 337–342.
- Lax, K. & Selinus, O., 2005: Geochemical mapping at the Geological Survey of Sweden. *Geo-*

- chemistry – exploration, environment, analysis*. Under tryckning.
- Lett, R.E., Bobrowsky, P., Cathro, M. & Yeow, A., 1997: Geochemical pathfinders for massive sulphide deposits in the southern Kootenay terrane. *British Columbia Geological Survey Branch, Geological Fieldwork 1997, Paper 1998-1*, 10 s.
- Lintinen, P., 1995: Origin and physical characteristics of till fines in Finland. *Geological Survey of Finland, Bulletin 379*, 83 s.
- Länsstyrelsen i Västerbottens Län, 1996: Markkänsligheten mot försurande ämnen – en länsöversikt. *Meddelandeserien 1996-06*.
- Melkerud, P.-A., Olsson, M.T. & Rosén, K., 1992: Geochemical atlas of Swedish forest soils. *SLU, Institutionen för Skoglig marklära, Rapport 65*, 85 s.
- Naturvårdsverket 1999: Metodik för inventering av förorenade områden. *Rapport 4918*, 150 s.
- Weihed, P. & Mäki, T. (eds.), 1997: Volcanic hosted massive sulphide and gold deposits in the Skellefte district, Sweden and western Finland. Research and exploration – where do they meet? 4th Biennial SGA Meeting, August 11–13, 1997, Turku, Finland, excursion guidebook A2. *Geological Survey of Finland, Guide 41*, 81 s.
- Reimann, C., Äyräs, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., Caritat, P. de, Dutter, R., Finne, T.E., Halleraker, J.H., Jæger, Ø., Kashulina, G., Lehto, O., Niskavaara, H., Pavlov, V., Räisänen, M.L., Strand, T. & Volden, T., 1998: *Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region*. Geological Survey of Norway. ISBN 82-7385-176-1, 745 s.
- Ressar, H., Ohlsson, S.-Å. & Ekelund, L., 1986: Geokemiska kartan. Tungmetaller i Bäcktorv. Översiktskartbladen Kalmar, Oskarshamn, Sundsvall och Vilhelmina. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 48*, 44 s.
- Salminen, R. (ed.), 1995: Aluellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982–1994. *Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 130*, 47 s.
- Sternbeck, J. & Östlund, P., 1999: Nya metaller och metalloider i samhället. *IVL rapport B 1332*, 144 s.
- Sveriges Nationalatlas, 1994: Berg och Jord. *SNA*, 208 s.
- Svensson, U., 1980. Geochemical investigation of minor elements of the principal precambrian rocks of Västerbotten County Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 764*, 79 s.
- Wahlgren, C.-H. (red.), 1995: Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1994. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 79*, 135 s.
- Wahlgren, C.-H. (red.), 1996: Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1995. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 84*, 157 s.
- Wahlgren, C.-H. (red.), 1997: Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1996. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 89*, 116 s.
- Wahlgren, C.-H. (red.), 1998: Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1997. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 97*, 106 s.
- Wahlgren, C.-H. (red.), 1999: Regional berggrundsgeologisk undersökning. Sammanfattning av pågående undersökningar 1998. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden 98*, 144 s.

SUMMARY

In 1982 a national geochemical mapping programme based on the silt plus clay fraction (<0.063 mm) of till was initiated by the Geological Survey of Sweden, SGU. So far, including the present study, more than 170 000 km² have been covered with systematic sampling in a wide net where one sample represents on average seven square kilometres (equals 15 samples per 100 km²). A more comprehensive description of the geochemical mapping programmes at SGU can be found in Lax & Selinus (under tryckning).

The main objective of the programme is to quantify regional variations in drift composition in order to provide data for use in agriculture, forestry, and veterinary and human medical research (medical geology). In addition, the purpose is to support mineral exploration programmes involving base and ferroalloy metals and gold, and environmental research projects. The objective of the latter includes the assessment of the sensitivity of the terrain to the effects of acid rain. For these purposes two sets of characteristics in till are determined:

- (1) concentrations of trace and minor elements and
- (2) the buffering components – major element composition, pH and carbonate contents.

The bulk of the collected material is sampled from normal sandy or sandy-silty till. Material extremely rich in gravel, sand or clay is avoided. The sampling net is plotted in advance on topographic maps with Quaternary geological maps as support, whereas the final location of the sample site is determined in the field. The samples are hand-dug and collected from the C-horizon about or just under one metre from the surface. 0.8 kg of till is collected from several parts of the pit, gravel-size particles are sorted out and the material is sealed in a plastic bag. After vacuum-drying, the samples are sieved to <0.063 mm and analysed for trace, major and minor elements mainly by X-ray fluorescence. Partial leaching in Aqua Regia and nitric acid (7M HNO₃) analysed with ICP-MS and atomic absorption techniques (gold, GF-AAS) are also used. From 1996 gold is analysed with ICP-MS only. A quality control programme is used in order to monitor the analytical and sampling variances.

Approximate calcium carbonate contents are determined by using hydrochloric acid. pH is determined in a suspended solution based on dried samples in distilled water, and resistivity to acidification is estimated after adding weak sulphuric acid and renewed pH determination.

A total of 5 609 samples have been collected and analysed in the SGU survey programme. In a survey conducted by NSG-SGAB 2 605 samples were collected, and for some elements the similarities are sufficient for successful levelling. For some elements data from the two surveys have been combined for map production. The levelling method was based on percentiles, and can successfully be adapted to at least 6–7 elements (e.g. Cu, Zn, As).

The survey area of the present report covers approximately 41 400 km². The bedrock is mainly of Palaeoproterozoic age and the maximum ages measured so far are about 1 900 Ma. A minor part of the area is covered by the Caledonides. The sampled area covers the Skellefte ore district with several active and closed mines (predominately sulphide ores). This is also a region where mineral exploration has been and still is intense. During exploration, several mineralisations have also been localised in the vicinity of the Skellefte district. Most prominent is the Svartliden gold deposit, which started production in 2004. In the area south of the Skellefte district a number of Ni-mineralisations have been identified. None of these are currently mined.

Glacial drift covers most of the area. The youngest direction of ice flow usually displays a movement from the N–NW. Several studies indicate, however, that older directions locally deviate from this. Some investigations of striae and fabric have even shown that the ice came from a SW direction. Ore exploration programmes have identified large variations in transport distances; rock fragments have in some cases been identified 20 kilometres from the source

rock. The complex till stratigraphy is naturally a complicating factor when trying to interpret the influence of local bedrock on the geochemistry of the till cover.

The results of the regional till geochemical mapping programmes in the study area show that two major gold anomalous zones occur in the Skellefte ore district and in a NW–SE trending zone from the Sorsele–Storuman area in the NW towards Lycksele (and in the down-ice-flow direction even towards Umeå) in the SE. In both of these zones gold mineralisations and ores have been identified. Sulphide ores and related bedrock also cause elevations of especially Cu and As in the Skellefte district.

Environmental issues regarding naturally occurring elements should probably focus on the anomalous As levels found over large areas in the county. Many of the samples contain levels significantly higher than the Swedish guideline values for contaminated soils (for the most sensitive type of land use, called “KM-value”) of 15 mg/kg; the maximum As content measured is over 700 mg/kg. The towns of Skellefteå (As) and Storuman (As, Cd) are situated in areas where till may exceed the guideline values.

Since several mines exist in the area, several projects regarding mine waste management have been carried out. Information on ongoing projects can be found in annual reports from the Mistra funded MiMi project (www.mistra.org/eng) and from Georange: Mining and the Environment research (www.georange.nu).

Hittills utgivna i serie Gk

1. **Holmberg, J., Ohlsson, S.-Å. & Ressar, H.** Biogeokemi. Tungmetaller i bäckvattenväxter. Mellersta Dalarna. 1999.
2. **Andersson, M. & Lax, K.** Markgeokemi. Metaller i morän. Delar av Västerbotten, Västergötland, Halland och Skåne. 2000.
3. **Andersson, M.** Markgeokemi. Metaller i morän och sediment. Trestadsregionen – delar av västra Götalands län. 2004.
4. **Andersson, M.** Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment. Västra Mälardalen med Västerås tätort. 2004.

SGUs rapportserie

SGU-rapport 2003:5. **Andersson, M.** Metaller i morän i Västerås kommun.

Geokemiska publikationer som tidigare publicerats i SGUs serie Rapporter och meddelanden

Nr

53. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 18–22, G–I. 1988.
59. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 16–18, G–I. 1989.
60. **Ressar, H., Ekelund, L. & Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 14–16, G–H. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1990.
62. **Andersson, M.** Markgeokemiska kartan 18–21, H–J. 1990.
63. **Ressar, H., Ekelund, L. & Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 8–10, A–D. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1990.
68. **Ressar, H., Ekelund, L. & Ohlsson, S.-Å.** Biogeokemiska kartan 5–7, I–K och 8–10, E–G. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1991.
69. **Selinus, O. (ed.).** 2nd International Symposium on Environmental Chemistry. (Abstracts.) 1991.
70. **Andersson, M.** Från Falkenberg till Blomstermåla; nuläga och framtida effekter av syrelastning. 1992.
73. **Andersson, M. & Nilsson, C.-A.** Markgeokemiska kartan 3–7, F–H. 1992.
75. **Ekelund, L., Nilsson, C.-A. & Ressar, H.** Biogeokemiska kartan 8–10, G–J och 11–12, H–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1993.
78. **Nilsson, C.-A. & Ressar, H.** Biogeokemiska kartan 11–12, E–H, 12–13, G–J. Tungmetaller i bäckvattenväxter. 1995.
81. **Andersson, M. & Nilsson, C.-A.** Markgeokemiska kartan 7–9, D–E, 7–9, E–H. 1995.
82. **Kornfält, K.-A., Andersson, M., Daniel, E. & Persson, M.** Kadmium i marken i sydöstra Skåne. 1996.
85. **Andersson, M. & Lax, K.** Markgeokemiska kartan 20–22, I–L. 1996.
90. **Holmberg, J. & Ressar, H.** Biogeokemiska kartan. Tungmetaller i bäckvattenväxter. Norra Värmland och Sydöstra Dalarna. 1997.
94. **Andersson, M., Johansson, P. & Lax, K.** Markgeokemiska kartan i östra Norrbottens inland, västra Småland och södra Halland, samt markkemiska variabler. 1997.



Sveriges geologiska undersökning

Box 670

751 28 Uppsala

Tel: 018-17 90 00

Fax: 018-17 93 70

www.sgu.se

Uppsala 2005

ISSN 1652-8336

ISBN 91-7158-701-2

Tryck: Elanders Tofters, Östervåla