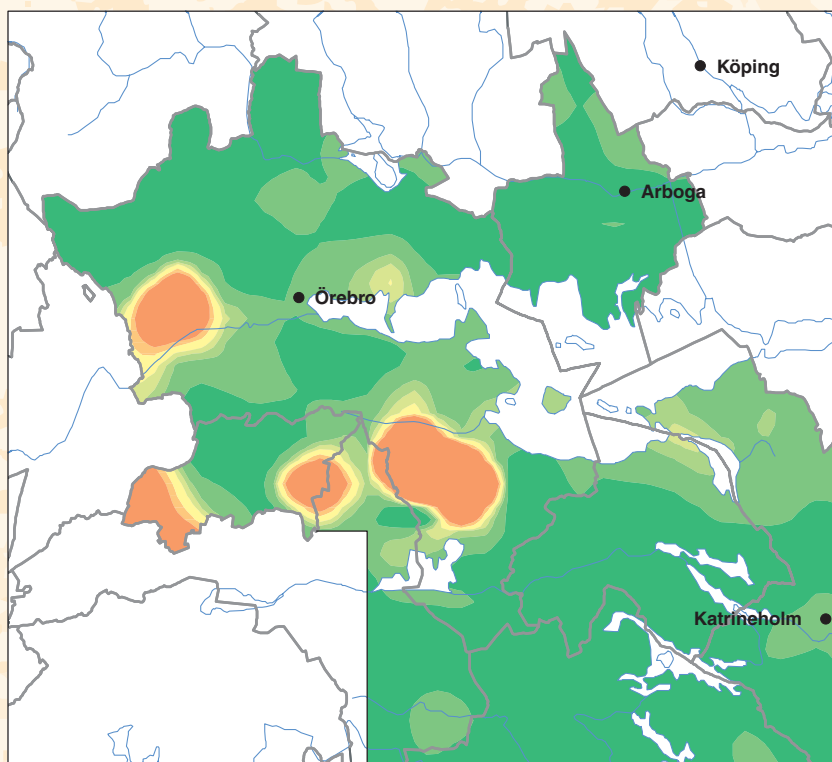


Geokemiska kartan

Markgeokemi

Metaller i morän och andra sediment i Örebro län

Jonas Holmberg



K 41

Geokemiska kartan

Markgeokemi

Metaller i morän och andra sediment i Örebro län

Jonas Holmberg

Sveriges geologiska undersökning
2005

ISSN 1652-8336
ISBN 91-7158-747-0

Markgeokemiska kartor publicerades tidigare i SGUs serie Rapporter och meddelanden och serie Gk.

För information om jordarter, berggrund, grundvatten och biogeokemi hänvisas till jordartskartor (SGU serie Ae & Ak), berggrundskartor (SGU serie Af & Ai), hydrogeologiska kartor (SGU serie Ag & Ah) samt biogeokemiska kartor (SGU serie Rapporter och meddelanden).

Närmare upplysningar erhålls genom

SVERIGES GEOLOGISKA UNDERSÖKNING
Box 670
751 28 Uppsala
Tel 018-17 90 00

Omslagsbild: Syralakbart CaO (7M HNO₃)

© Sveriges geologiska undersökning

Tryck: Elanders Tofters, 2005

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

GEOKEMISK KARTERING VID SGU	5
ANVÄNDNING AV DE MARKGEOKEMISKA KARTORNA	5
PROVTYPEN MORÄN	6
METODIK	8
Provtagning	8
Provberedning.....	8
Analysering.....	9
Kvalitetskontroll	9
Kartor	10
ELEMENTENS FÖREKOMST OCH RÖRLIGHET	11
Geologiska förutsättningar	11
Markprocesser	12
Lakbarhet och associationer	13
DE KEMISKA ELEMENTEN I NÄRINGSKEDJAN	14
Områdets geologi	15
Bergarterna i undersökningsområdet	15
Malmer och industrimineral	16
10F Örebro NV	17
10F Örebro NO.....	17
10F Örebro SV	17
10G Eskilstuna SV	17
9F Finspång SV.....	17
9F Finspång SO	18
Kvartärgeologi i undersökningsområdet	18
Topografi och morfologi	18
Databehandling.....	18
Undersökning av procentuell lakbarhet	18
Korrelationer	19
Elementens förekomst i området	19
Silver (Ag)	19
Aluminium (Al)	20
Arsenik (As).....	21
Guld (Au)	23
Barium (Ba).....	24
Beryllium (Be).....	26
Vismut (Bi)	27
Kalcium (Ca).....	28
Kadmium (Cd)	30
Klor (Cl)	31
Kobolt (Co)	32
Krom (Cr)	33
Koppar (Cu)	34
Järn (Fe)	36
Kalium (K).....	37
Lantan (La)	39
Litium (Li)	40
Magnesium (Mg).....	41

Mangan (Mn)	43
Molybden (Mo)	44
Natrium (Na)	45
Nickel (Ni)	47
Fosfor (P)	49
Bly (Pb)	50
Rubidium (Rb)	51
Svavel (S)	53
Antimon (Sb)	54
Kisel (Si)	55
Tenn (Sn)	56
Strontium (Sr)	57
Torium (Th)	58
Titan (Ti)	58
Tallium (Tl)	59
Uran (U)	61
Vanadin (V)	61
Wolfram (W)	63
Yttrium (Y)	64
Zink (Zn)	65
Zirkonium (Zr)	67
pH och Buffertkapacitet	67
Resultat och tolkning	68
Miljögeokemi	69
Metallhalter	69
KM-värden	70
REFERENSER	71
SUMMARY	72
BILAGA 1	74

GEOKEMISK KARTERING VID SGU

Föreliggande rapport utgör en del av en presentation av markens naturliga innehåll av grundämnen i Sverige samt surhetsgraden mätt som pH. Rapporten är en fortsättning på den serie rapporter om markgeokemi som tidigare givits ut i SGUs serie Rapporter och meddelanden samt Gk.-Karteringsområdet omfattar Arboga, Kumla, Vingåker och Örebro kommuner samt delar av Finspång, Hallsberg och Katrineholm.

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. Interaktiva geokemiska kartor över Cu-halter i morän och i bäckvattenväxter kan hittas på www.sgu.se/sv/service/kart-tjanst_start.htm.

Rapporten innehåller utdrag ur den geokemiska databasen, och 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.

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, se karta på sidan 6. Förutom morän tas även ett representativt urval av andra oorganiska sediment. Dessa redovisas dock ej i kartform.

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 avsnittet "Arsenik").

Ansvarig för rapporten är Jonas Holmberg. Medförfattare är Madelen Andersson, Mikael Carlsson och Kaj Lax. Fackgranskning har gjorts av Harald Ressar vid SGU.

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 verksamhetsområden.

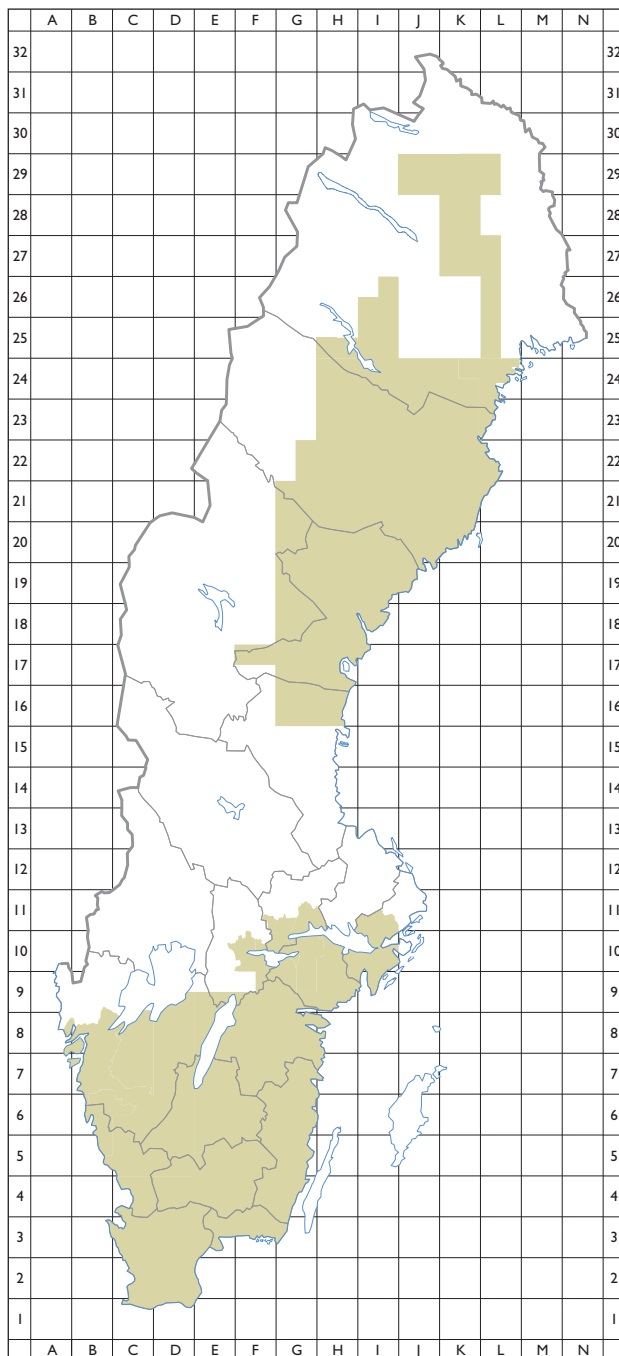
Kartorna, som visar den naturliga förekomsten av grundämnen i marken, ger information om halter av huvudkomponenter och spårämnen i miljön med avseende på det geologiska ursprunget. Antropogen påverkan bidrar ytterst sällan eller lite till de förekomster av metaller och andra element som uppmäts. I Sverige 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. I tätorter kan det inte uteslutas att metaller har fått ett antropogent tillskott genom århundradens metallhantering (Andersson 2004).

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 innehållet av vittringsbenägna mineral frigör tillräckligt med ämnen som växter och djur tillgo-

dogör sig. Den geokemiska statusen är därför god. Inom andra regioner kan i stället de nyttiga ämnena 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 det kan också, speciellt i regioner med lågt pH, 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.



Aktuell täckningsgrad för SGUs markgeokemiska databas.

Current coverage of the SGU soil geochemical database.

PROV Typen Morän

Jordarten morän förekommer över så gott som hela Sverige, totalt anses ca 75 % av berggrunden vara täckt av morän (Fredén 2002). 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 undersökningsområdet 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 överyta. 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 modermaterialet som de moränbildande processerna.

Transportlängden, som är en viktig parameter vid framför allt morängeokemisk malmprospektering, 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 & Salonen 1990) har visat att många moräner transporterats <20 km och de flesta betydligt kortare. I Sverige har inga motsvarande undersökningar utförts.

Trots att svårigheter vid tolkning ibland uppstår 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 p.g.a. 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 förorenade områden undvikas.

Topografiska kartor i skala 1:50 000 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, växtrötter, 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. Däremot tas viss hänsyn till läget för provtagna 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 mäktig för att gräva igenom 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.

Provberedning

Proverna vakuumtorkas och siktas på nylonsikt med 0,063 mm maskvidd. Anledningen till att man gör fraktionering av prov före analys är att den så kallade finfraktionen (< 0,063 mm) så gott som uteslutande innehåller monomineralkorn och dessutom är tämligen homogen. I grövre fraktioner ökar risken för att enstaka mineralkorn med avvikande sammansättning påverkar resultaten, dvs. ger ökad haltvariation 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. Malning kan ge oönskad kontaminering av proven. Det finns dock element som även i finfraktionen kan förekomma i enstaka korn, t.ex. guld och platina. Detta gör att även om finfraktion används kan analysresultaten efter förnyad provtagning skilja sig från det ursprungligen uppmätta.

Fig. 1. Typisk grop för markgeokemisk provtagning i morän.

Typical geochemical sampling site in till.



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 används 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 analys, 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 salpetersyra (7M HNO₃), och den lösta delen av provet analyseras med plasmateknik (ICP-MS). Med denna analysmetod erhålls också ett trettio-tal ämnen. Guldanalyser har tidigare gjorts med grafitugn och atomabsorption (GF-AAS), sedan 1996 med ICP-MS.

De insamlade proverna uppslammas 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). Observera att eftersom pH-skalan är logaritmisk innebär varje sänkning med en pH-enhet att halten vätejoner (egentligen oxoniumjoner, H₃O⁺) i lösningen ökar tiofalt.

Det sammanlagda antalet element som analyseras uppgår till ca 40. Parametrar av fullgod eller tillfredsställande analytisk kvalitet som ingår i den geokemiska referenssamlingen är: pH, pH1 (pH efter tillsats av svavelsyra), Ag, Al₂O₃, As, Au, BaO, Be, Bi, CaO, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe₂O₃, K₂O, La, Li, MgO, MnO, Mo, Na₂O, Ni, P₂O₅, Pb, Rb, S, Sb, Se, Sn, Sr, Th, TiO₂, Tl, U, V, W, Y, Zn och Zr. Utöver dessa finns dessutom ett fåtal grundämnen av sämre kvalitet, t.ex. Br, som i vissa fall kan användas som indikativa.

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 (replikat) tagna i fält undersöks den s.k. totalvariansen (fig. 2). I denna ingår skillnader (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. Analysvariansen undersöks 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.

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

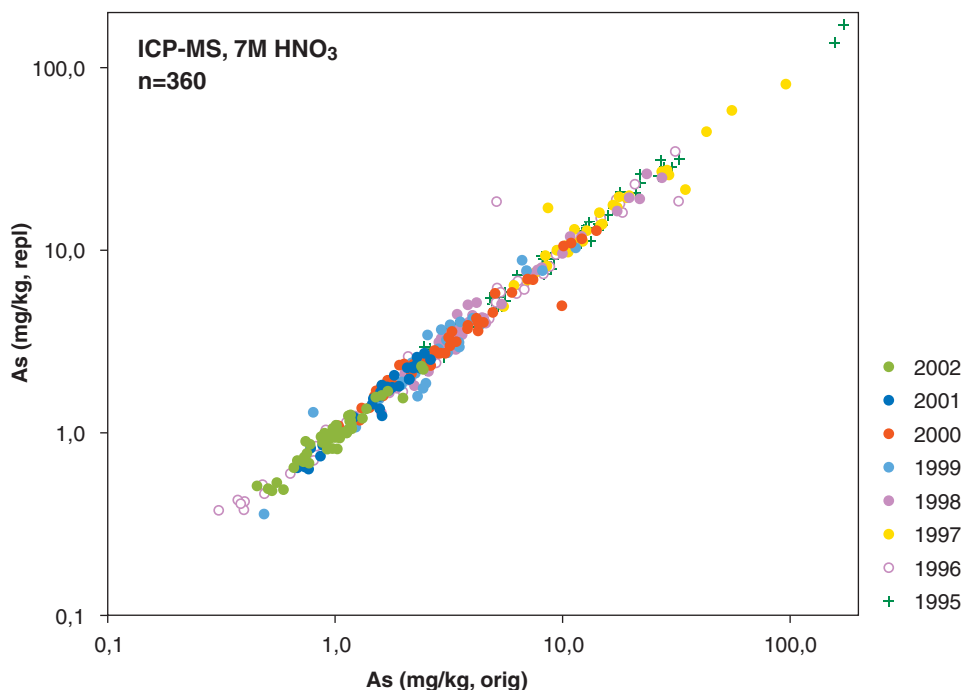


Fig. 2. Korrelation mellan fältreplikat och originalprov för As. Analysmetod 7mHNO₃/ICP-MS.
Correlation between field replicate samples and original samples for As. Method 7M HNO₃/ICP-MS.

Kartor

I föreliggande rapport redovisas analysparametrarna i form av kartor för varje enskilt element. Även beräknade kartor som visar pH och försurningsresistens ingår. Kartskalan är 1:1 miljon. Utöver de presenterade kartorna kan efter önskemål kartor beställas av totalhalter respektive syralösliga halter av ett trettioal huvud- och spårämnen. Även beräknade kartor som visar prognos för baskatjonbildning, försurningsresistens, samt lakbarhet för aluminium och andra huvudelement, och lakbarhet för några spårelement, 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) framställas. För beställning av dessa eller för kartframställning i andra skalor eller av andra element, kontakta SGUs kundtjänst.

Färgkartorna är gjorda efter 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 även områden med andra sediment än morän, och speciellt i dylika områden kan avvikelser mellan reell 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. En fullständig förteckning över undersökningsområdets percentiler återfinns i bilaga 1.

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 Sveriges bergarter.

Tabell 1. Element och medeltotalhalt i olika vanligt förekommande bergarter i Finland (Koljonen 1992).

A: Basiska bergarter, B: Graniter och granodioriter, C: Skiffrar, 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: Schists 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 eller har inblandning av äldre jordarter 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 magnesiumfattig region.

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

Markprocesser

Om markens buffringsförmåga är låg sjunker pH när försurande vätejoner tillförs, antingen via naturliga processer eller genom 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 däremot 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 4,2 sker buffringen med aluminiumjoner som då i stället tillförs markvattnet, ofta tillsammans med bl.a. Cd, Ni, Mn, Tl och Zn som alla är lösliga.

Vertikalt i marken varierar den kemiska sammansättningen, bl.a. på grund av de jordmånsbildande markprocesserna. Vilken typ av jordmån som bildas beror på ett flertal faktorer, bland dem kan nämnas jordart, mineralinnehåll, markanvändning och vegetation. Den vanligaste jordmånen 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. Den kemiska sammansättningen i dessa båda markskikt beror främst på innehållet av primära (bergartsbildande) mineral och på sekundära mineral och föreningar som bildats vid vittring och utlakning. 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 inte förmått påverka sammansättningen nämnvärt och grundämnena förekommer i huvudsak i primära bergartsmineral. Undantag från detta är t.ex. vissa sulfidmineral som är instabila ovanför grundvattenytan. Metaller som frigjorts när dessa mineral vittrat har i stället fastlagts i andra former, exempelvis genom jonbytesprocesser (t.ex. Cu^{2+} för K^+ i biotit).

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

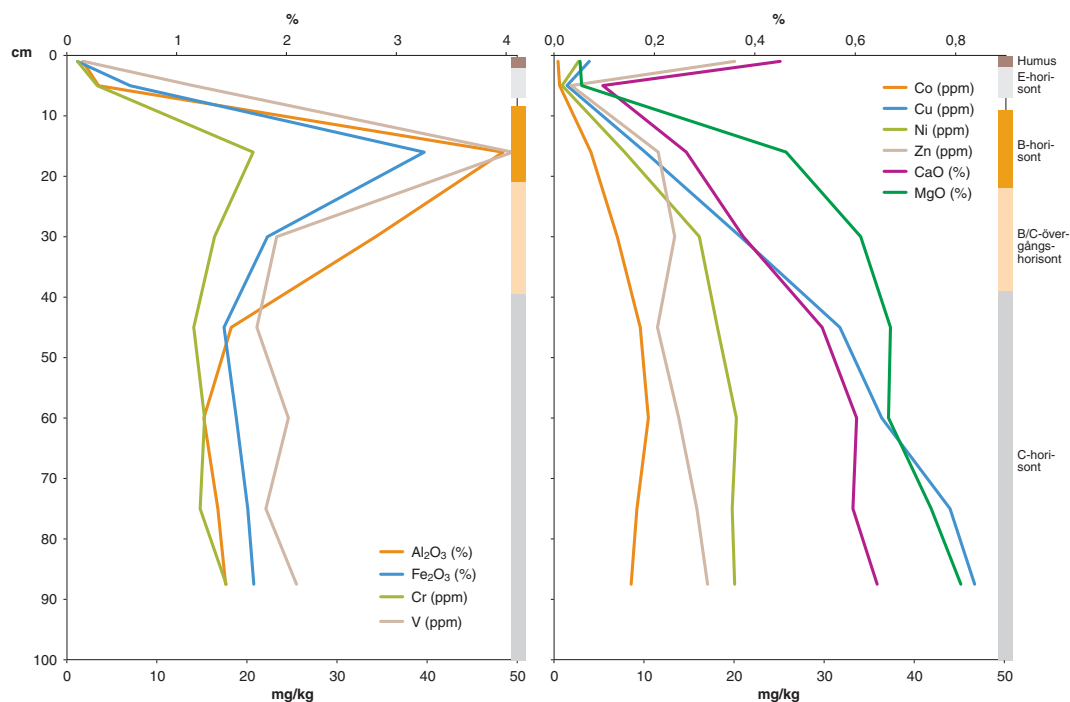


Fig. 3. Podsolprofil i Norrbotten och analys av ett antal grundämnen. Åtta prov i de olika horisonterna, varav fyra i C-horisonten.

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

Lakbarhet och associationer

Ett mått på elementens rörlighet är deras lakbarhet, som varierar kraftigt beroende på vilka mineral de är 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 påverkar även markens neutralisationsförmåga. 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 vitttring 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.

Samma element kan uppträda i flera olika mineral och vara olika hårt bundet. Ett sådant element är Ca, som återfinns i de flesta av de 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 salpetersyalakning som kungsvatten.

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

Tabell 2. Lakbarhet (medianvärden) för ett urval av analyserade element. n = antal, Lakbarhet (%) = (syalakbar 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	↓			

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 stelnde 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.

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 vad gäller samband markkemi–människors hälsa är sambanden 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 hjärt- och kärlsjukdomar är närvaron av hårt vatten, dvs. där Ca och speciellt Mg är överrepresenterat i dricksvattnet. Dylika samband har konstaterats vara relativt vanliga internationellt (Karppanen 2002). Under senare tid har även förekomst av uran i dricksvatten identifierats som en riskfaktor (Kurtio m.fl. 2002), och källan till detta uran är berg- och jordartsrelaterat. En nyligen genomförd studie av uran i dricksvatten (samarbete mellan Livsmedelsverket, Statens Strålskyddsinstitut och SGU) visar att kommu-

nala täkter generellt innehåller låga halter, däremot är halterna i ett antal enskilda, bergsborrade brunnar förhöjd (Falk m.fl. 2004).

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 mer ingående undersökningar än vad som här gjorts.

OMRÅDETS GEOLOGI

Bergarterna i undersökningsområdet

Karteringsområdets bergarter hör på ett undantag till prekambrium och har bildats under den svekofenniska perioden. Bergarter som är representerade är sedimentära, vulkaniska och magmatiska.

En stor del av de vulkaniska bergarterna har omvandlats till leptiter och leptitgnejser medan de sedimentära bergarterna bland annat har omvandlats till kvartsiter och marmor. Den metamorfa och metasomatiska aktiviteten under Svekofennium beror främst på vecknings- och skjuvrörelser.

Den svekofenniska delprovinsens södra område sträcker sig från Norrlands sydgräns ned till trakten av Västervik. I väster bergänsas det av det transskandinaviska granit–porfyrbältet. Till övervägande del är de äldsta ytbergarterna tidigsvekofenniska. I väster finns det dock en möjlighet att vulkaniska och sedimentära bildningar har en ålder på 1860–1825 milj. år, s.k. övre svekofennium. Undre svekofennium, 1900–1860 milj. år, i den södra regionen representeras främst av sura vulkaniter (ryoliter till daciter), men basiska vulkaniter finns också. Intermediära (dacitiska–andesitiska) vulkaniter uppträder också, dock ej i de västligaste delarna av den södra regionen. Vulkaniter av basisk karaktär uppträder vanligtvis som underordnade inslag i de områden som domineras av sura vulkaniter och gråvackor eller argilliter. Den s.k. leptitgruppen, vilken innefattar sura vulkaniter, finns i ett bågformat bälte från norra Uppland och södra Gästrikland in över södra Dalarna och söderut genom västra Västmanland till Närke och sydöstra Värmland. Den böjer därefter av mot öster genom Sörmland och norra Östergötland. Malmförande områden i den södra regionen påträffas ofta i de sura vulkaniterna, inte sällan i extremt natron- eller kalirika sammansättningar (natron- resp. kalileptiter och -hällflintor). Över stora områden saknas kvartsiter och arkoser men de kan lokalt bli kvantitativt betydelsefulla. Granitoida djupbergarter (tonalit, granodiorit, granit), vilka dominerar över ytbergarterna, utgör ett markant inslag i den svekofenniska delprovinsen. Basiska djup- och gångbergarter har mindre utbredning.

Under Svekofennium intruderade magmor (basiska) och gav upphov till t.ex. gabbro och diorit. Senare bildades tonaliter, granodioriter, och graniter. Metabasit uppträder i Örebrotrakten som gångar och klassas som intraorogena. Norr om Hjälmarens uppträder skiffer och marmor (kristallin kalksten och dolomit).

Den svekofenniska bergskedjeveckningen indelas i två huvudavsnitt med var sin grupp av djupbergarter. De äldre djupbergarterna är mer eller mindre gnejsiga och kallas för gnejsgraniter eller populärt urgraniter. Till dessa äldre led finns tillhörande djupgrönstenar. Den yngre sensvekofenniska gruppen av djupbergarter saknar grönstenar, och omfattar dels sammanhängande massiv av grovkorniga till medelkorniga graniter (Fellingsbro- och Örebro-typ), dels finkornigare graniter som sällan uppträder i sammanhängande större områden. Väster om Hjälmarén finns kambriska och ordoviciska bergarter. Lagerföljden, underifrån räknat, består av sandsten, lerskiffer, alunskiffer och kalksten.

De svekofenniska ytbergarterna i södra Uppland och Sörmland utgörs till dominerande del av sedimentära bildningar. I Uppland är dessa främst av gråvackekaraktär, i Sörmland ("Sörmlandsgnejs") är de argillitiska, till stor del ådergnejsomvandlade sedimentbergarter, innehållande almandinggranat, cordierit och sillimanit. I de sedimentära bergarterna i Uppland och Sörmland förekommer basiska (amfibolitiska) och intermediära vulkaniter som inlagringar.

Det transskandinaviska magmatiska bältet har graniter i åldern 1810–1650 milj. år. Till de äldre hör Smålands-Värmlandsgraniterna, som således kronologiskt hör till de sen- och postorogena graniterna i den svekokarelska provinsen. I det transskandinaviska bältet dominerar graniterna volymmässigt över andra bergarter. Graniternas ålder ligger mellan 1810 och 1650 milj. år.

I Smålands-Värmlandsgraniterna finns ett flertal massiv av gabbro, ibland med inslag av diorit, anortosit m.m. En del av massiven är nära relaterade till graniterna, då de har strukturer uppkomna vid ofullständig blandning mellan basisk och sur magma (Fredén 2002). Andra gabbror torde vara inneslutningar av äldre, tidigorogena svekokarelska massiv, men någon strikt uppdelning av de två åldersgrupperna kan inte göras.

Smålands-Värmlandsgraniterna har på grund av magmornas relativt höga temperaturer ibland gett upphov till kontaktomvandling i äldre berggrund. Denna ger sig tillkänna genom uppträdandet av mineral som cordierit, granat, andalusit och hypersten eller som en ortoklasomvandling av sidobergets mikroklin.

Vulkaniska processer skedde ungefär samtidigt med att sedimenten avsattes. Som resultat fick man rena vulkaniska bergarter samt en blandning mellan vulkaniter och sediment. Alla dessa brukar sammanfattas under begreppet leptit. De vulkaniska processerna var en förutsättning för malmbildning och områdets gruvor ligger alla i anslutning till dessa bergarter (Lindström m.fl. 1991).

Järnmalmerna i området är av tre slag: kvartsbandade järnmalmer, skarnjärnmalmer och apatitjärnmalmer. De förstnämnda består mest av hematit, magnetit och kvarts, ofta växelagrade, och har järnhalter på 30–50 %. Skarnmineral i mindre mängder kan förekomma. Skarnjärnmalmerna utgörs av magnetit och skarnsilikater och visar övergångar till kalkskiktade malmer. De kan indelas i manganfattiga (<1 % Mn) och manganrika (1–8 % Mn).

Leptitgruppen innehåller förutom järnmalmer talrika malmer och mineraliseringar av sulfider, bestående av främst koppar, zink, bly, och järn. Mineraliseringarna uppträder dels i de sura vulkaniterna, dels i inlagringar av kristallina karbonatstenar. I sistnämnda fall dominerar zinkblände och blyglans med inslag av arsenikkis.

Diabasgångar uppträder spritt inom karteringsområdet, de mest utmärkande riktningarna är ost–väst respektive nordnordost–sydsydväst, där de förstnämnda i regel är äldre (1500–1200 milj. år).

Malmer och industrimineral

Det finns ett antal malmförekomster och fyndigheter av industrimineral inom karteringsområdet, de flesta är dock i ej i bruk. Nedan följer, uppdelat per kartblad, en kort redogörelse för förekomsterna.

10F Örebro NV

Malmerna i Pershytte–Gyttorpstrakten består av järnmalmsförekomster, kvartsbandade, magnetitförande blodstensmalmer samt svartmalm i Hagby–Pershytte–Dammgruvestråket. I Knapptorps–Bergsängsgruvestråket finns serpentinskarnig magnetitmalm. Ortitmalm har brutits för att utvinna cerium, en sällsynt jordartsmetall, vid Östra Gyttorpsgruvan (Lundegårdh m.fl. 1972).

Under Svekofennium bildades såväl olika malmkroppar som marmor. Malmerna består av hematit och magnetit och förekommer allmänt i det nordvästra hörnet av kartbladet. Brytning har skett exempelvis vid Pershyttan.

I Pershytte Storgruva och vid Hagelgruvan (Annebergsgruvan) finns ett leptitmalmskomplex med kalkiga inlagringar, ofta förskarnade, dock ringa i mäktighet. I karbonatmassan finns kondrodit- och magnetitkorn. Vid Inkaby–Glanshammarområdet återfinns ett marmorbrott med en marmor som benämns Ekebergsmarmor.

10F Örebro NO

Av de få kända malmfyndigheterna kan framför allt den nu nedlagda Gåsta koppargruva (sydost om Frövi, 2 km söder Ullersätter station) nämnas. En annan fyndighet är Gåstamalmen som ligger i gränsområdet mellan leptitgnejs och amfibolitgrönsten (Magnusson & Gorbatshev 1972).

10F Örebro SV

Järnmalmsbrytning har förekommit i Klara, Hässelkulla och Sanna. Malmfyndigheter är dock inte särskilt vanliga inom området. Endast tre områden är kända. Dessa är knutna till kartbladets nordvästra hörn. Klara gruva (magnetit och hematit) överlagras av sandsten (ca 20 m tjock) och var i drift 1907–1960. Själva malmkroppen ligger diffust i kalksten och skarn. Kalkstenen uppträder norr intill malmen. Sydost om Klara gruva finns lämningarna efter Hässelkulla gruvor, vilka stängdes 1877. Dessa består av en grovkornig kvartsrik svartmalm, främst i ett skarnparti, och fyndigheten genomslås på sina ställen av röd granit och av grovkristallin Örebrogranit. (Lundegårdh & Fromm 1971).

I Kvarntorp, öster om Kumla, framställdes brännolja och bensin ur alunskiffer. Produktionen startade som en följd av minskad import av olja under andra världskriget, och produktionen pågick från 1941 till 1966. Alunskiffern är en lerskiffer som innehåller hög halt av bituminös substans (kerogen). Oljehalten ligger mellan 5–6 %.

10G Eskilstuna SV

Väster om Öljaran finns en gammal järngruva, Askö. Detta är en kvartsförande skarnjärnmalm i en pegmatitgenomdränkt leptit. Ett antal mindre järngruvor finns i kartbladets östra del. Nämnas kan även att Sveriges största kalkstensbrott ligger i Forsby (Magnusson 1986).

9F Finspång SV

Zinkgruvan är den viktigaste gruvan i regionen och är fortfarande i drift. Över stora delar av området kan man urskilja en lagerserie med sura vulkaniter som överlagras av kalksten och därefter av sedimentära bergarter. Nära kalkstenen förekommer vanligen kismineraliseringar, vilka vid Zinkgruvan ansamlats till en betydande malm. Mineraliseringen består av en massiv zink-bly-koppar-silvermalm (Wikström och Karis. 1991). En manganförekomst återfinns ca 2 km söder om Gärdshyttan. Mineraliseringen är knuten till en sprickzon.

9F Finspång SO

Doverstorpfälten har brutits på skarniga järnmalmer. Den största förekomsten är Storgruvan, ca 300 m nordnordväst om Gruvängen. Denna malm sitter i en relativt biotitrik, högmetamorf och pegmatitgenomdränkt vulkanit och består av både svartmalm och blodsten (Wikström & Karis, 1991). Svartmalm är en järnmalm som huvudsakligen består av magnetit, blodstensmalm är en järnmalm huvudsakligen bestående av järnglans eller hematit.

Hällestad Sörskate har varit ett av de viktigaste gruvfälten i nordöstra Götalands bergslag, vars storhetstid inföll under 1500- och 1600-talen. Malmen i Bredgruvefältet i den centrala delen av området har väsentligen varit en blodstensmalm med körtlar av fosforhaltig svartmalm. I Baggetorpsgruvan, numera nedlagd, bröts wolframit och även scheelit och molybdenglans. Malmen var lokaliserad i en lätt veckad kvartsgång i granit.

Kvartärgeologi i undersökningsområdet

Karteringsområdet hör till nordöstra Götalands och östra Svealands berg-, morän- och lerområde (Fredén 2002). Inlandsisen började försvinna från området för ca 11 100 år sedan och området var isfritt för ca 10 300 år sedan, en tidsperiod på ungefär 800 år. Den huvudsakliga isörelseriktningen är nordvästlig–nordsydlig.

Karteringsområdet är småkuperat – berg och morän dominerar i höjdområden medan finkorniga sediment återfinns i sänkor. Hela området, med undantag för några få högre belägna områden sydost och nordost om Askersund, har legat under högsta kustlinjen (HK). Moränen är till största del sandig och domineras i regel av urberget. Blockhalten är rik inom vissa områden och även storblockig. Så kallade De Geermoräner förekommer inom karteringsområdet och består nästan enbart av stora block. Svallsediment förekommer på moränsluttningar och i anslutning till isälvsavlagringar. Glacialeran är varvig och kan lokalt vara kalkhaltig, i närhet till isälvsediment är det vanligt med varvig lera som har inslag av mo och mjäla.

Topografi och morfologi

Moränmorfologin är ofta ryggar i nord–sydlig riktning, uppträder i form av långsträckta ryggar med mer eller mindre regelbunden orientering. Även småkullig morän (dödismorän) förekommer. Moränens mäktig varierar oftast mellan 1 och 5 m, vilket betyder att ytformerna också är betingade av berggrundsmorfologin.

DATABEHANDLING

Undersökning av procentuell lakbarhet

Eftersom ett antal element analyserats för såväl total- som syralakbar halt är det möjligt att undersöka proven även med avseende på hur stor del av totalhalten som löses vid uppslutning med de använda syrorna. Detta tillämpades enbart för element analyserade med 7M HNO₃ och element med stort antal analyser nära nedre bestämningsgränsen för XRF uteslöts. För att erhålla procentuell lakbarhet användes formeln $e_{100\%} = (e_{ICPJMS} / e_{XRF}) * 100 \%$ för SGUs data, där "e" syftar på element. Denna parameter undersöktes såväl statistiskt som spatialt (i kartform). Procentuell lakbarhet undersöktes för huvudelementen Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Ti samt spårelementen Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Y och Zn.

Korrelationer

Med hjälp av Statistica 6.0 undersöktes samtliga element med avseende på korrelationskoefficienter, r (Pearson). Det relativt stora provantalet, liksom relativt få extremvärden, innebar att ingen transformering av data föregick korrelationsanalysen. Ett test av icke parametrisk korrelationskoefficient (Spearman r) visade också att koefficienterna var mycket lika, oberoende av metodval. I texten hänvisas till Pearson r . Om korrelationen är negativ anges detta, annars gäller att koefficienten är positiv.

ELEMENTENS FÖREKOMST I OMRÅDET

Silver (Ag)

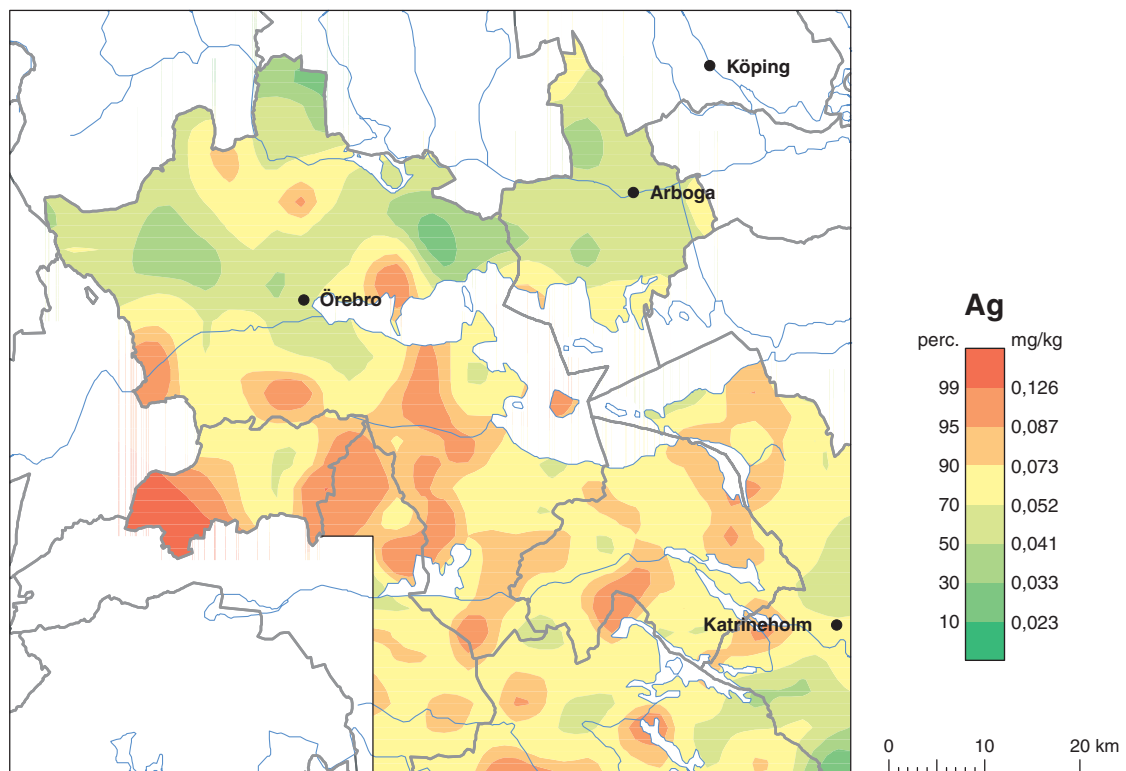
Silver (salpetersyralakade halter) förekommer i något förhöjda halter syd- och sydost om Örebro. Halterna ligger i regel under 0,1 mg/kg och når som högst 0,26 mg/kg. De flesta prov >0,1 mg/kg uppträder i anknytning till morän som antas ha sitt ursprung i yngre, sedimentära bergarter, vissa granodioriter samt svekofenniska paragnejser. Dessa prov speglar sannolikt en allmänt förhöjd bakgrundshalt i bergarterna. Ett möjligt undantag är ett prov i närheten av Glanshammar. Detta prov, som även innehåller förhöjda halter av en rad andra metaller (t.ex. bly, zink, kadmium, wolfram) är taget ca 750 m sydost om Gamla Gruvan, en nedlagd sulfidgruva som bröts för silver och bly.

Syralakbara halter Ag, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Ag, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Silverhalterna i områdets moräner korrelerar bäst med salpetersyralakat tallium, men korrelationen är relativt svag ($r = 0,54$).

I finsediment (leror) är halten av silver betydligt högre än i moräner, medianvärdet är 0,16 respektive 0,05 mg/kg. Den högsta halten är dock jämförbar med högst halt för morän. Korrelationen är stark med ett stort antal andra salpetersyralakade element (t.ex. $r > 0,90$ med aluminium och strontium), men endast 0,50 med tallium (se morän ovan).

Aluminium (Al)

Aluminium är det tredje vanligaste elementet i morän efter kisel och syre. Fältspater, plagioklaser och mörka mineral såsom amfiboler, glimmermineral och pyroxener är de största minerogena aluminiumkällorna. Vissa fältspater, plagioklaser och de mörka mineralen vittrar relativt lätt vilket frigör aluminium medan kalifältspat och natriumrika plagioklaser är mera vittringsresistenta (Koljonen 1992). De total aluminiumhalterna (analyserade med XRF) i undersökningsområdet är normala i förhållande till landet i övrigt. Observera att kartan över totalhalter är baserad på lokala percentiler p.g.a. att totalhalterna är låga i förhållande till landet i övrigt.

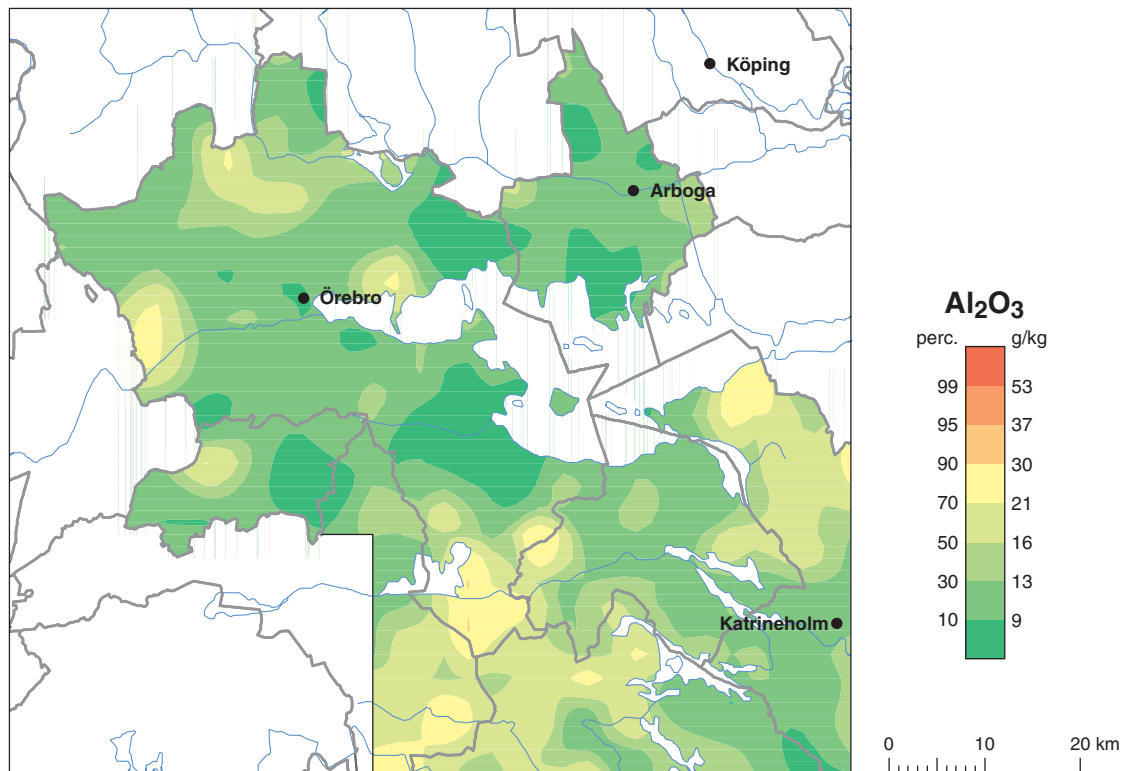
Den procentuella lakbarheten för Al är störst i de mellersta och södra delarna av området. Detta förklaras främst av mineralogin i området. Mer vittringsbenägna mineral ger högre lakbarhet. I de norra delarna av Örebro kommun, i anknytning till ett antal sulfidmineraliseringar, kan även relativt hög lakbarhet konstateras i ett mindre antal provpunkter. Starkast korrelerar totalhalterna för Al med Ba, Co, Cr, Fe, K, Mg, Rb, Ti, V och Zn ($r > 0,60$).

Syralakbara halter Al_2O_3 , metod 7M HNO_3 /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Al_2O_3 , method 7M HNO_3 /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Arsenik (As)

Arsenik är en så kallad halvmetall, och avviker från de flesta andra här rapporterade grundämnen genom att den oftast uppträder som en negativt laddad jon, anjon, i vattenlösningar. I bergarter uppträder As ofta i samband med sulfidmineraliseringar, t.ex. i form av mineralet arsenikkis (FeAsS). Framför allt skiffrar och liknande metasedimentära bergarter kan innehålla relativt höga halter As. I naturligt arsenikhaltig mark kan As vara relativt mobilt, speciellt om pH är förhöjt.

De norra delarna av undersökningsområdet uppvisar låga halter av As, dvs. halter som understiger medianhalten för landet, 6 mg/kg. Förhöjda halter hittas i ett sydöstligt stråk söder om alunskiffern, sandstenen och kalkstenen. Halterna ligger mellan 70:e och 99:e percentilen. Bergarter som kan härledas till förhöjda arsenikhalter är bl.a. metavulkaniter och en del metasedimentära bergarter såsom skiffrar, speciellt alunskiffer.

Kungsvattenlakning och salpetersyralakning ger nästan identiska resultat, även om kungsvatten ger något högre halt (delvis en effekt av $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ -interferens i analysinstrumentet) är $r=0,99$. Arsenikhalterna i undersökningsområdet korrelerar starkt med Cd, Mo och Sb ($r>0,60$).

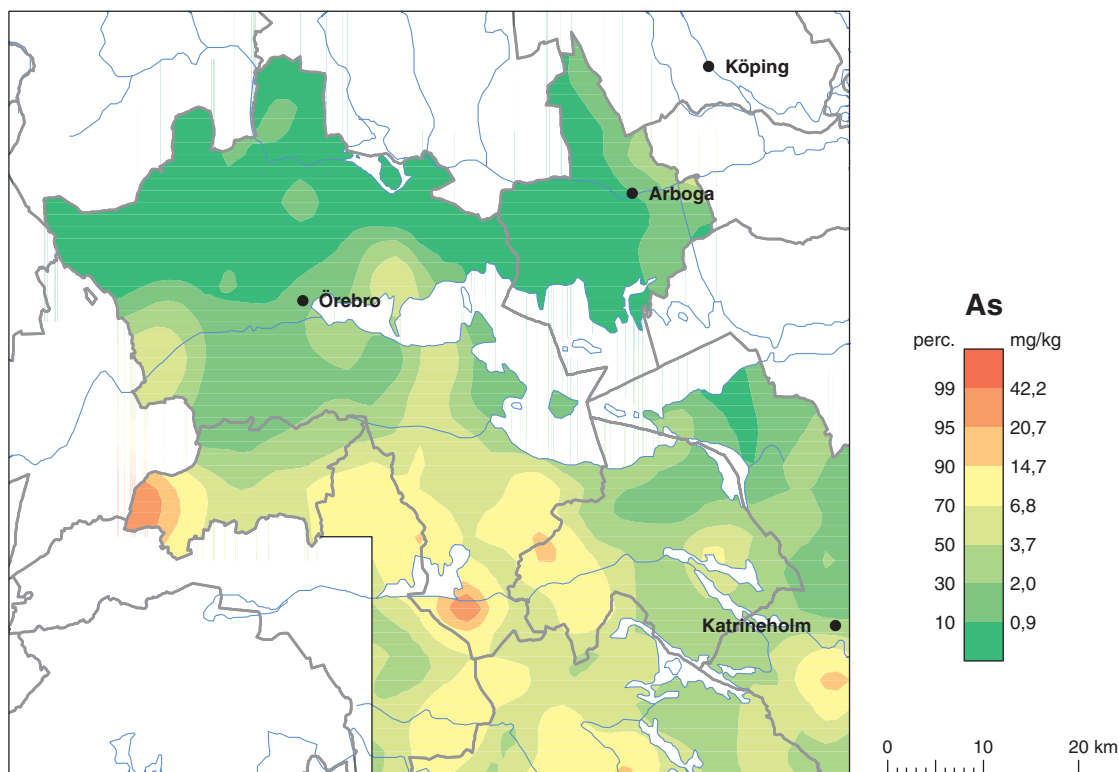
Naturlig förekomst av As i dricksvatten har uppmärksamats som ett stort problem internationellt. Ett av de hårdast drabbade områdena utgörs av delar av Sydostasien (Selinus m.fl. 2005). Även i Sverige förekommer As ställvis i halter över gällande gränsvärden, speciellt i bergsborrade brunnar. I Finland har man visat att det finns en koppling mellan As i brunnsvatten och morän och andra geologiska medier. Preliminära resultat från undersökningar vid SGU tyder på att detta samband även gäller i Sverige. Om uppgifterna verifieras kan morän-

Syralakbara halter As, metod 7M HNO_3 /ICP-MS

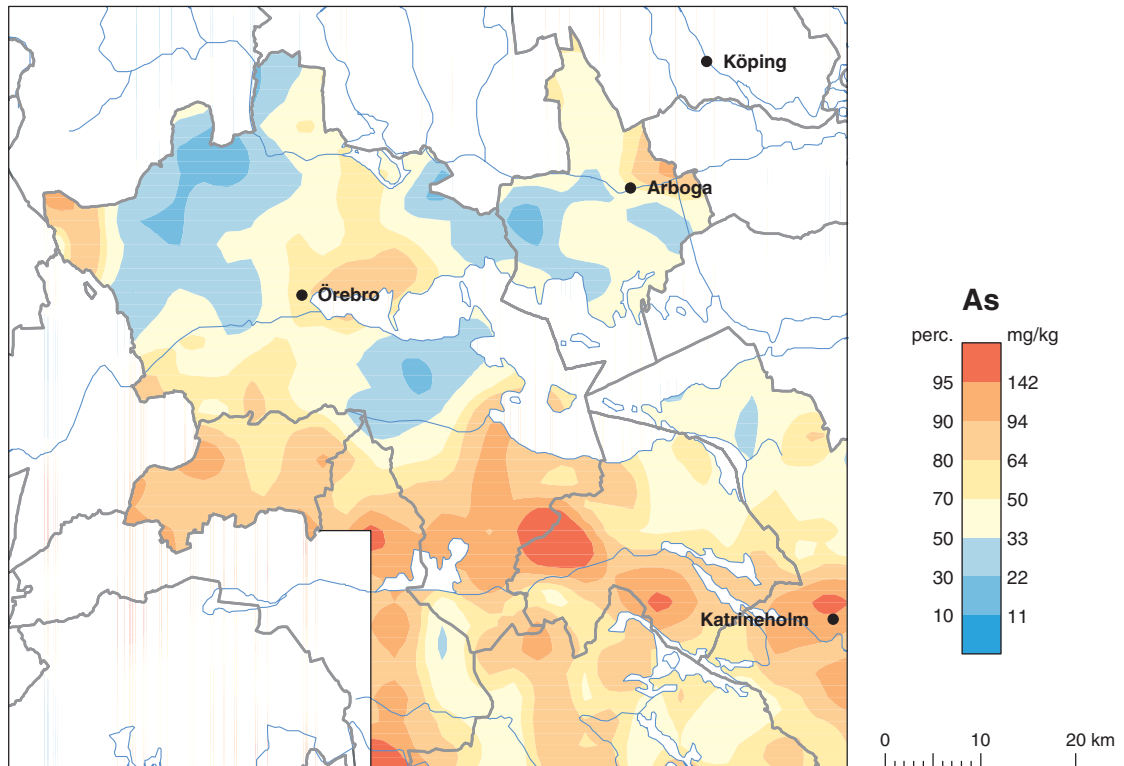
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach As, method 7M HNO_3 /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Totalhalter As, metod XRF
Total contents As, method XRF



kartan över As användas som ett prognosverktyg över områden med förhöjd risk för As-haltigt brunnsvatten. Det bör observeras att det ej är arsenikläckage från moränen som tränger in i bergborrade brunnar, utan den As-haltiga berggrunden som orsakar höga As-halter i brunnsvatten. Moränen ger däremot anvisning om områden med As-haltig berggrund.

Arsenik är även det element som i Sverige oftast naturligt överstiger det så kallade KM-värdet (Känslig Markanvändning). Beräkningar har visat att flera tusen km² moränmark ligger omkring eller över KM-värdet.

Guld (Au)

Ädelmetallen guld förekommer mycket sparsamt i berg- och jordarter, halterna når sällan över något enstaka g/ton. Oftast uppträder Au i elementär form, men ibland uppträder en anrikning som t.o.m. kan vara brytvärd, endera enbart Au, eller i samband med andra malmmineral, och för närvarande är guld en av de mest aktuella föremålen för malmprospektering i Sverige. Inom karteringsområdet förekommer inga kända guldmineraliseringar. Däremot uppträder en morängeokemisk guldanomali söder om sjön Sottern i sydöstra delen av karteringsområdet. Vidare förekommer två punktförhöjningar, en vid sydvästra Hjälmaren och en på Närke-slätten.

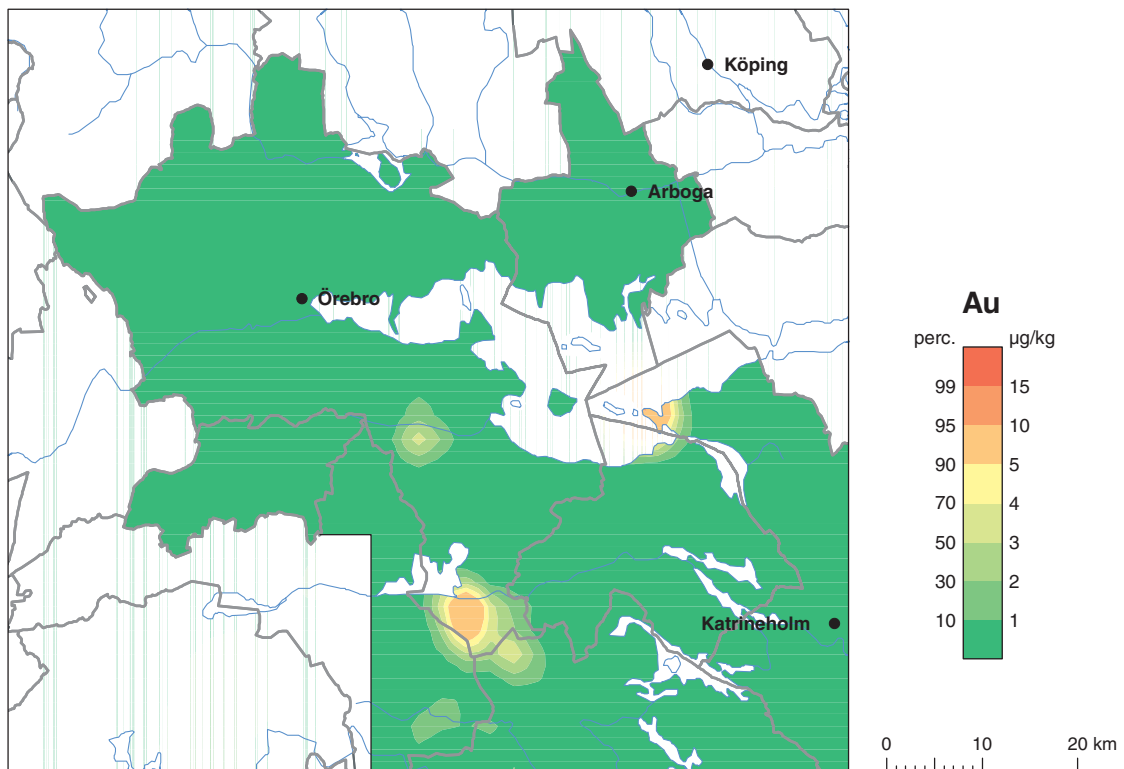
Av alla analyserade parametrar uppvisar guld endast korrelationer med koppar (Cu).

Syralakbara halter Au, metod AAS, ICP-MS

Kartan baseras på 494 prov

Partial leach Au, method AAS, ICP-MS

The map is based on 494 samples



Barium (Ba)

Barium förekommer främst i fältspater och glimmermineral, men kan även bilda baryt (BaSO_4), ett mineral som ofta förekommer tillsammans med sulfidmalmer. I bergarter är framför allt skifferar, men även graniter, bariumrika i förhållande till ultrabasiska bergarter och kalksten. Mobiliteten anses överlag vara ganska låg, och löst Ba utfälls snabbt med Mn, eller adsorberas till Fe- och Mn-hydroxider.

De syralakade halterna (kungsvatten och 7M HNO_3) korrelerar starkt ($r=0,99$), och kungsvatten är marginellt effektivare än salpetersyran. Syralakat Ba korrelerar starkt med syralakade halter av Al, Be, Fe, K, Mg, Ni, Rb och V ($r > 0,6$). Av totalhalterna korrelerar Al, K, Mg och Rb starkt med Ba ($r > 0,6$).

Mellan total- och syralakade halter är $r=0,40$, vilket visar att elementet förekommer både i lättlakade och mer svårlösta mineralformer. Totalhalterna är betydligt högre än de syralakade halterna, vilket medför att lakbarheten normalt är $<10\%$. Detta innebär med andra ord att det mesta av Ba normalt är knutet till relativt svårlakade mineral, såsom fältspater. Detta stöds även av en relativt låg korrelation med Mn. Huvuddelen av det Ba som analyserats är således bundet i primära mineral och inte i sekundära Mn-hydroxider.

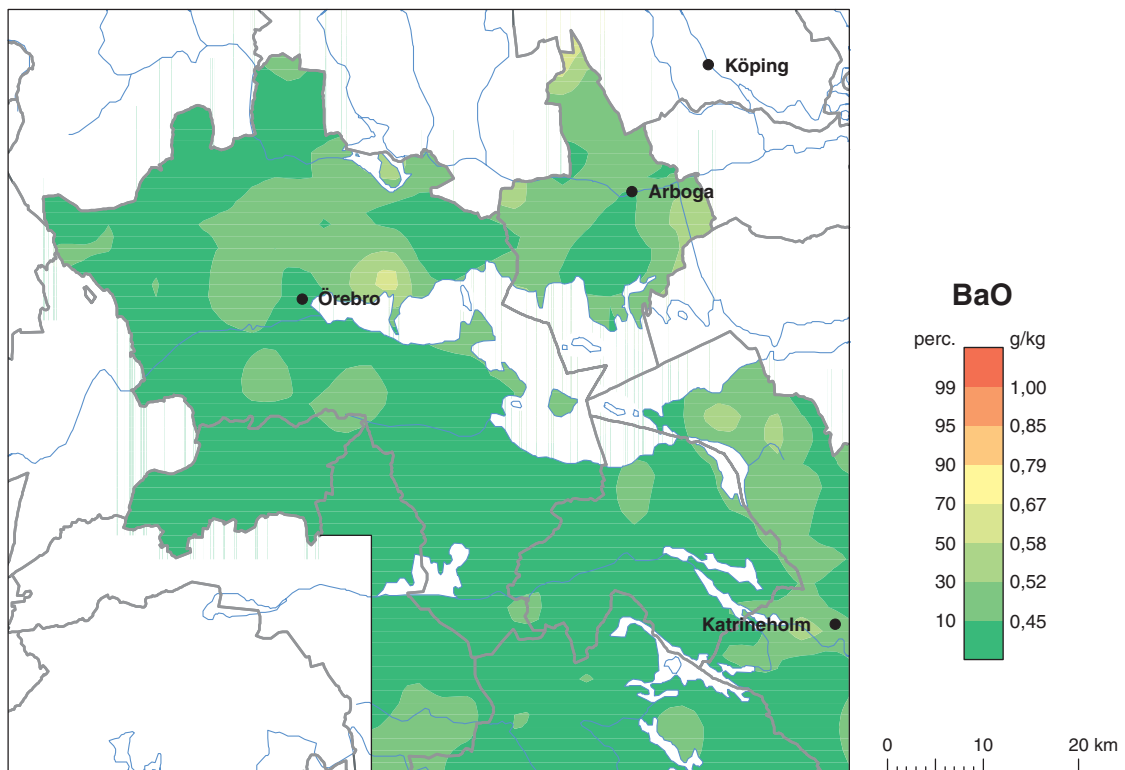
Kartbilderna visar att totalhalterna är låga jämfört med landet i övrigt i större delen av området, medan syralakade halter uppvisar något förhöjda halter i delar av undersökningsområdet.

Totalhalter BaO, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

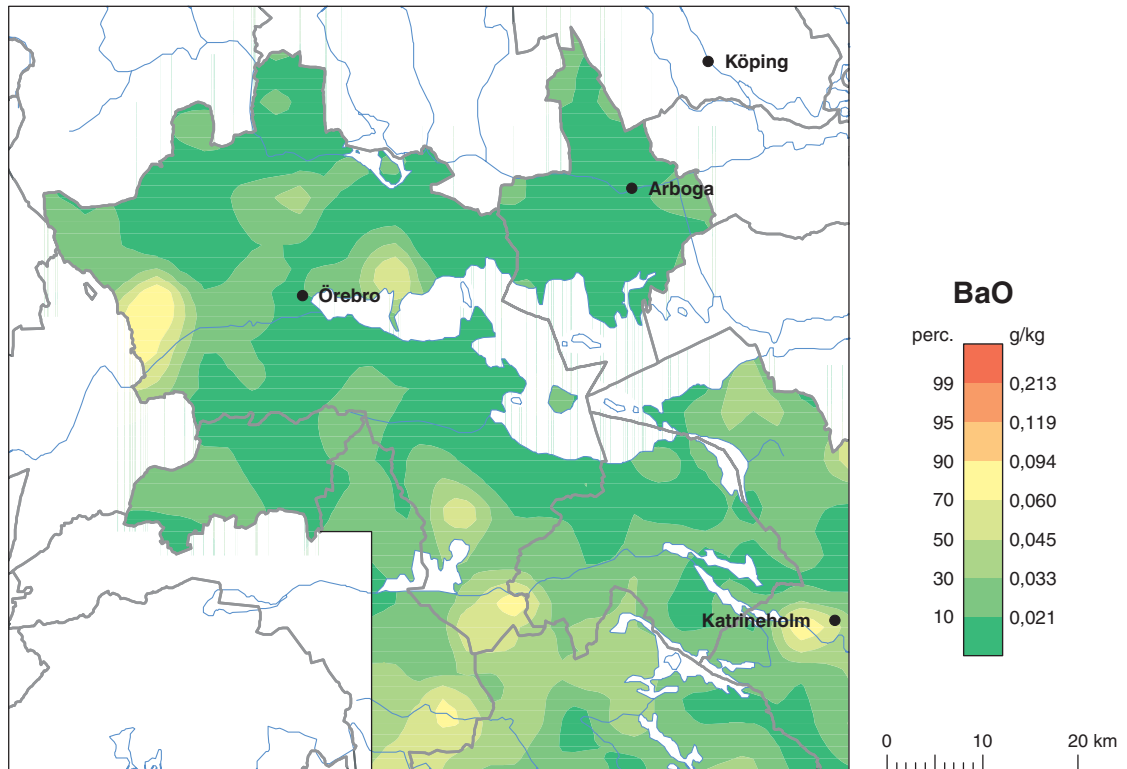
Total contents BaO, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter BaO, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach BaO, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Beryllium (Be)

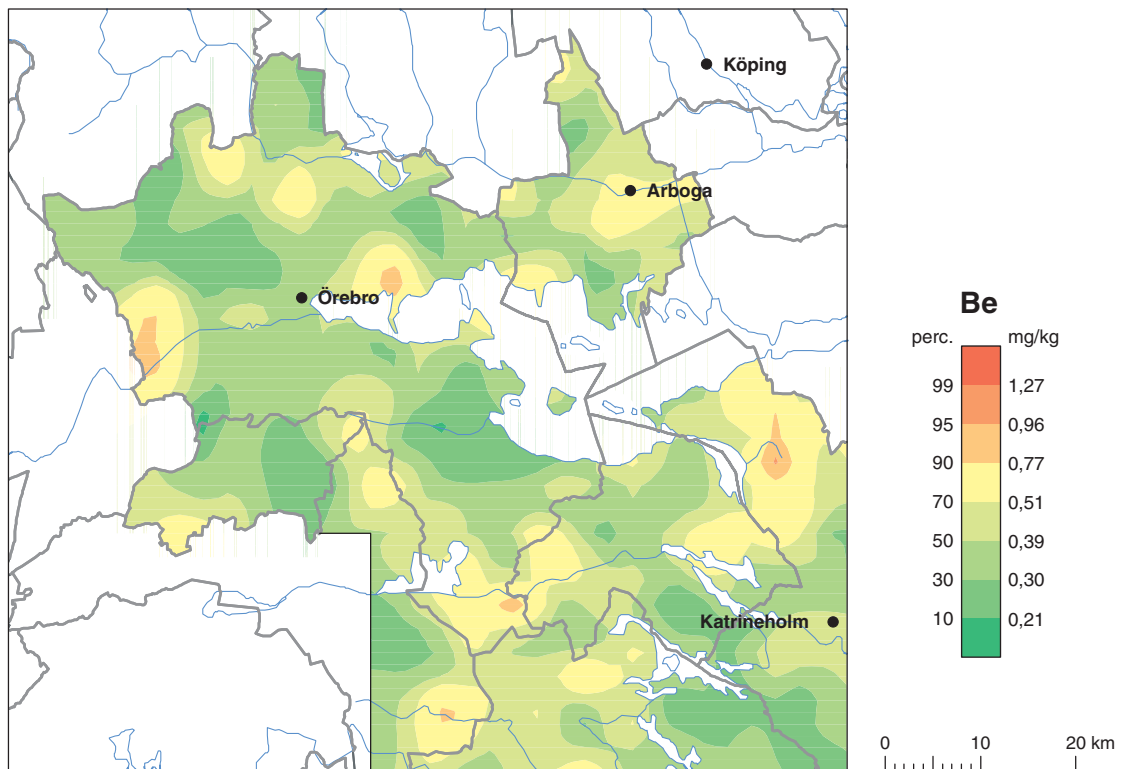
På grund av en mycket liten jonradie anrikas Be i sena magmatiska produkter, vilket förklarar varför Be-halterna är betydligt högre i graniter än i andra bergarter. Det finns visserligen specifika Be-mineral, t.ex. beryll, men dessa är ovanliga. Oftast ingår Be i pyroxener, amfiboler och muskovit, dessutom absorberas Be till Fe- och Al-hydroxider samt lermineral.

Salpetersyralakat beryllium förekommer i förhöjda halter (ca 1 mg/kg) utspritt över hela undersökningsområdet och kan nästan uteslutande knytas till underliggande sura till intermediära djupbergarter (granit, granodiorit). Även vulkanitiska motsvarigheter ger upphov till förhöjda halter, liksom vissa delar av basiska vulkaniter.

Starkaste sambanden med Be uppvisas av Al, Co, Cr, Fe, Li, Mg, V och Zn ($r > 0,7$). Negativ korrelation har Be med Si.

Syralakbara halter Be, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Be, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Vismut (Bi)

Liksom beryllium anrikas Bi i sena magmatiska produkter, men orsaken är till skillnad från Be en relativt stor jonradie. Jämfört med andra bergarter innehåller graniter och skiffrar förhöjda halter. Normalt förekommer Bi i olika sulfider såsom blyglans (PbS). Mobiliteten anses låg och löst Bi binds effektivt av Fe- och Mn-hydroxider samt organiskt material.

Vismuthalterna är relativt höga i jämförelse med övriga landet. Ca 70 % av proverna uppvisade högre halter än medianhalten för landet som är 0,1 mg/kg. Orsaken till de höga halterna är inte klarlagd, och förhöjda halter uppträder även längre österut i Mälarenregionen. En stor del av östra Svealand tillhör en region där de finkorniga jordarterna (åkermark) visat sig vara rika på vismut, men inte heller detta har kunnat förklaras (Reimann m.fl. 2003). SGUs undersökningar av sedimenten visar också att salpetersyralösligt Bi ligger på högre nivåer än i landet i övrigt.

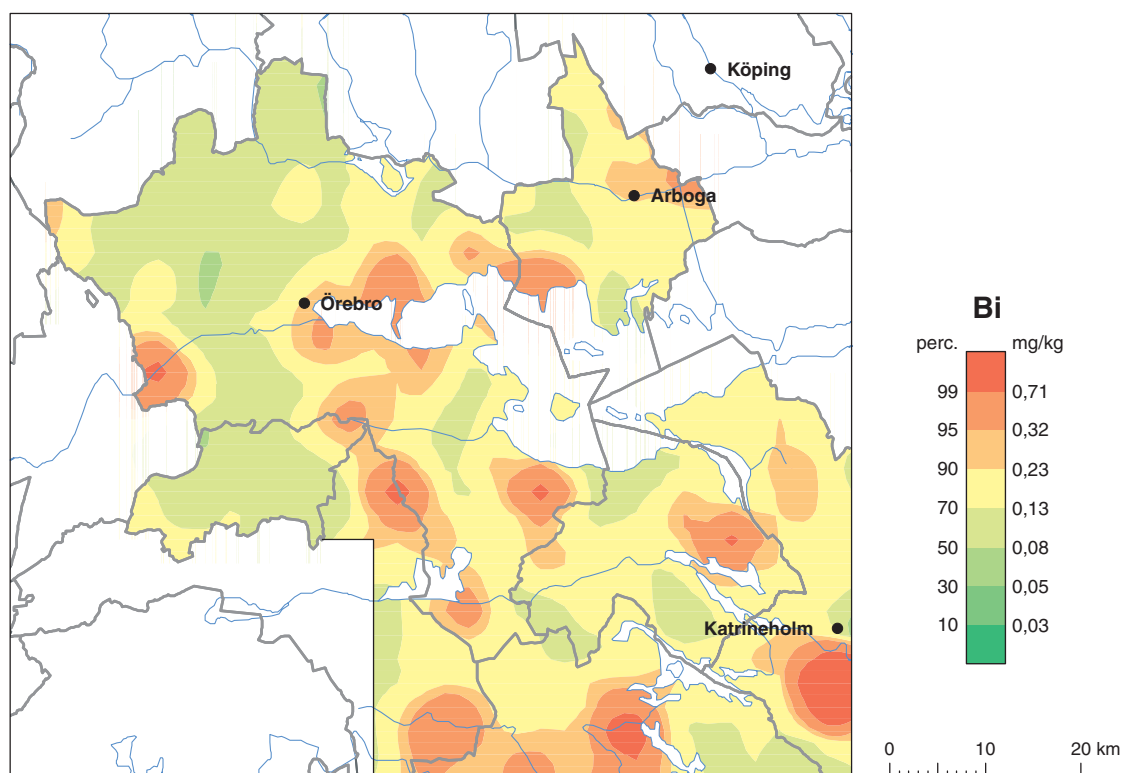
Bäst korrelerar Bi med K, Li, Pb, Rb, U och Zn (r 0,30–0,39). Korrelationen mellan salpetersyra- och kungsvattenlakning för Bi är mycket god, den senare är dock ca 15 % effektivare.

Syralakbara halter Bi, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Bi, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Kalcium (Ca)

Huvudelementet kalcium karakteriseras av förhöjda totalhalter endast i samband med kalkstenar. Endast ett fåtal punkter överstiger den 90:e percentilen. Detsamma gäller för de salpetersyalakade halterna som uppvisar lite större utbredning än totalhalterna (flera punkter som överstiger 90:e percentilen).

Den procentuella lakbarheten för Ca överstiger 10 % för så gott som hela området. Endast ett fåtal punkter uppvisar lakbarhet under 10 %. Detta tyder på att en del av Ca i undersökningsområdet härstammar från lättlösliga karbonater. Kalktest genom tillsats av saltsyra visar också att det i fem av moränproven finns fria karbonater. Av dessa prov innehöll fyra stycken >3 % CaO (totalhalt).

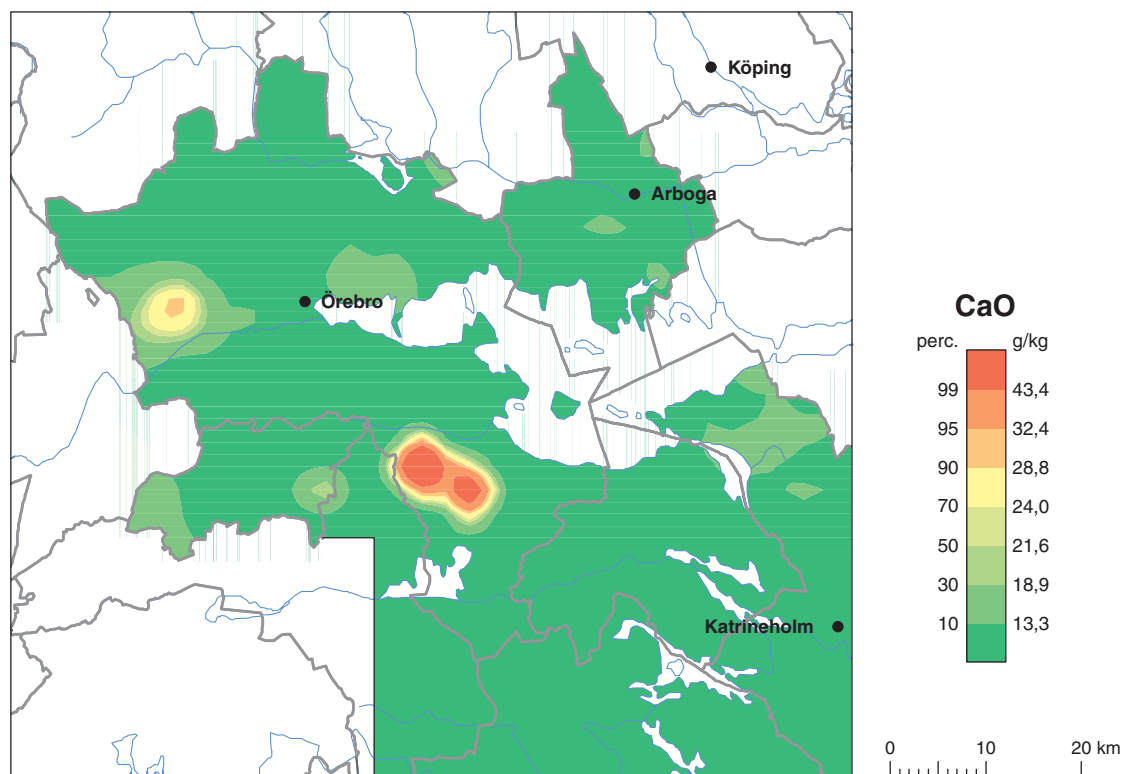
Korrelationsanalysen visar att totalhalter och salpetersyalakbara halter av Ca korrelerar väl. Salpetersyalakat Ca korrelerar även väl med Sr.

Totalhalter CaO, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

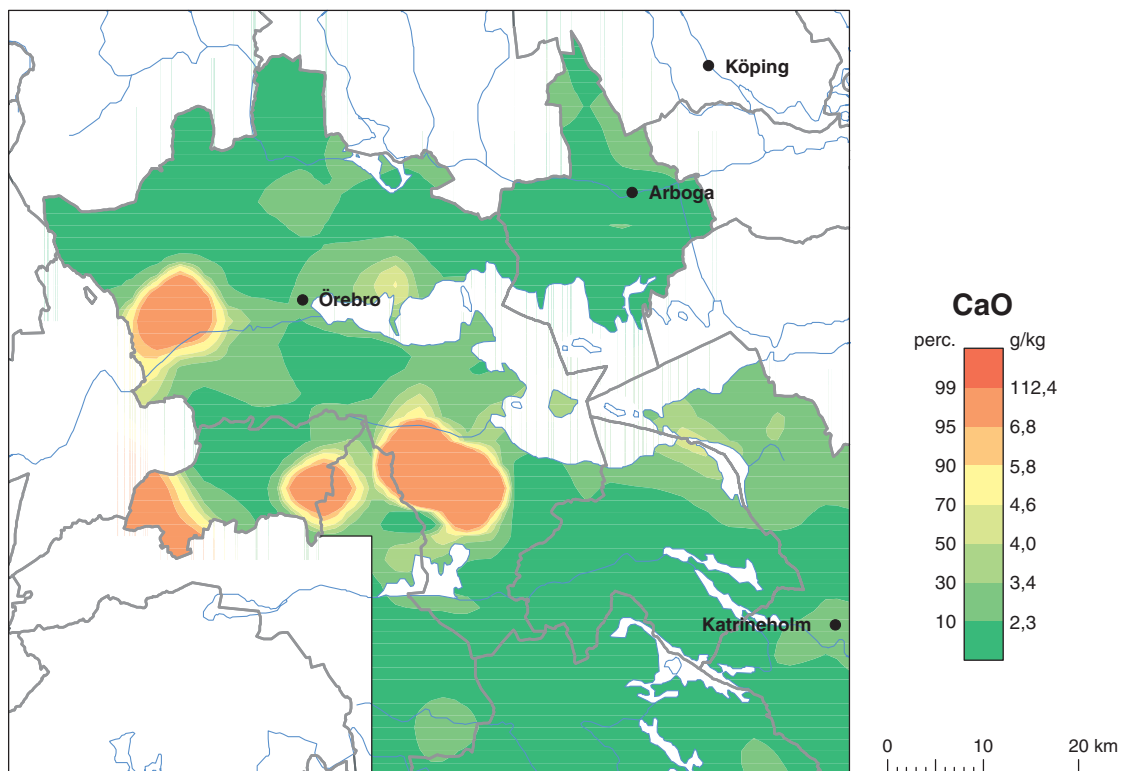
Total contents CaO, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter CaO, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach CaO, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Kadmium (Cd)

Kadmium är en tungmetall som geokemiskt påminner starkt om zink (Zn) och ofta hittas kadmium i mineralet zinkblände.

Halterna av Cd är låga eller mycket låga i den norra delen av undersökningsområdet. Förhöjda halter hittas i samband med alunskiffern samt i ett syd-sydvästligt stråk nedströms isriktningen. En punkt norr om Hjälmaren uppvisar förhöjd halt. Provpunkten sammanfaller med en sulfidmalm (Gamla Gruvan) där det har brutits bl.a. Pb och Ag.

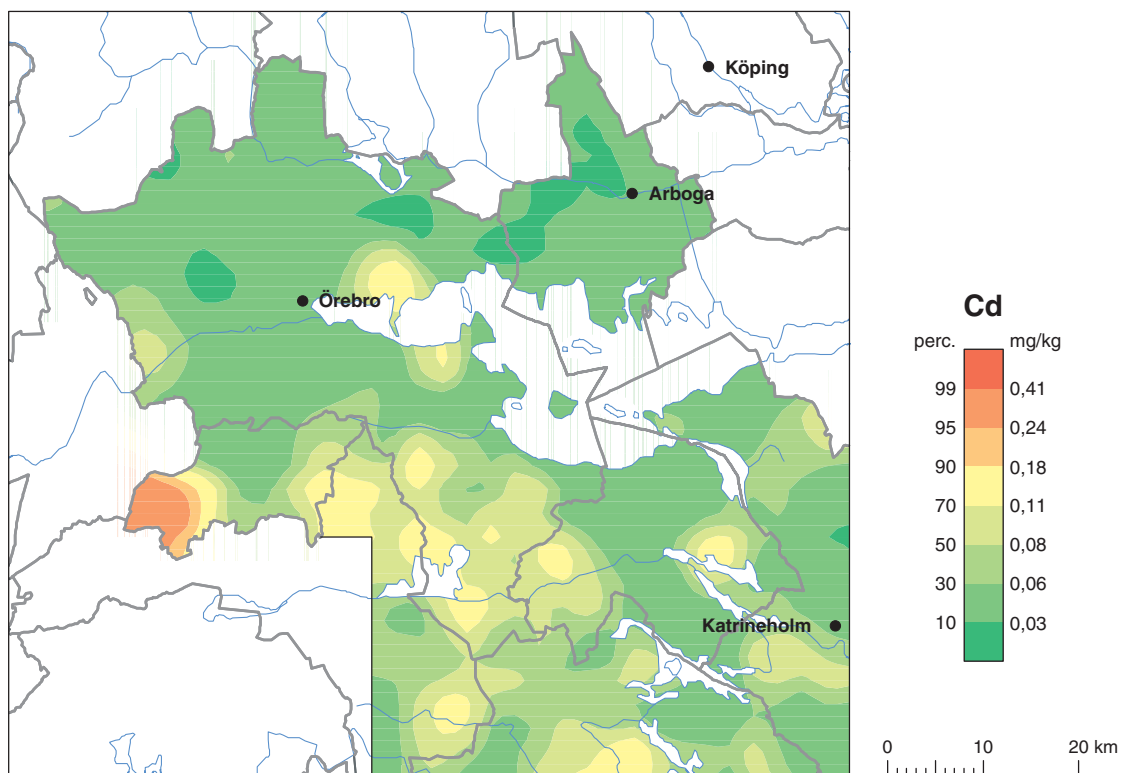
I förhållandet till andra element korrelerar Cd bäst med As, Sb, Mo, Tl, Cu, Ni och Zn.

Syralakbara halter Cd, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Cd, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Klor (Cl)

Grundämnet klor är, liksom As och Mo, ett av de få element som undersökts som normalt uppträder som negativt laddad jon, s.k. anjon, i geokemiska system.

Klorhalten i morän är förhöjd i den mellersta och södra delen av undersökningsområdet. Ungefär hälften av provtagningspunkterna (240 punkter) innehåller halter som överstiger medianhalten för landet (73 mg/kg).

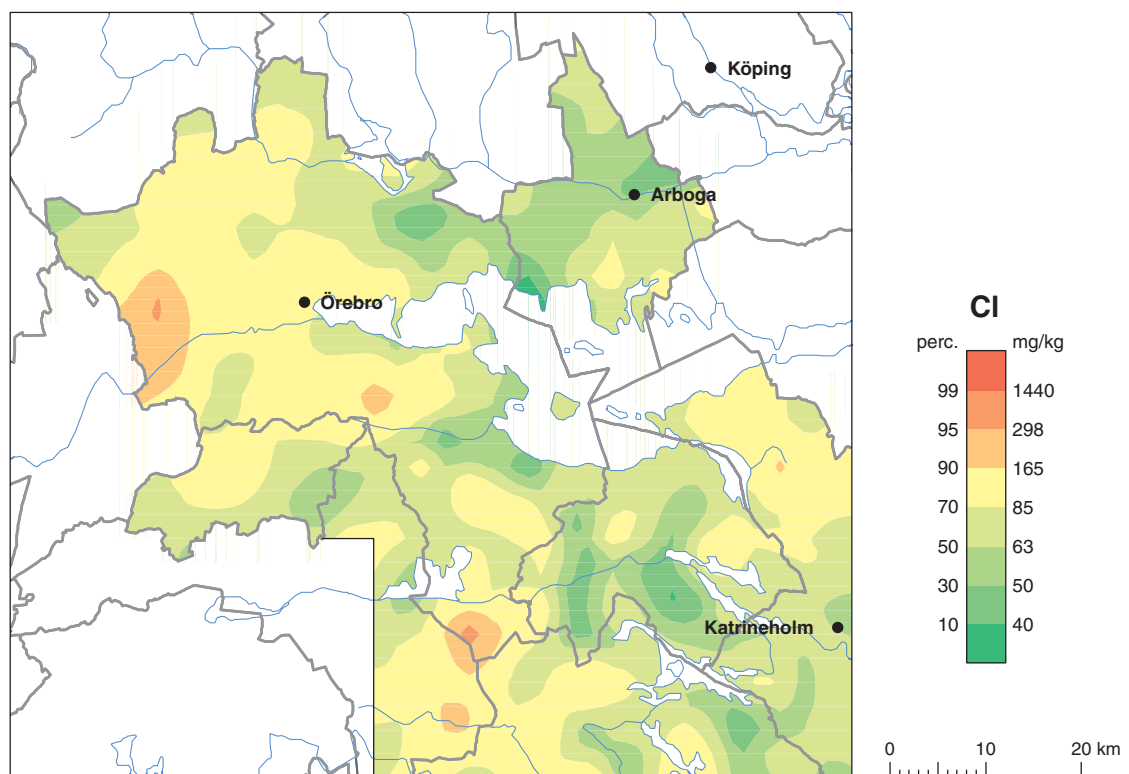
Statistiskt korrelerar Cl starkt med Al, Cr, Fe, K, Rb och V ($r > 0,6$).

Totalhalter Cl, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

Total contents Cl, method XRF

The map is based on 479 samples



Kobolt (Co)

Kobolt ingår i en grupp med sinsemellan starka eller relativt starka korrelationer: Al, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Ni och V, vilket gäller oberoende av analysmetod och undersökt område. Elementen är typiska för mafiska mineral, och utgör en vanlig association vid morängeokemiska undersökningar.

I undersökningsområdet är Co-halterna generellt låga. Enstaka mindre områden med förhöjda halter av syralakat Co förekommer. Dessa beror på mafiska inslag i berggrunden och ett likartat mönster kan ses för Fe, Mg och V. De är typiska element som förekommer i lättlösliga mafiska silikatmineral.

Korrelationen mellan total- och syralakade halter för Co är stark ($r=0,9$), och den procentuella lakbarheten generellt mellan 20 och 70 %, med en medellakbarhet på 44 %. Den senare gäller även för Mg, vilket indikerar att framför allt Mg-förande mineral är nära förknippade med Co. Starkaste korrelationerna ($r > 0,7$) uppvisar Co med Al, Cu, Fe, Mg, Ni och V. Detta gäller för både totalhalter och syralakade halter.

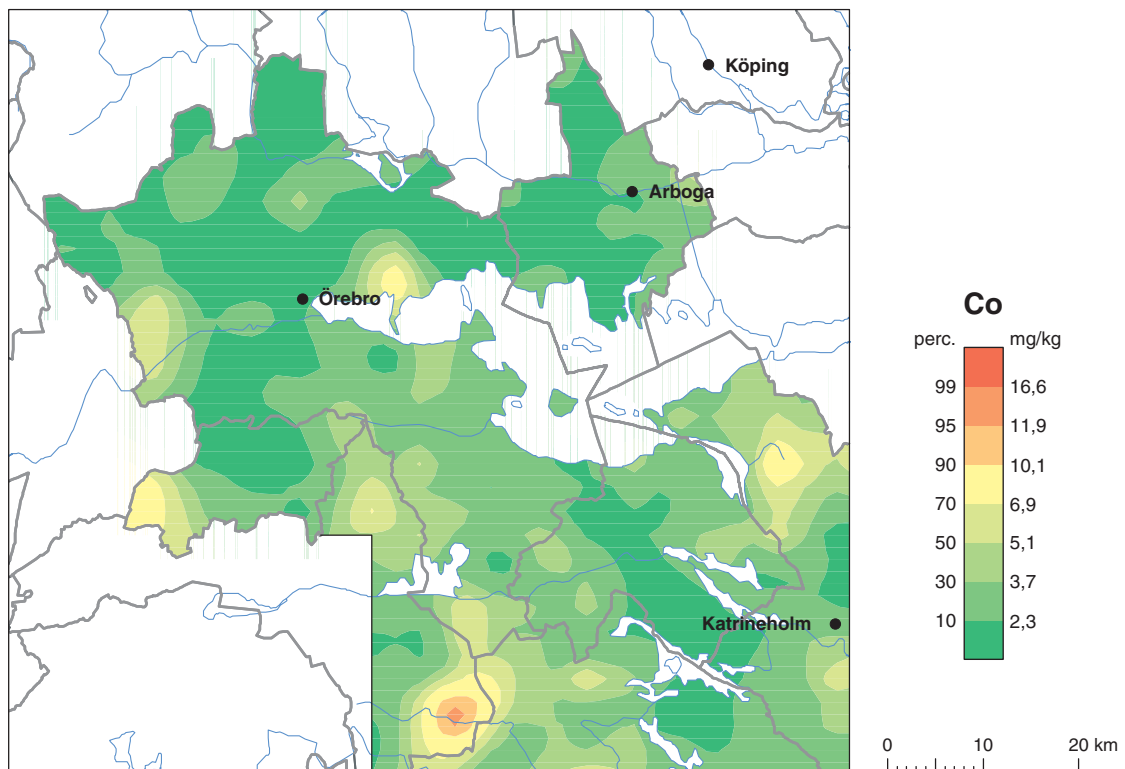
Observera att totalhalterna för Co på kartan redovisas med lokala percentiler eftersom totalhalterna understiger den 30:e percentilen i jämförelse med landets percentiler. Detta för att få bättre överblick av den regionala spridningen.

Syralakbara halter Co, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Co, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Krom (Cr)

Krom är ett element typiskt för basiska bergarter (basiska vulkaniter och djupbergarter). I undersökningsområdet är kromhalterna överlag låga, endast ett fåtal prov i den södra delen håller totalhalter som överstiger medianvärdet för landet. De salpetersyralakade halterna är även de relativt låga, men i jämförelse med landet i övrigt något förhöjda. Dessa svagt kromanomala prov ligger oftast ovanför eller i närheten av metasedimentära, glimmerrika bergarter (skiffrar, gråvackor). De unga sedimentbergarterna tycks däremot i regel vara ganska kromfattiga.

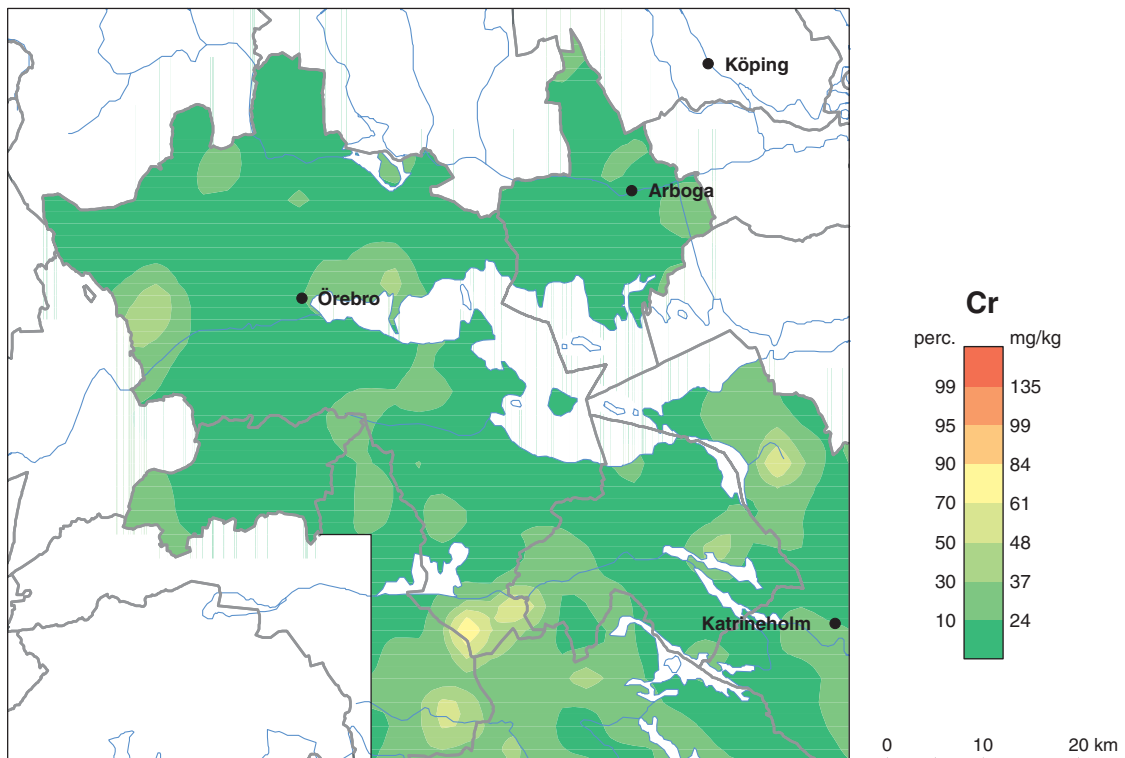
Associationen med de ”mafiska” elementen tyder på att Cr väsentligen ingår i Mg-förande mineral. Korrelationen mellan total- och syralakade halter är stark, vilket även gäller för Mg. Den procentuella lakbarheten för Cr är generellt något lägre än för Mg, vilket visar att Cr i moränerna till viss del ingår i något mer svårlakade mineral.

Totalhalter Cr, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

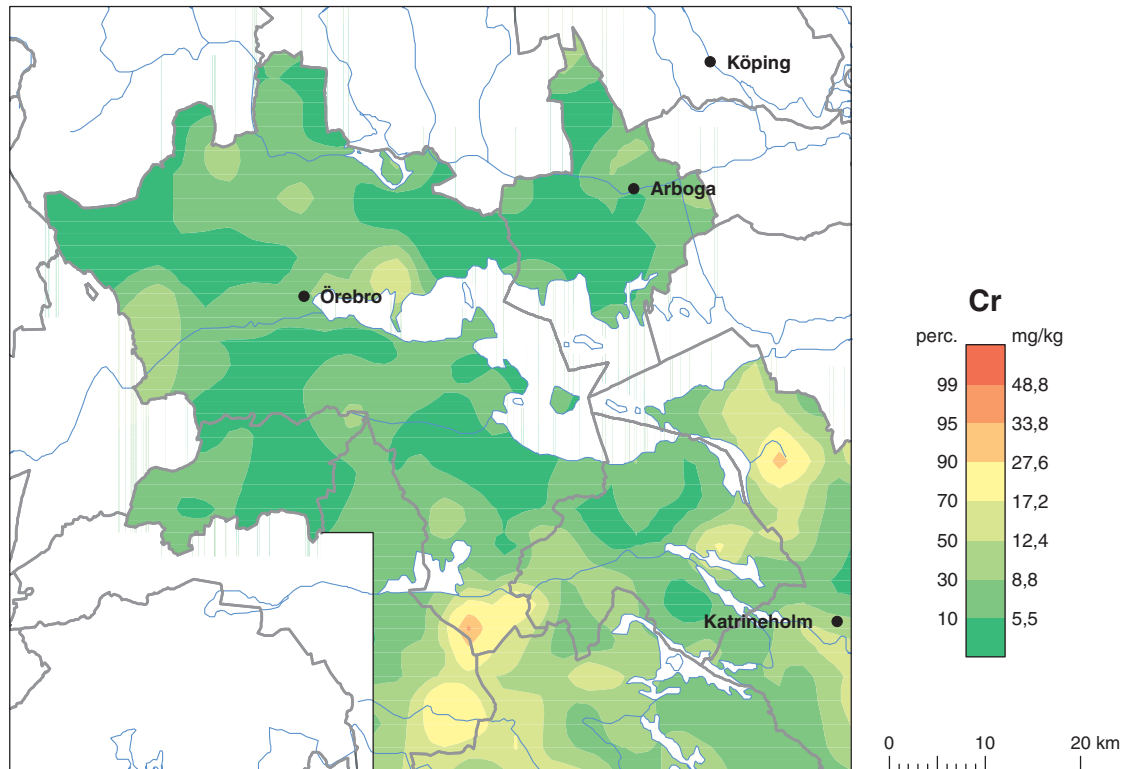
Total contents Cr, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter Cr, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Cr, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Koppar (Cu)

Koppar är ett av de viktigaste malmmineralen i Sverige. I SGUs mineralfyndighetsdatabas finns uppgifter om 28 Cu-mineraliseringar i området, varav mer än hälften har brutits. Ett tiotal av mineraliseringarna finns inom en ca 3,5 × 1,5 km stor zon vid Gåsta kopparmalmsgruva (Lindesbergs kommun). I detta område är moränen relativt Cu-fattig, däremot är halterna något högre vid kopparfyndigheterna i Finspångs kommun (Strömsborg 1 och 2 samt Ålsätter). De flesta kopparmineraliseringarna är sulfidmineraliseringar, i några förekommer järnoxider eller ädelmetaller.

Sett till landet i övrigt är kopparhalterna i större delen av området låga, de flesta ligger under medianvärdet för riket. Endast i det sydvästra hörnet finns en större regional anomali med halt-nivåer över 17 mg/kg. Något förhöjda halter kan inte med säkerhet kopplas till specifika bergarter, men det verkar finnas en viss koppling till några av de kambriska sedimentbergarterna, granodioriter, paragnejser och vissa diabaser.

Koppar ingår i samma association som bl.a. Ni, Fe, V, Cr, Co. En stor del av kopparanalyserna reflekterar därmed förekomst av någon form av mafiska mineral. Halt-nivåerna är nästan oberoende av analysmetod – den procentuella lakbarheten är med andra ord mycket hög (medianvärdet är 88 %). Koppar är sannolikt i regel starkt knutet till någon form av Mg-förande mineral, och andra undersökningar har visat att det finns en stark koppling mellan Cu-halt och andelen Mg-förande skikt-silikater i morän. I undersökningsområdet är korrelationen med Fe starkare än med Mg, och korrelationen med Ni mycket stark ($r=0.82$), se figur 4.

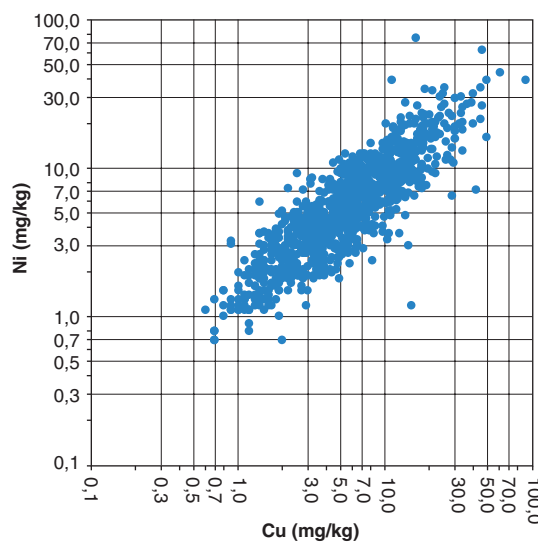
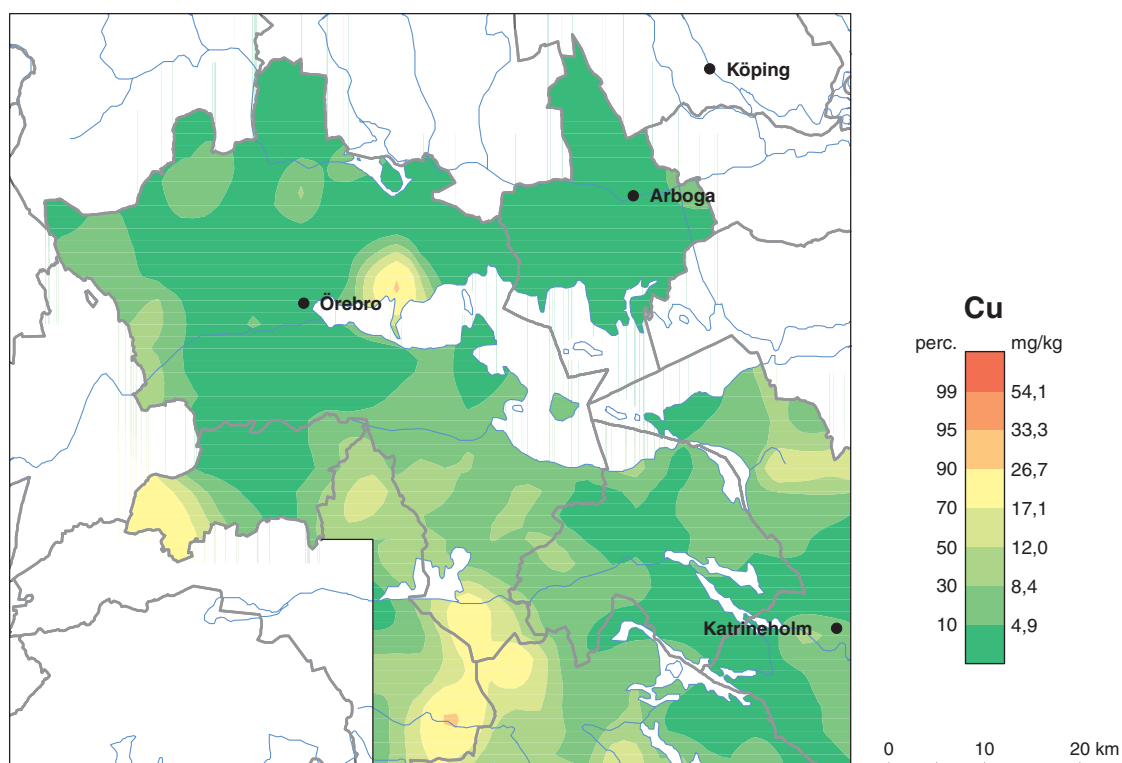


Fig. 4. Korrelation mellan salpetersyralakbart (7M) Ni och Cu, mg/kg.

Correlation between 7M nitric acid leachable contents of Ni and Cu, mg/kg.

Syralakbara halter Cu, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

*Partial leach Cu, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples*



Järn (Fe)

Den genomsnittliga halten av järn i den övre kontinentalskorpan är ca 3,1 %, och järn är därmed det fjärde mest förekommande grundämnet. Mineraliseringar är inte det vanligaste förekomst sättet för Fe, utan det ingår i så gott som alla bergarter i olika silikater, sulfider, samt oxider. Järn är ett synnerligen viktigt element och styr geokemin för en hel del andra element. I samband med bildandet av Fe-hydroxider t.ex. sker samtidigt adsorption eller absorption av ämnen såsom As, Ba, Mo, Cu, Ni, Zn m.fl. Dessutom är järn ett essentiellt grundämne för alla organismer men i alltför höga halter är ämnet giftigt. Av korrelationsanalysen framgår att Fe korrelerar starkt med ett stort antal element, $r > 0,6$ för Al, Ba, Be, Co, Cr, Cu, K, Li, Mg, Ni, Pb, Rb, Se, Ti, V, och Zn.

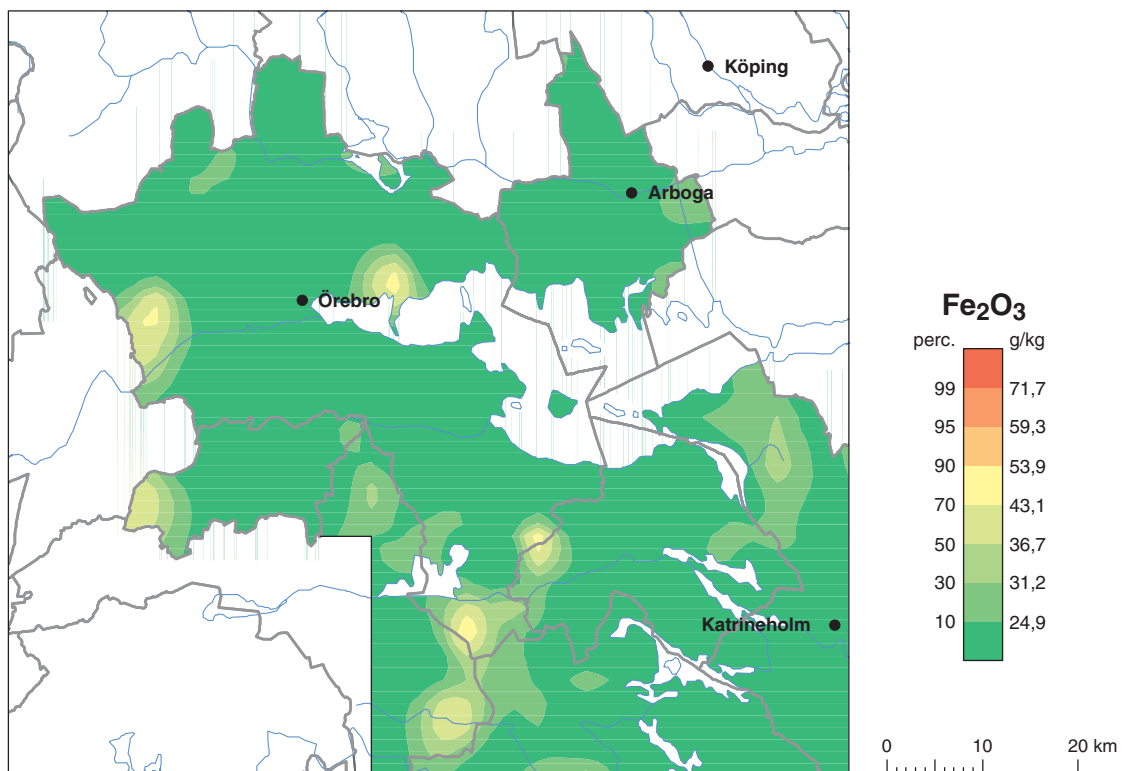
Av kartbilden över totalhalter framgår att hela undersökningsområdet visar låga halter med avseende på Fe, speciellt i de norra delarna. De syralakade halterna är dock betydligt högre, och den procentuella lakbarheten är därmed högre i undersökningsområdet än i många andra delar av landet. Detta betyder att järn visserligen förekommer i låga totalhalter, men i en form som är ovanligt lättlakad med 7M salpetersyra. Om man endast ser till den procentuella lakbarheten är korrelationen stark med Al, Mg, Mn, Ni och Zn.

Totalhalter Fe_2O_3 , metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

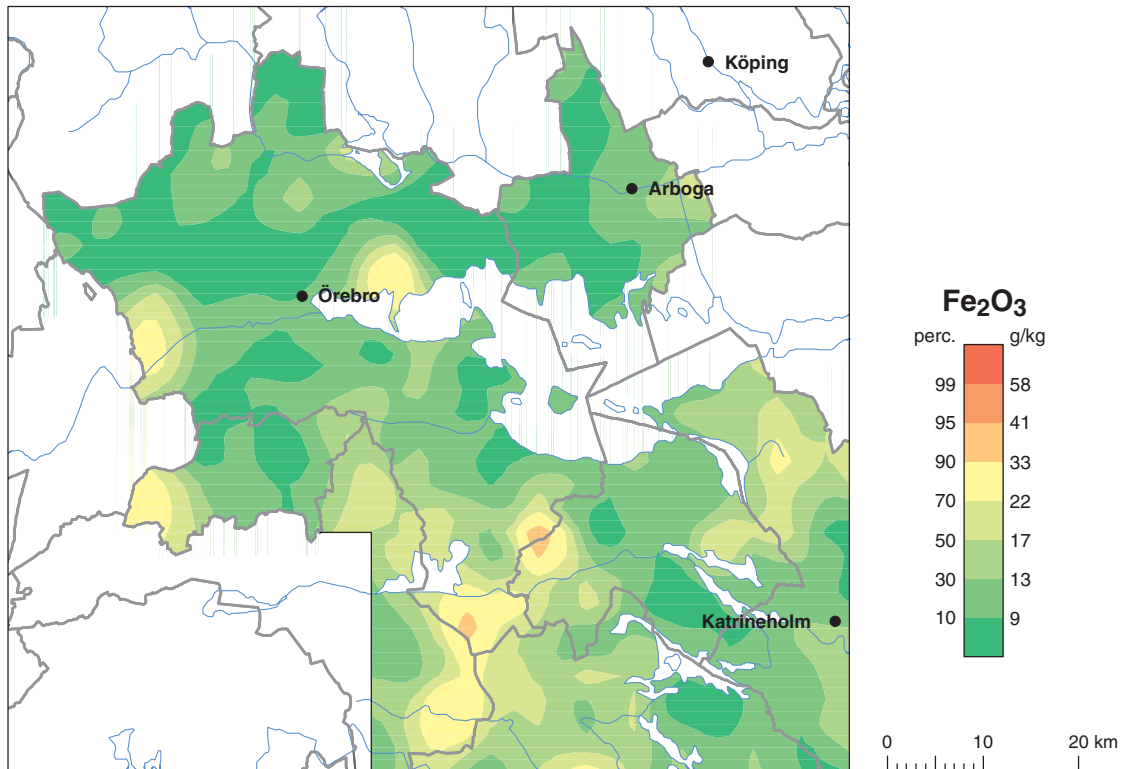
Total contents Fe_2O_3 , method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter Fe_2O_3 , metod 7M HNO_3 /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Fe_2O_3 , method 7M HNO_3 /ICP-MS
The map is based on 479 samples



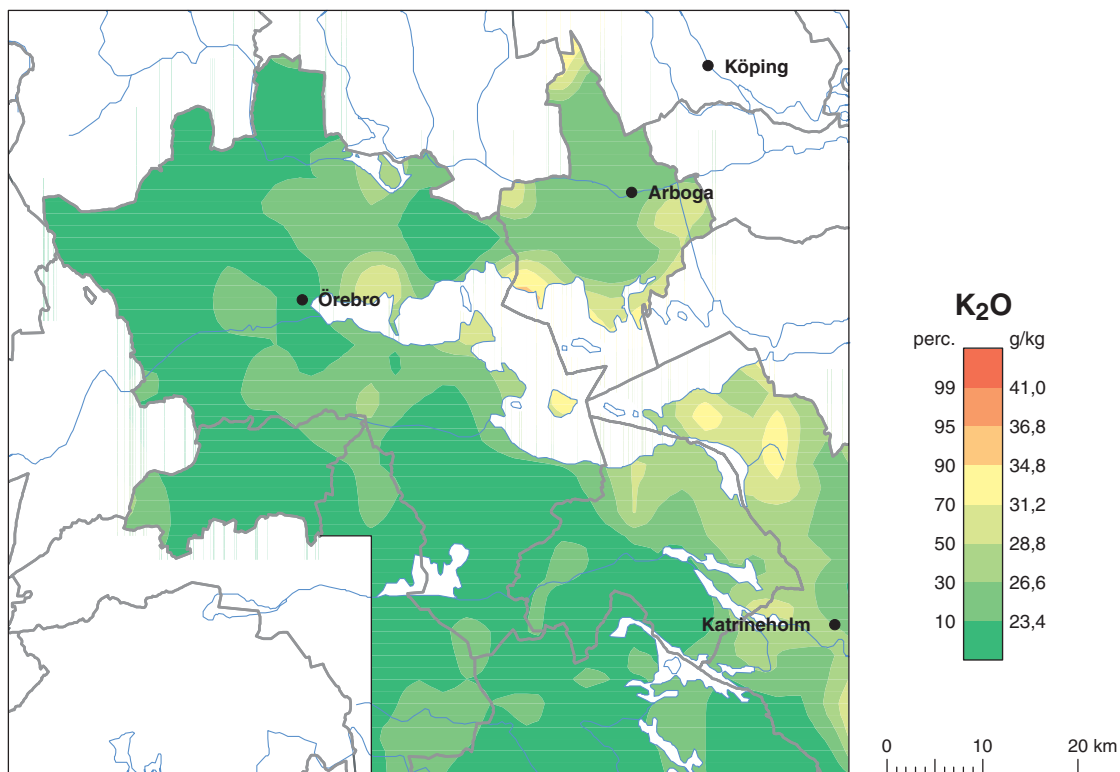
Kalium (K)

Kalium är ett huvudelement som vanligen förekommer i kalifältspat och biotit. Av kartbilderna framgår att det finns markanta skillnader mellan total- och syralakade halter. Generellt sett är totalhalterna mycket låga till låga. Endast ett par större områden med relativt riket sett normala halter uppträder i den östra delen. I motsats till detta visar kartan baserad på syralakning något förhöjda halter i framför allt den södra delen. Förklaringen till detta är att syralakningen är starkt selektiv: medan kalifältspat har en starkt begränsad förmåga att lösas av 7M salpetersyra eller kungsvatten, är lakningen av andra mineral (t.ex. biotit) mycket effektiv. Detta avslöjas också av korrelationsanalysen: medan totalhalterna av K korrelerar med framför allt Al, Ba, Mg och Rb (typiska för granitiska bergarter) kan salpetersyralakade halter associeras med Al, Ba, Be, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Rb, Ti och V. Av de sistnämnda har så gott som 100 % av Al, Mg, Fe, Ti samt K, konstaterats gå i lösning vid lakning med 7M salpetersyra av biotit, (Snäll & Liljefors 2000). Skiktmineralet biotit har den kemiska formeln $\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Al},\text{Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F})_2$ och Ti förekommer i procentnivåer (Snäll & Liljefors 2000).

Medianvärdet för procentuell lakbarhet är endast 4 %. Detta innebär att mineral som lakas lätt med 7M HNO_3 sällan är den helt dominerande förekomstformen. Det bör noteras att även den procentuella lakbarheten korrelerar väl med motsvarande parameter för huvudelementen Al, Mg, och Ti, vilket ytterligare stöder tolkningen att framför allt biotitnehållet avspeglas av de syralakade halterna.

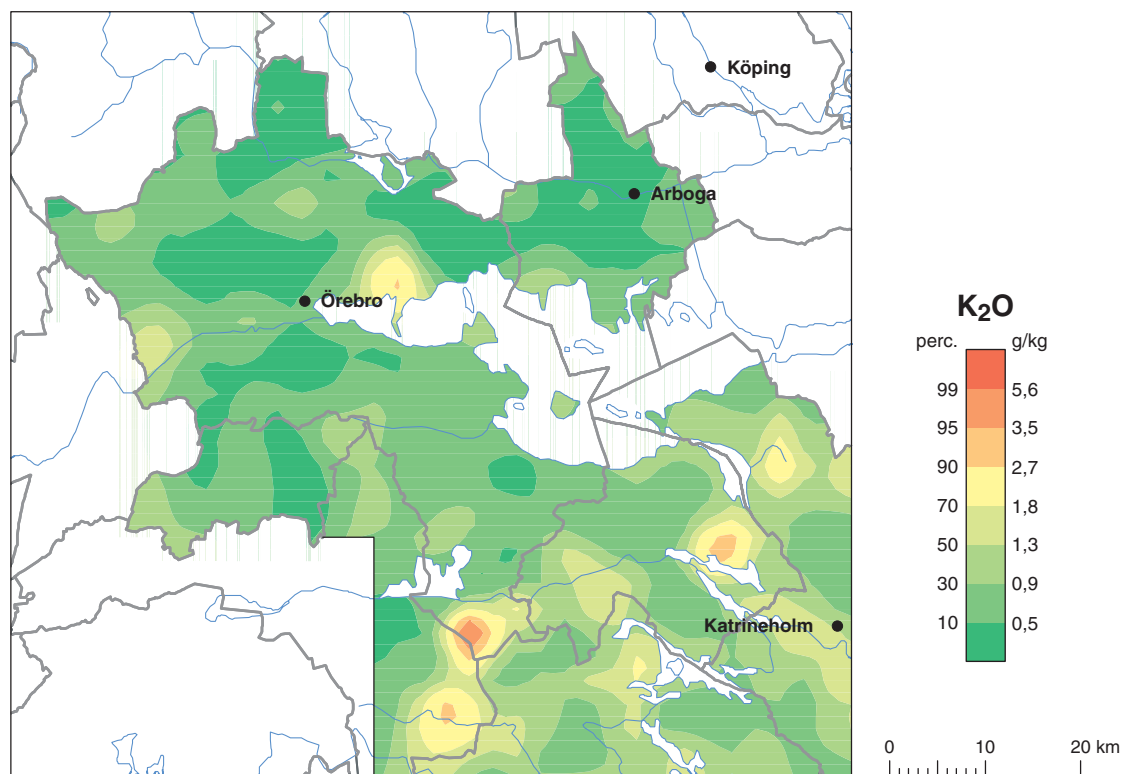
Totalhalter K_2O , metod XRF
Kartan baseras på 479 prov

Total contents K_2O , method XRF
The map is based on 479 samples



Syralakbara halter K_2O , metod 7M HNO_3 /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach K_2O , method 7M HNO_3 /ICP-MS
The map is based on 479 samples



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 $[(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th})(\text{PO}_4, \text{SiO}_4)]$. Lantan förekommer ofta tillsammans med spårelementen Y, Th och Sc.

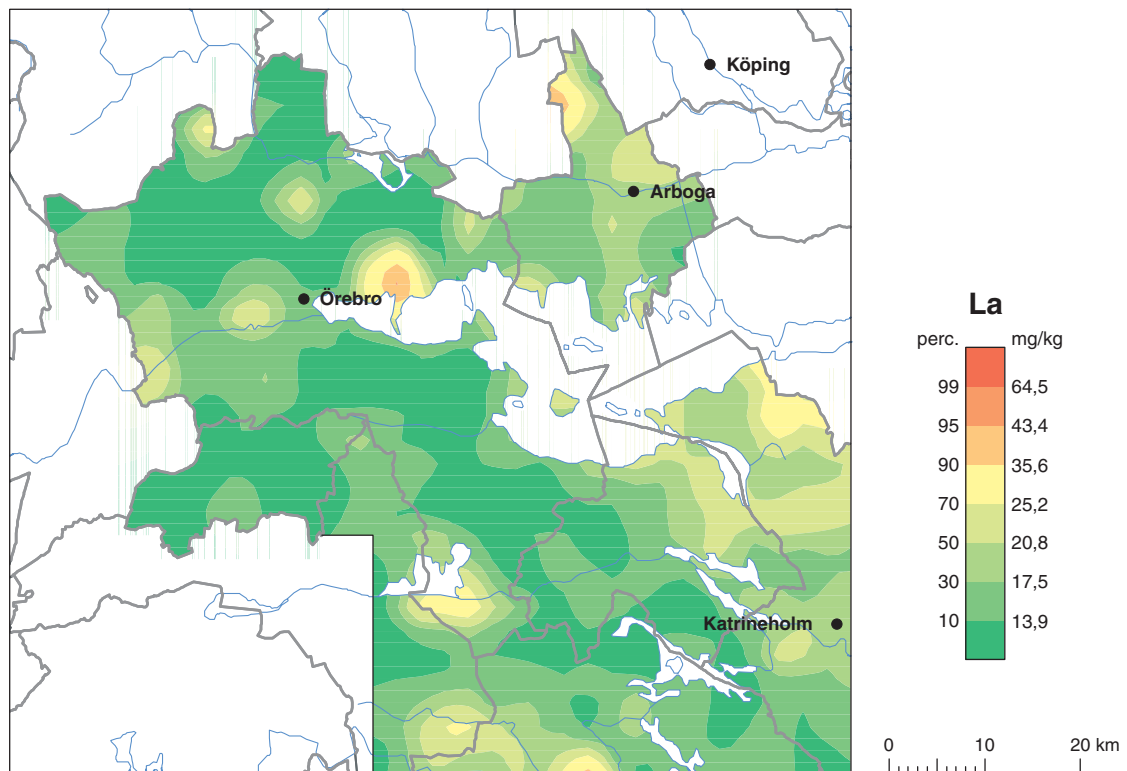
Analysering har endast skett av syralakade halter vilket ger ca 55 % av totalhalterna (Koljonen 1992). Inom området förekommer La i låga till normala halter i jämförelse med landet i övrigt. Mindre områden och enstaka punkter med förhöjda halter orsakas främst av olika typer av sura till intermediära djup- och ytbergarter. I relationen till andra element är korrelationen för La stark med syralakat Y, Th och Be men även signifikant för Fe, Mg, Na, Co och Zn.

Syralakbara halter La, metod 7M HNO_3 /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach La, method 7M HNO_3 /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Litium (Li)

Även om alkalimetallen litium uppträder i flera olika mineral, såsom pyroxener, turmalin och lepidolit, kontrolleras de uppmätta halterna väsentligen av biotitnehållet i moränerna. Endast de syralakade halterna har undersökts, men lakbarheten anses normalt vara relativt hög för Li, ca 70 % med kungsvatten (Koljonen 1992). Även i denna undersökning visar den starka korrelationen med huvudelementen Al, K, Fe, Ti att biotit är den sannolika huvudkällan till uppmätta halter.

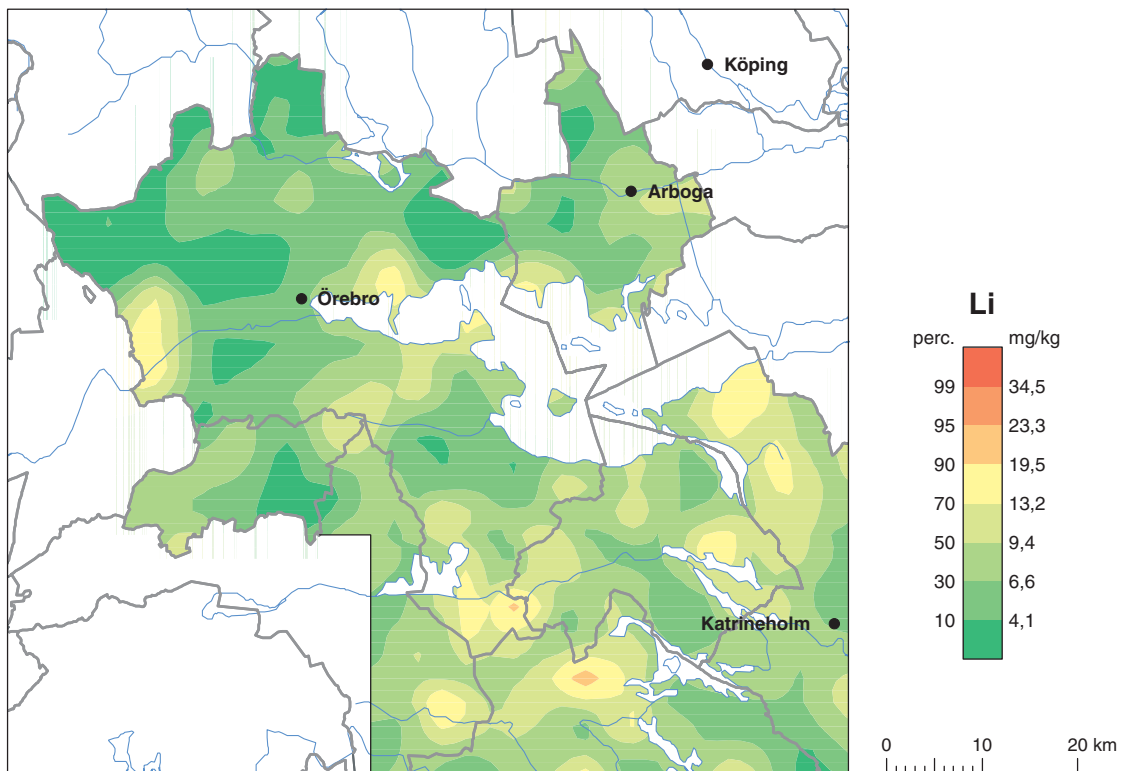
Generellt är haltnivåerna låga–normala i området, och endast enstaka punkter uppvisar förhöjda halter.

Syralakbara halter Li, metod 7M HNO₃/ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Li, method 7M HNO₃/ICP-MS

The map is based on 479 samples



Magnesium (Mg)

Huvudelementet magnesium förekommer i basiska bergarter i högre halter än i de flesta andra bergarter, och normalt tillsammans med element såsom Fe, Cr, Ni m.fl. Mineralogiskt uppträder Mg ofta tillsammans med Fe i olika silikater, oxider m.m., men även ensamt i t.ex. karbonater (dolomit). I morän visar analyser av såväl total- som syralakade halter oftast en association med Fe, Al, Ba, K och Ti samt Zn, V, Co och Cr. Vid syralakning ingår dessutom Be. Associationen till mafiska element förstärks av en negativ korrelation till totalhalter av Si.

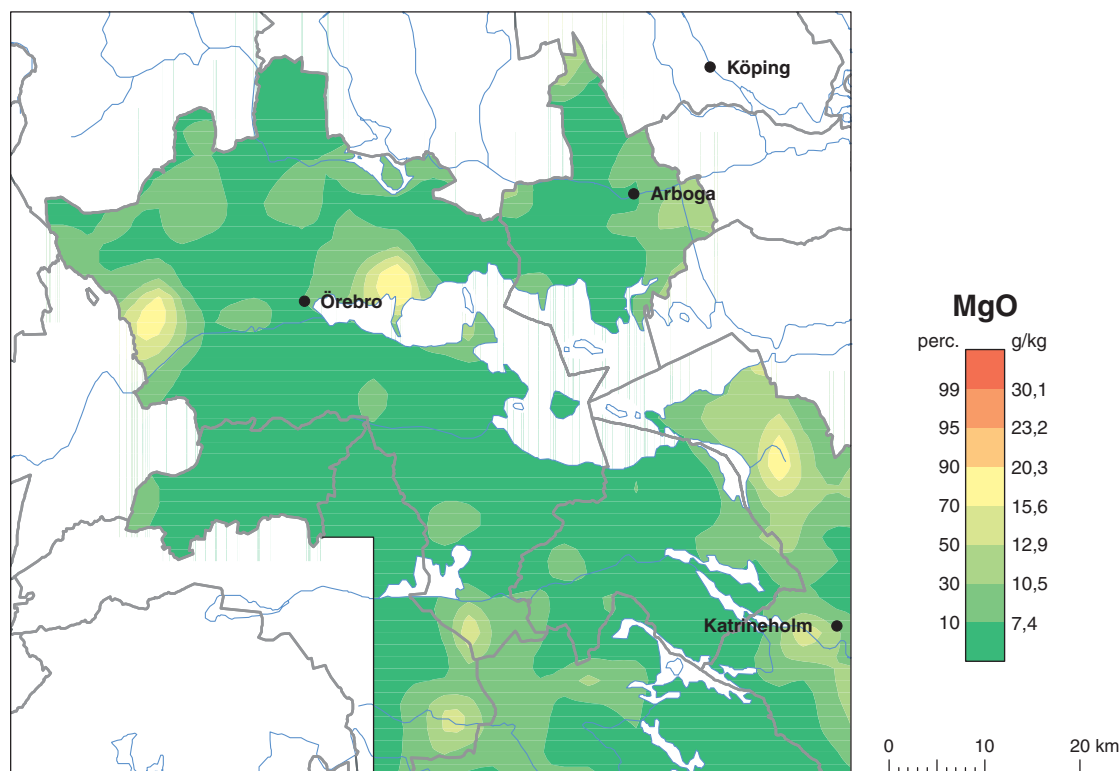
I undersökningsområdet är både totalhalterna och de syralakade halterna låga–normala och uppvisar ett starkt likartat mönster. Den procentuella lakbarheten är ganska låg i jämförelse med landet i övrigt. Oftast lakas mindre än 35 % av Mg vid syralakning och medelvärdet av procentuell lakbarhet för undersökningsområdet ligger på 43 %. Korrelationen för procentuell lakbarhet är mycket god ($r > 0,6$) med huvudelementen Al, Ti, Mn och Fe, vilket visar på en gemensam mineralogi bakom de salpetersyralakade halterna.

Totalhalter MgO, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

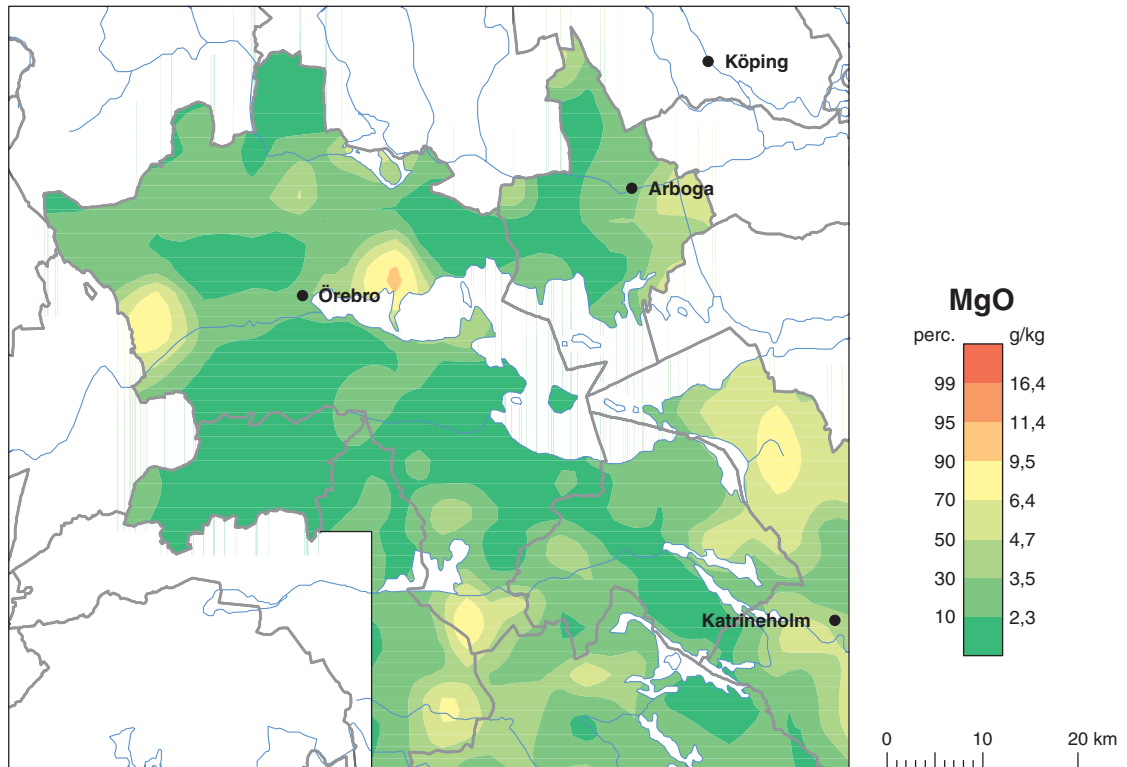
Total contents MgO, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter MgO, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach MgO, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Mangan (Mn)

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). Mangan är liksom Fe ett grundämne som har stark betydelse för mobilitet för andra element genom Mn-hydroxidens förmåga att adsorbera dessa.

Mangan uppträder i undersökningsområdet på ett sätt som starkt påminner om Fe, dvs. med generellt låga totalhalter och högre syralakade halter i jämförelse med landet i övrigt. Detta innebär, att precis som för Fe, den procentuella lakbarheten är ovanligt hög. Förhöjda manganhalter återfinns i anslutning till delar av de unga sedimentbergarterna (alunskiffer och kalksten) samt granodioriter söder om dessa. Placeringen av de enskilda punkterna gör det mindre sannolikt att proven ovanför granodiorit avspeglar lång transport av morän (material från de unga sedimentbergarterna). Mer troligt är att de avspeglar lokala förhållanden i berggrunden.

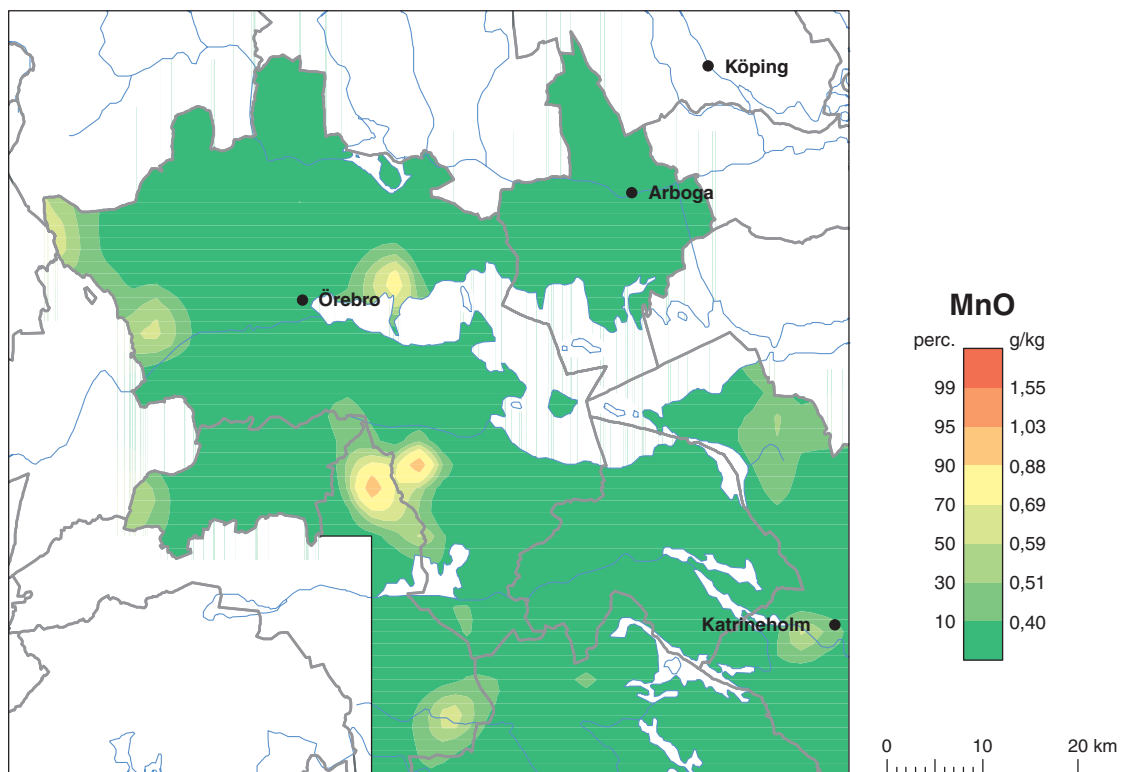
I förhållandet till andra undersökta element korrelerar Mn väl med Co och Fe. I övrigt finns även signifikanta korrelationer med de s.k. mafiska elementen (Al, Ni, etc.) men koefficienterna med dessa är lägre än de generellt är för gruppen inbördes, och speciellt mellan Fe och nämnda grupp. Detta tyder på att Mn även förekommer i andra former än i den typiska mafiska associationen.

Totalhalter MnO, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

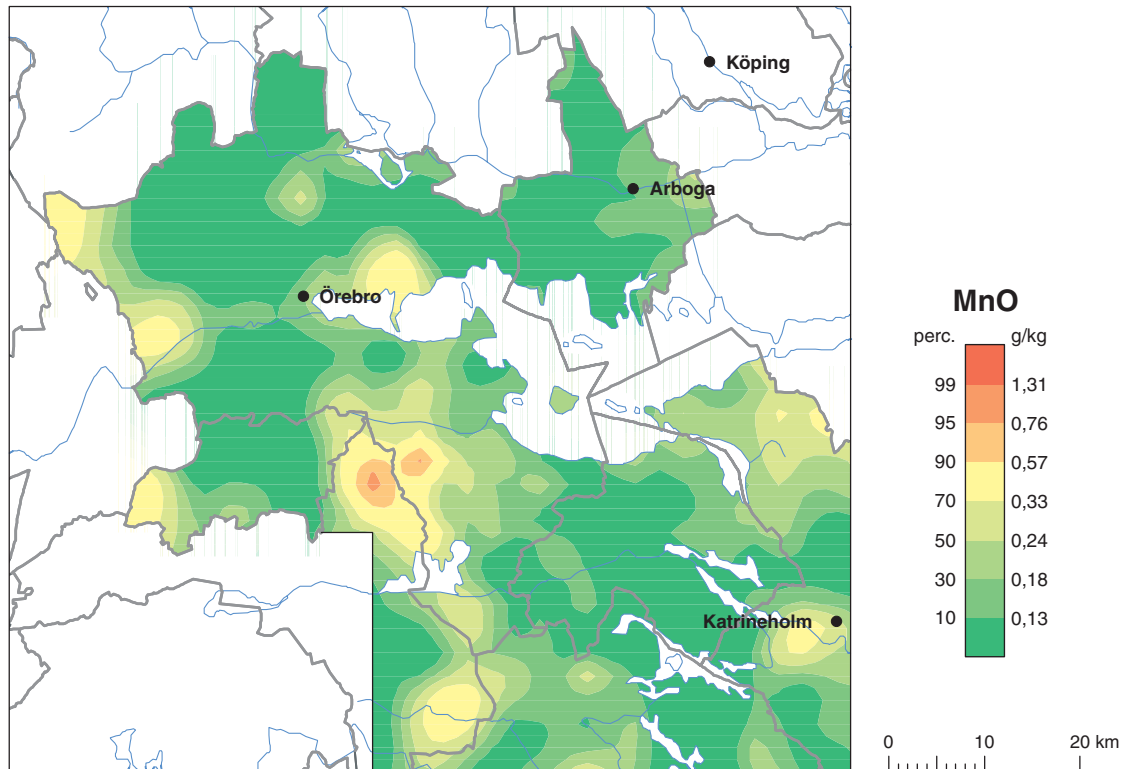
Total contents MnO, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter MnO, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach MnO, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Molybden (Mo)

Spårelementet och metallen molybden uppträder normalt i de flesta bergarter i haltintervallet 1–2 mg/kg. Den huvudsakliga förekomstformen är molybdenglans (MoS₂), men Mo kan även uppträda i låga koncentrationer i bland annat andra sulfider och silikatmineral. Geokemiskt följer Mo och W samma mönster, och Mo uppträder ofta i W-mineral.

Molybdenglansen vittrar under sura förhållanden endast marginellt, och frigjort Mo adsorberas snabbt på lermineral och organiska sediment. Den begränsade vittringen leder även till att urlakningshorisonten i podsoljordar ibland innehåller anomala mängder MoS₂ om förutsättningarna, ett ursprungligt MoS₂-rikt modernmaterial, är de rätta. Vid ökande pH-värden ökar den biotillgängliga delen av Mo snabbt, och vid pH över 6,5 kan toxiska effekter i växter eller växtätare inträffa p.g.a. överskott av Mo. Under höga pH-förhållanden är också mobiliteten (som anjonen molybdat, MoO₄⁻) förhöjd.

Molybden har analyserats med såväl XRF som ICP-MS men halterna är låga för XRF varför endast informationen om salpetersyra- och kungsvattenlakad halt ger tolkningsbar information.

Kungsvatten är något effektivare än 7M salpetersyra för lakning av Mo, den senare ger ungefär 70 % av kungsvattenlakad halt. Däremot är korrelationen mycket god, och för tolknings syften kan bägge lakningarna anses likvärdiga.

Haltnivåerna i undersökningsområdet understiger i regel 1 mg/kg. Undantagen utgörs av de moräner som kan antas vara påverkade av framför allt alunskiffer. Här är halterna betydligt

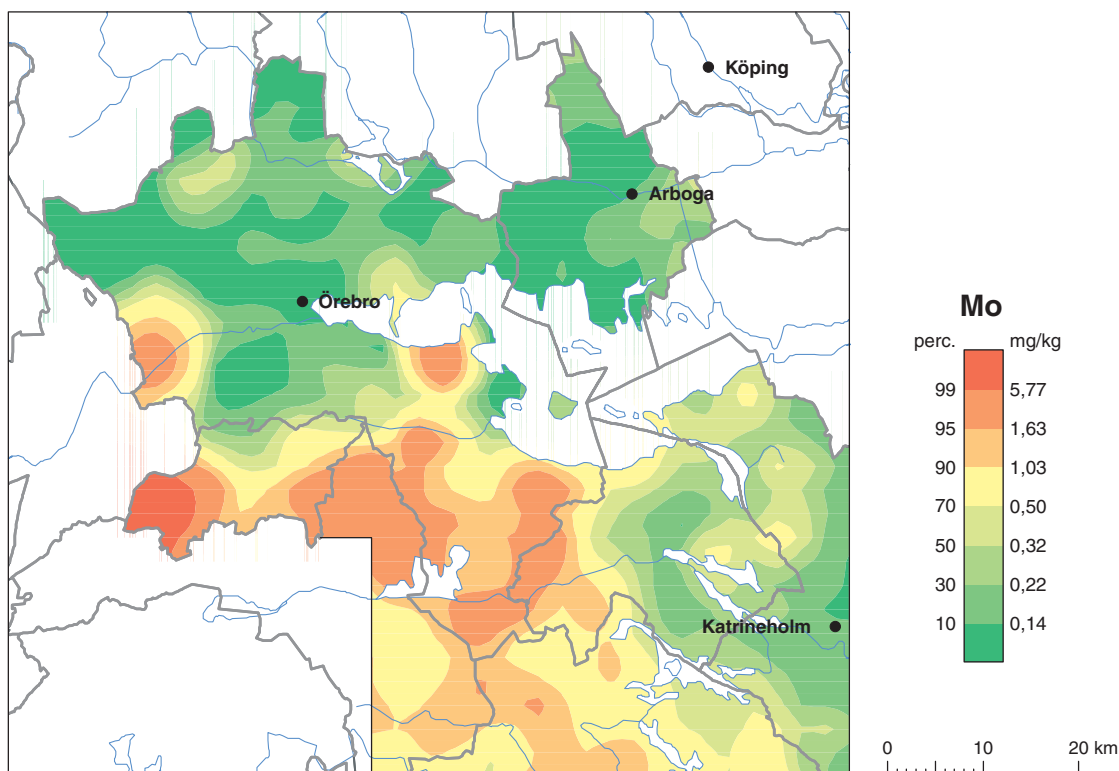
högre, som högst 17 mg/kg. Även söder om de sedimentära bergartssekvenserna uppträder förhöjda halter (2–9 mg/kg) och även dessa kan antas bero på inslag av alunskiffer, men en del härstammar sannolikt från lokala bergarter, i huvudsak olika graniter. Korrelationen är stark med framför allt Tl, Sb, Cd och As, vilket stöder tolkningen om alunskiffer som orsak till förhöjda halter av Mo. Noteras bör att pH i de två molybdenrikaste moränproven överstiger 6,1.

Syralakbara halter Mo, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Mo, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Natrium (Na)

Natrium är mest känt som en komponent i 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. Gemensamt för dessa är att lakbarheten är mycket låg, även med 7M HNO₃ och kungsvatten. I området ligger den procentuella lakbarheten för samtliga prov mellan 0,1 och 2,1 %, med ett medelvärde på 0,45 %. Detta tyder på att Na väsentligen förekommer i plagioklas, eftersom andra mineral har högre lakbarhet (Snäll & Liljefors 2000). Samma resultat rapporteras för övrigt från undersökningar av morän i Finland (Koljonen 1992).

Både totalhalterna och de syralakade halterna är låga–mycket låga i området. Stora delar av undersökningsområdet uppvisar halter motsvarande den 10:e percentilen i jämförelse med landet i övrigt.

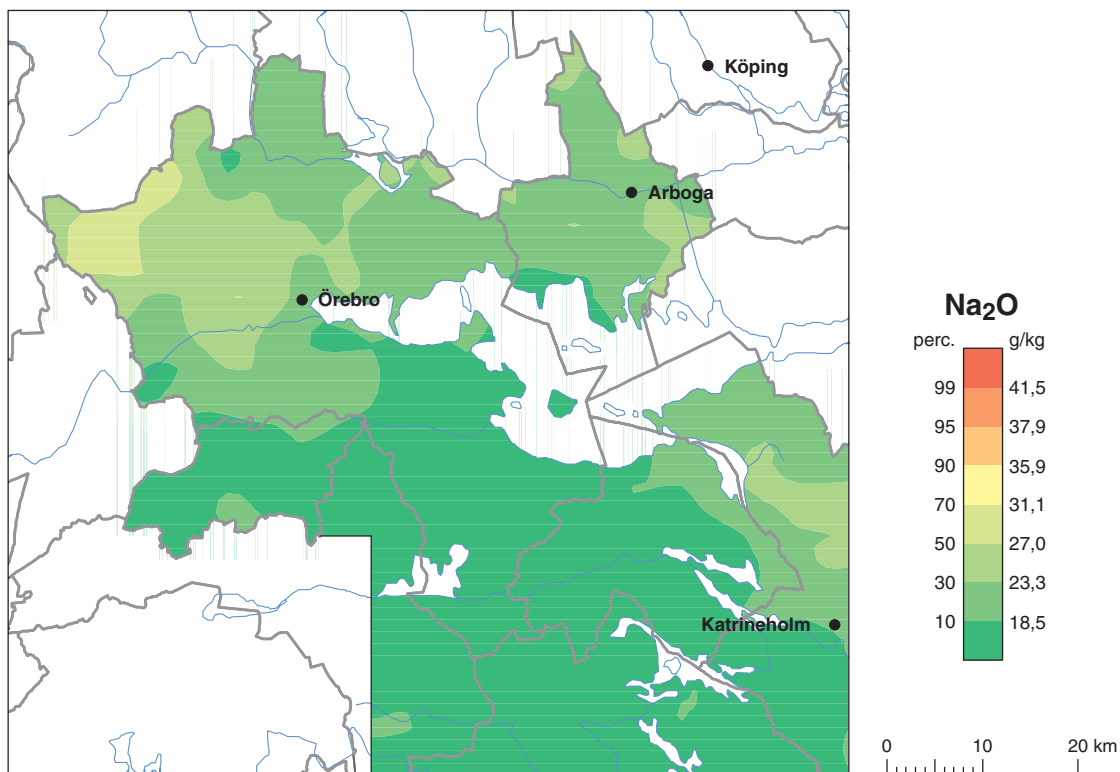
För totalhalt av Na är korrelationen stark med Sr ($r > 0,70$) samt negativ med Zr. Syralakat Na korrelerar väl med syralakat La, Mg, Ti och Y. Korrelationen mellan totalhalt och salpetersyralakat halt är svag.

Totalhalter Na_2O , metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

Total contents Na_2O , method XRF

The map is based on 479 samples

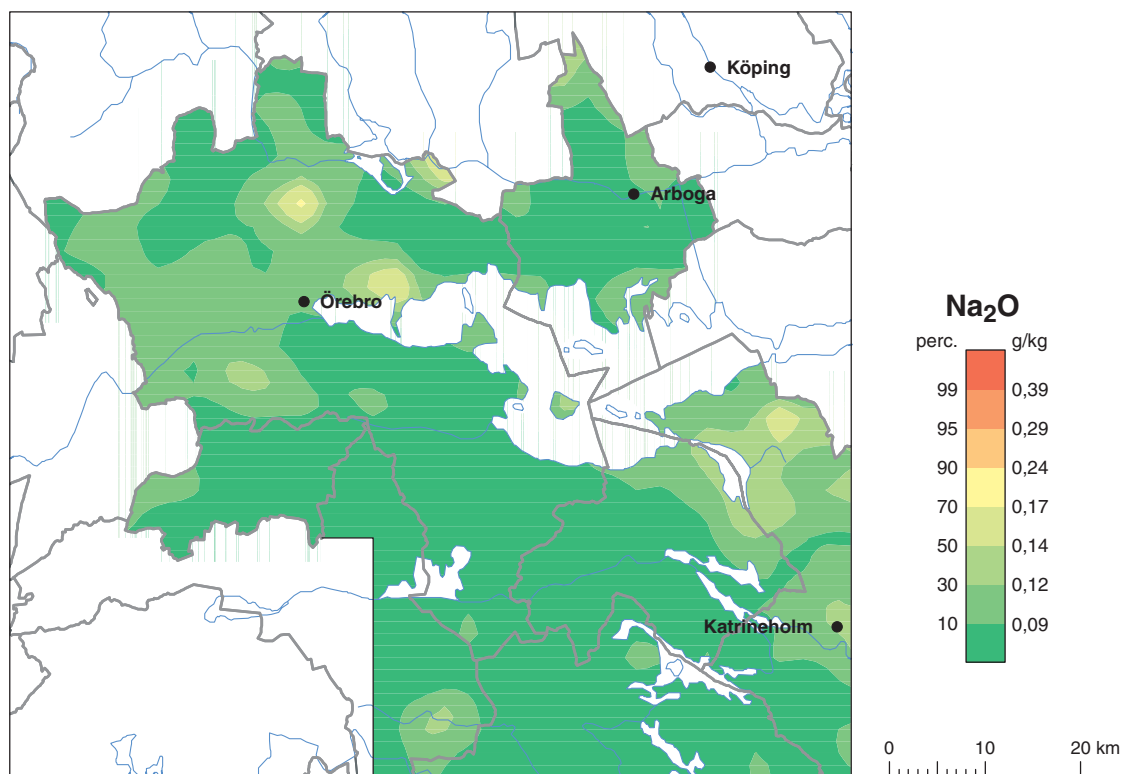


Syralakbara halter Na_2O , metod 7M HNO_3 /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Na_2O , method 7M HNO_3 /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Nickel (Ni)

Spårelementet nickel är starkt förknippat med förekomst av ultrabasiska bergarter, där halter kan uppgå till 2 000 mg/kg. Nickel ingår i såväl lättvittrade sulfid- som silikatmineral, och löst Ni tenderar att adsorberas till hydroxider och oxider av Fe och Mn. Geokemiskt följer Ni såväl Fe som Mg, och ersätter ofta dessa i mineralgitter.

Halterna av såväl syralakat Ni som totalhalter är generellt låga eller normala i området. Syralakade halter är förhöjda i framför allt den södra delen av området. Nickel ingår som en komponent i den mafiska associationen med framför allt Fe, Mg, Co, Cr, Cu och V. Korrelationen med Zr är starkt negativ. I SGUs databaser finns uppgifter om fem nickelmineraliseringar, samtliga från Finspångs kommun (Ruda respektive Lillsjön), av vilka det har bedrivits gruvdrift i fyra. Dessa mineraliseringar återfinns i anknytning till en svag nickelanomali i moränen. Betydligt högre halt återfinns däremot ca 14 km västerut, där ett prov innehöll 63 mg kg^{-1} Ni samt över 40 mg/kg Cu. Detta prov är taget ovanför en ca 150 m bred diabas. Även i övrigt kan samma bergarter som ger upphov till förhöjda kopparhalter anses ge anomala halter Ni.

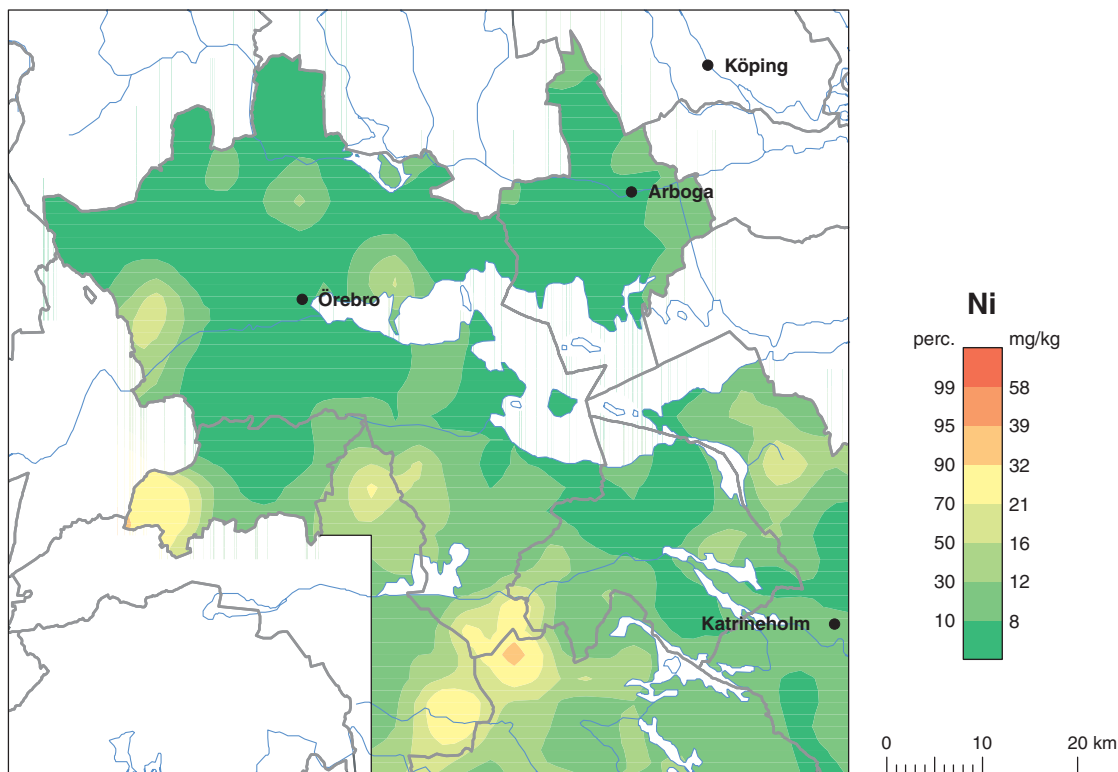
Det mest utmärkande draget för Ni är den procentuella lakbarheten – i området norr om Hjälmaren ligger denna sällan över 50 %, söder därom är förhållandet omvänt och i många prov 70 % eller högre. Den höga procentuella lakbarheten tycks vara knuten till framför allt metasedimentära bergarter (glimmerskiffrar, paragnejser), men även vissa av de unga kambriska och ordoviciska bergarterna.

Totalhalter Ni, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

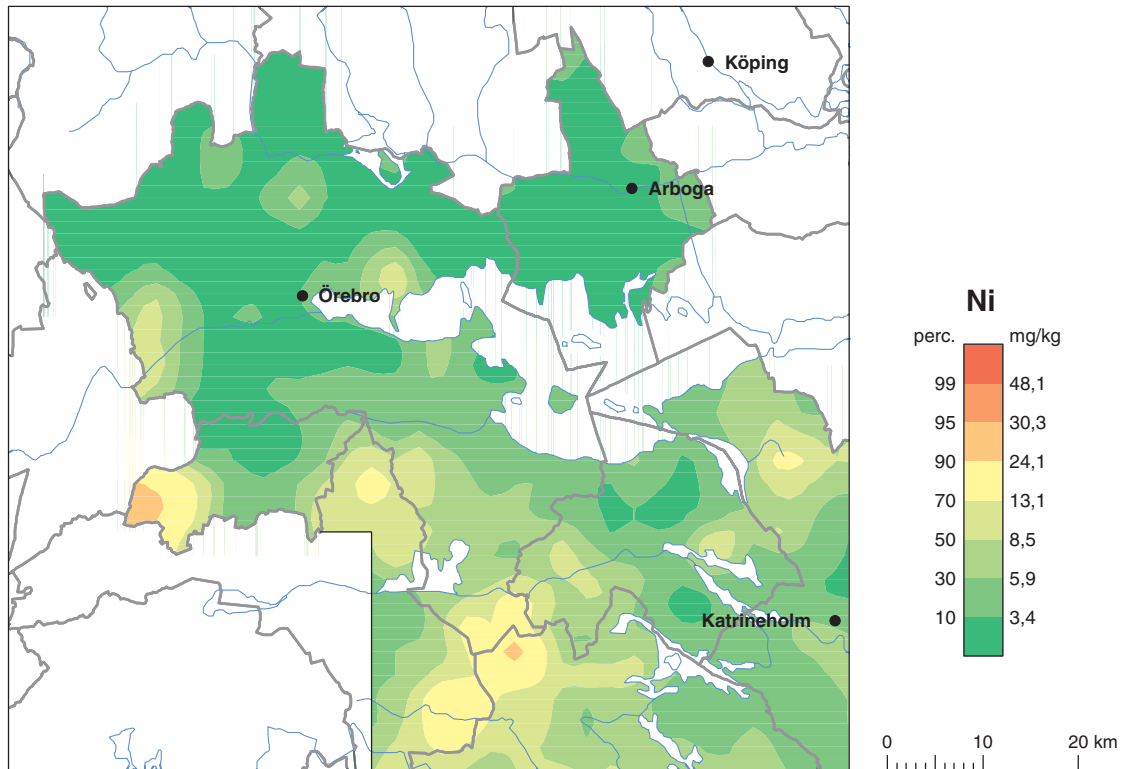
Total contents Ni, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter Ni, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Ni, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Fosfor (P)

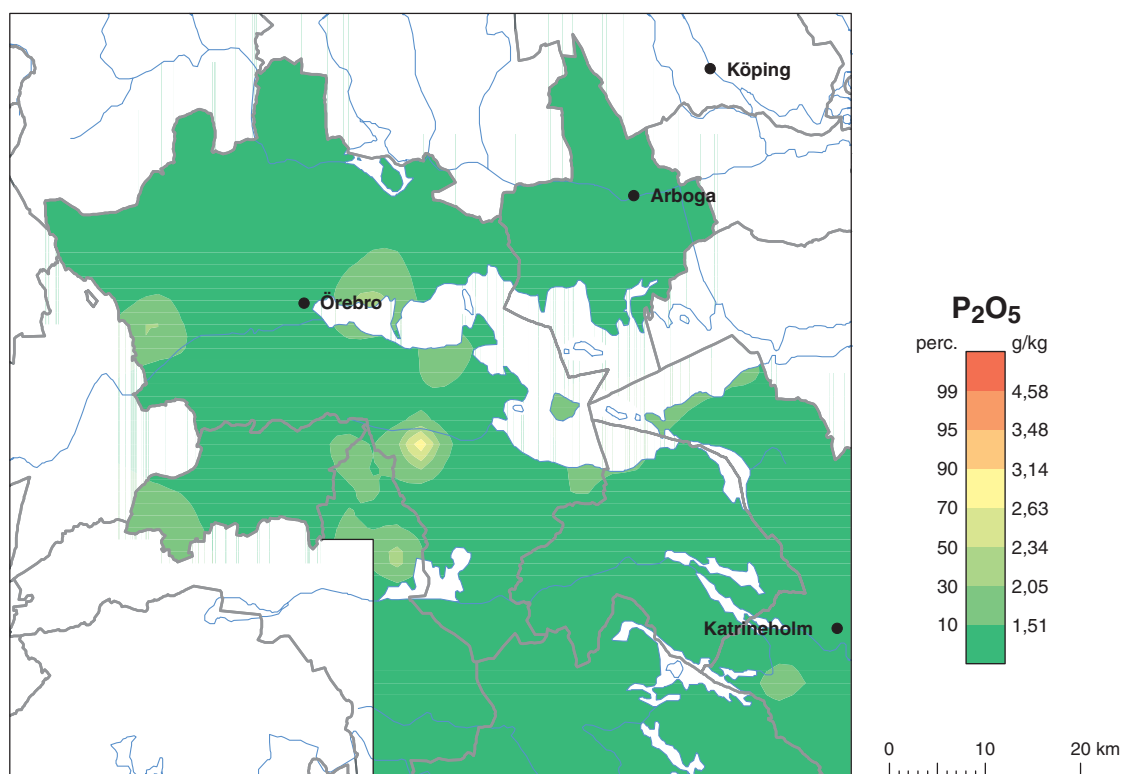
Fosfor är ett viktigt näringsämne och förekommer i Sveriges berggrund väsentligen i form av apatit (se även Na ovan), men även som monazit och xenotim. I berggrunden förekommer apatit i stora mängder i samband med järn-apatitmalm och mineraliseringar.

I undersökningsområdet följer totalhalterna och syralakade halter ett så gott som identiskt mönster, och haltnivåerna är likartade för hela området. Den procentuella lakbarheten är mycket hög (oftast över 70 %), vilket visar att huvudsaklig förekomstform även i morän sannolikt är apatit. Eftersom hela området är mycket fosforfattigt i förhållande till landet i övrigt presenteras fosforkartan med lokala percentiler.

I förhållande till övriga element korrelerar syralakat P främst med Y, vilket tyder på att monazit är den dominerande fosforkällan i området eller att Y ingår i apatit.

Totalhalter P_2O_5 , metod XRF
Kartan baseras på 479 prov

*Total contents P_2O_5 , method XRF
The map is based on 479 samples*



Bly (Pb)

Bly är en metall som i naturen förekommer i flera olika mineralformer. I samband med mineraliseringar uppträder Pb som blyglans (sulfid). Andra vanliga förekomstsätt är t.ex. fältspat, där Pb ersätter K, Sr eller Ca i kristallgittret. Generellt innehåller granitiska bergarter ca fyra gånger högre halter än basiska bergarter såsom gabbro.

I SGUs fyndighetsdatabas finns 17 blymineraliseringar från området och av dessa har 11 varit en aktiv gruva. Alla utom tre ligger i norra delen av Örebro kommun. I den södra delen finns fyndigheter nordväst om Igelfors. I samtliga blymineraliseringar förekommer Pb tillsammans med en eller flera andra metaller (Zn, Cu, Ag och Sb).

I undersökningsområdet är såväl total- som syralakade halter vanligtvis normala, dvs. i intervallet 30:e till 70:e rikspersentilen. Förhöjda halter förekommer framför allt i den södra delen av området, ofta i anknytning till metasedimentära bergarter, men även vid olika sura och intermediära djupbergarter. De kambriska och ordoviciska sedimentbergarterna har överlag inte gett förhöjda blyhalter.

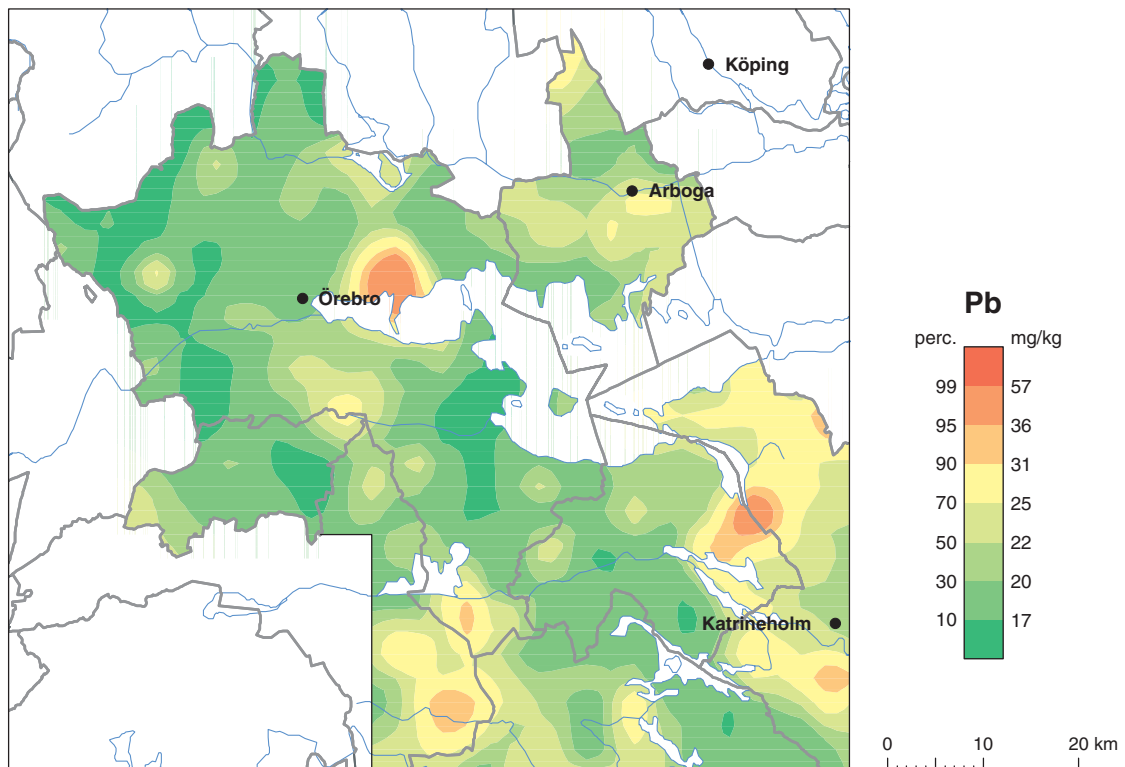
Syralakat Pb korrelerar relativt väl med totalhalter, samt med syralakat Fe, V och Zn. Totalhalterna av Pb följer samma mönster. Områden med blymineraliseringar utmärker sig inte speciellt i morängeokemin, även om mindre förhöjningar uppträder i enskilda punkter.

Totalhalter Pb, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

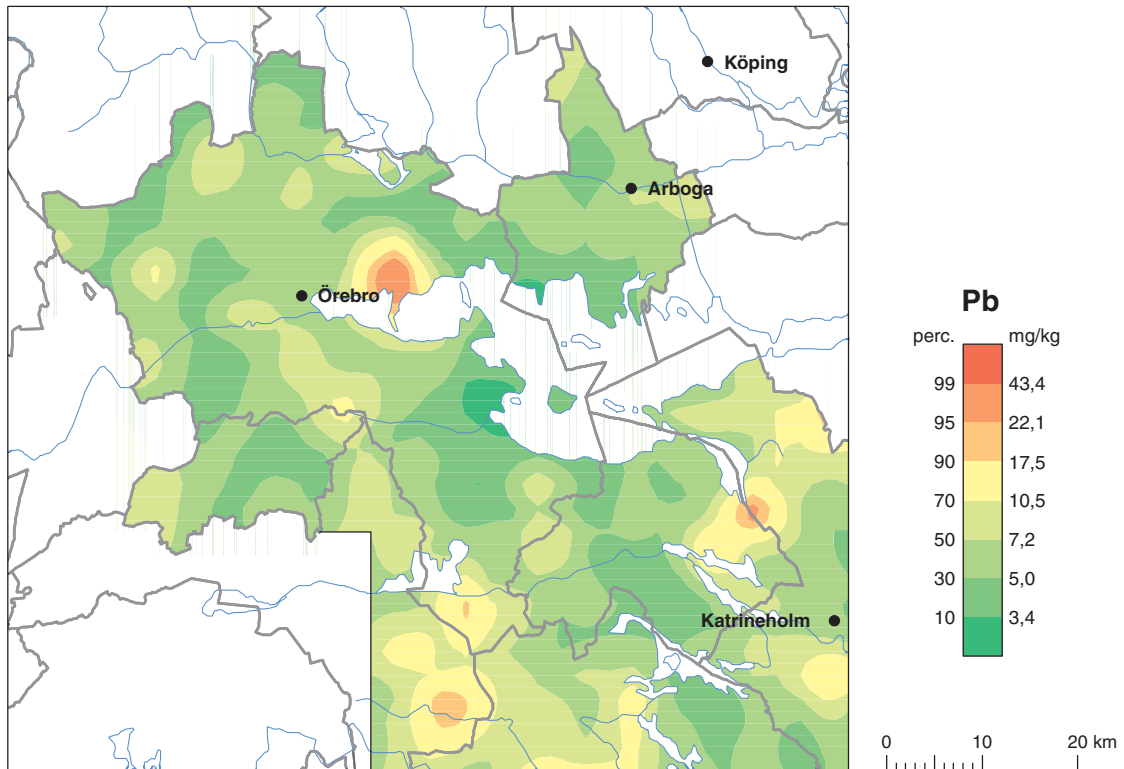
Total contents Pb, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter Pb, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Pb, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Rubidium (Rb)

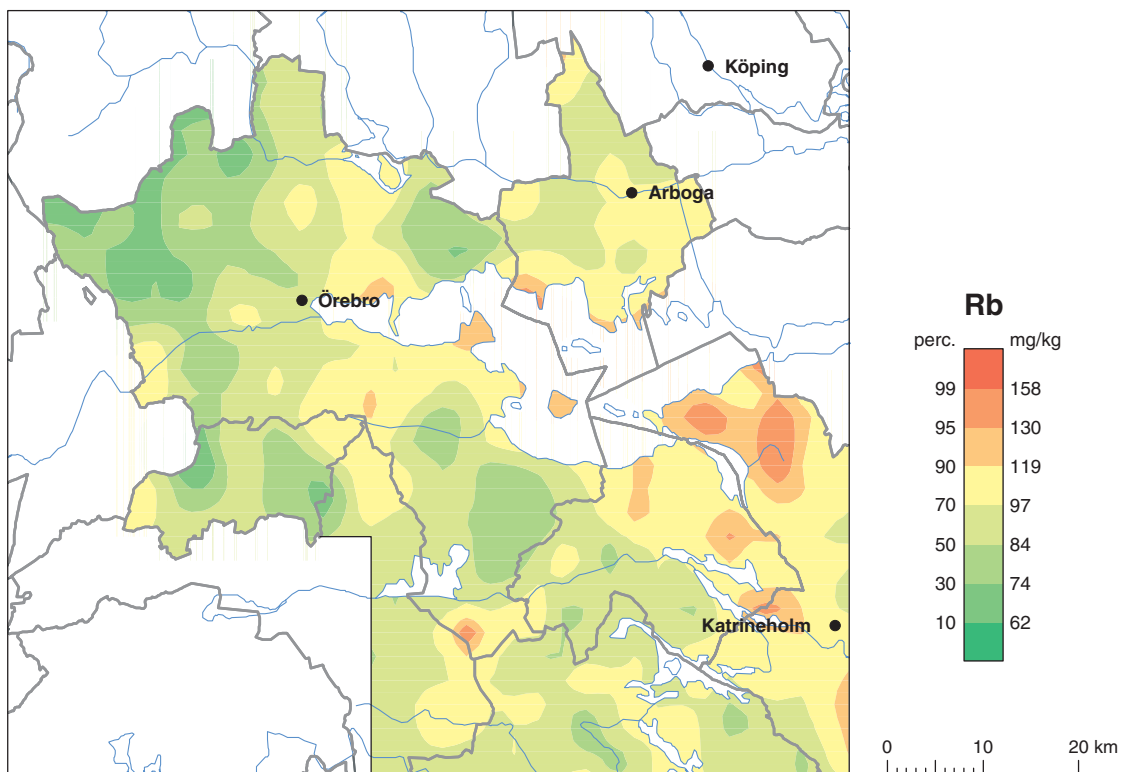
Rubidium är ett spårelement som normalt knyts till glimmermineral och fältspater, i vilka Rb ersätter K. Därav följer att Rb-halterna är förhöjda i bergarter rika på nämnda mineral, t.ex. graniter och glimmerrika, metamorfa bergarter.

Totalhalterna i undersökningsområdet överstiger medianhalten för så gott som hela området, förutom ett mindre område i nordväst, medan de syralakade halterna uppvisar en större haltspridning i hela området.

Mönsterlikheten med K är god för syralakade halter. Även korrelationsmatrisen visar att Rb och K uppträder på likartat sätt, dvs. associationerna där de bägge elementen ingår är snarlika (se avsnittet om K ovan). Den procentuella lakbarheten för Rb är ca 10 %.

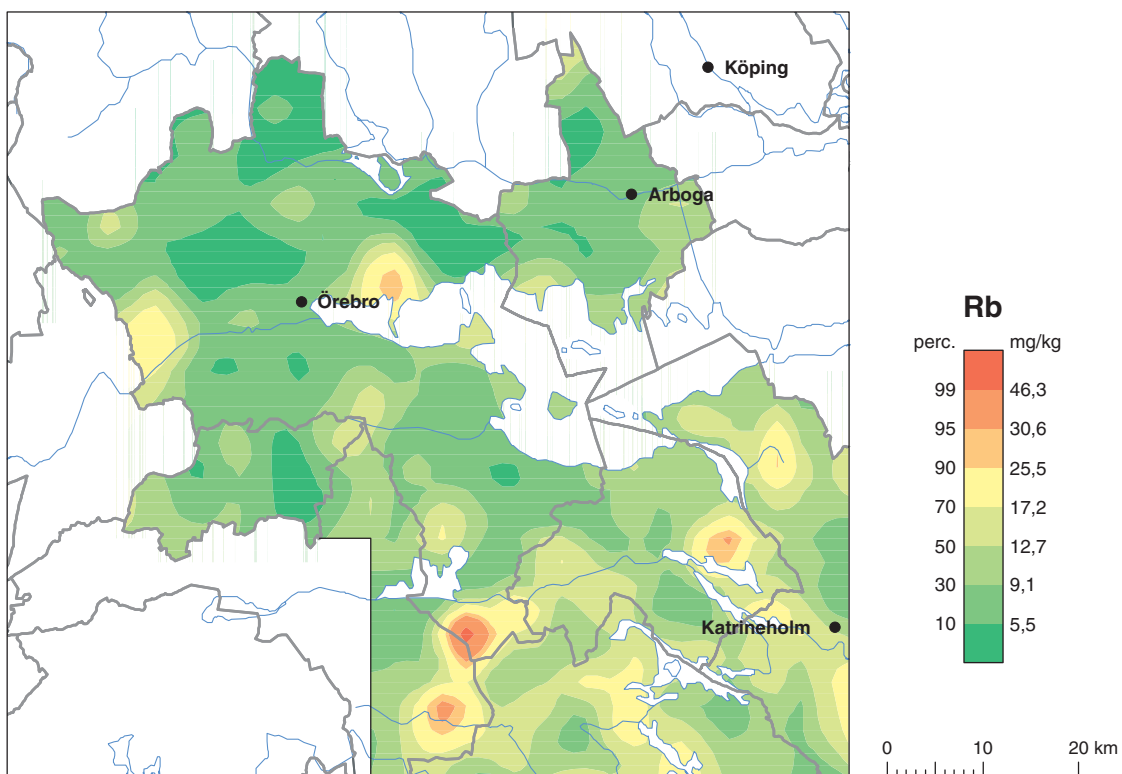
Totalhalter Rb, metod XRF
Kartan baseras på 479 prov

Total contents Rb, method XRF
The map is based on 479 samples



Syralakbara halter Rb, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Rb, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Svavel (S)

I förhållande till landet i övrigt är halterna normala, ca 40 % av proven innehåller halter över rikets medianhalt för S (149 mg/kg). Den mellersta och södra delen av undersökningsområdet uppvisar högre halter än den norra delen.. Detta kan eventuellt bero på alunskiffern i kombination med en sydlig-sydostlig isrörelseriktning.

Svavel är för övrigt det enda element i morän som tycks vara påtagligt påverkat av atmosfärisk deposition. En karta i riksskala visar att mönsterlikheten med höga halter S och den atmosfäriska depositionen är god (Berg m.fl. 2003).

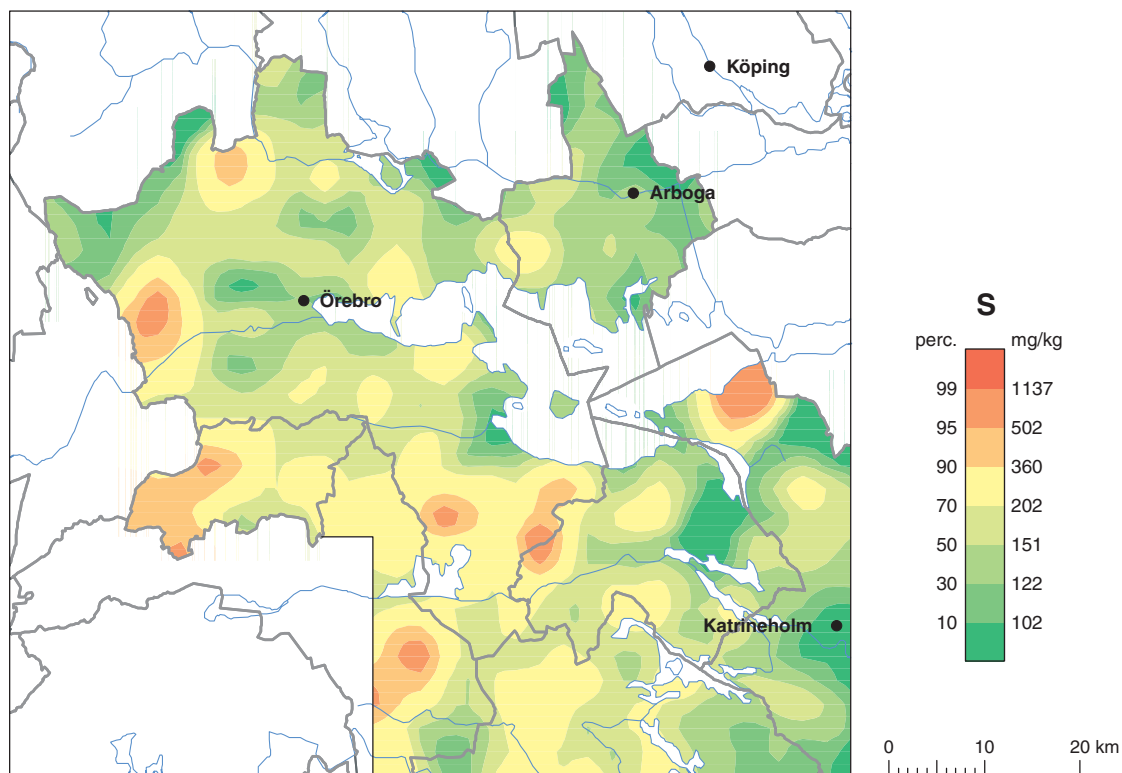
Den statistiska analysen visar att svavel korrelerar svagt med Se ($r=0,51$). Natrium samt lakbarhet för Al och P uppvisar negativ korrelation med S.

Totalhalter S, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

Total contents S, method XRF

The map is based on 479 samples



Antimon (Sb)

I bergarter uppträder Sb i låga halter, och är relativt sett vanligast i argillitiska bergarter. Mineralogiskt förekommer Sb som sulfider, och är geokemiskt besläktat med framför allt As och Bi.

Antimon uppvisar förhöjda halter i ett ostligt–västligt stråk i de centrala delarna av undersökningsområdet söder om Hjälmaren. De förhöjda halterna sammanfaller delvis med de yngre sedimentära bergarterna (alunskiffer, sandsten och kalksten), men de höga halterna fortsätter även sydost om ovannämnda bergartssekvens.

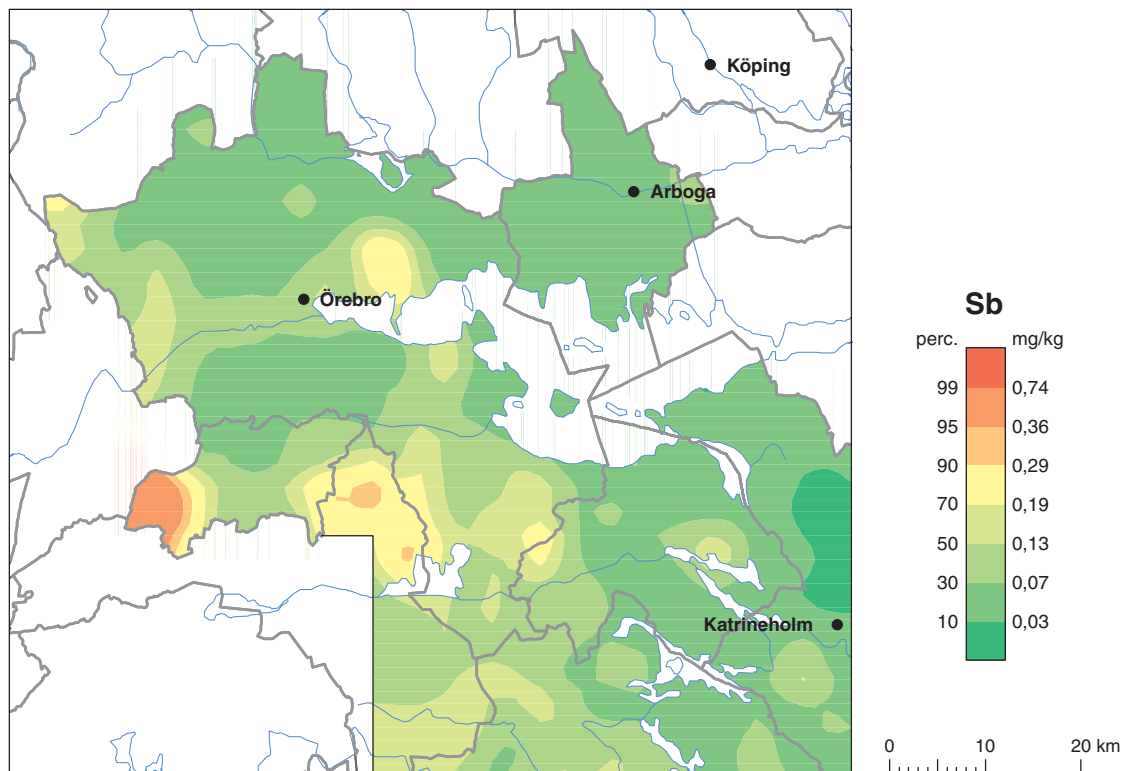
Antimon uppvisar korrelationer med bl.a. As, Cd, Mo och Tl, element som har hög affinitet för sulfider och organiskt material.

Syrlakbara halter Sb, metod ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Sb, method ICP-MS

The map is based on 479 samples



Kisel (Si)

Kisel är näst syre det vanligaste elementet i kontinental jordskorpa och utgör basen för den största mineralgruppen (silikater). Kisel ingår i ett antal av de vanligaste mineralen (t.ex. kvarts, fältspater och glimmer), och uppträder i högsta halter i sandstenar, kvartsiter, graniter m.m.

Oberoende av förekomstform är Si svårlösligt, t.o.m. vid användning av starka syror såsom 7M salpetersyra och kungsvatten. Vid kungsvattenlakning löses sällan mer än någon tiondels procent av Si.

I undersökningsområdet har endast totalhalten bestämts. Provberednings- och analysmetoden medför dock att analyskvaliteten för Si är något låg, och därför har ett teoretiskt Si-värde använts. Detta teoretiska värde baseras på summan av övriga oxider (vilka har en betydligt bättre analyskvalitet). En viss osäkerhet finns dock angående t.ex. förekomsten av C (kol) i proven, varför resultaten skall behandlas med försiktighet.

Halterna av Si i området kan anses vara normala i förhållande till landet i övrigt, vilket stämmer väl överens med berggrunden i området som till största delen är sur.

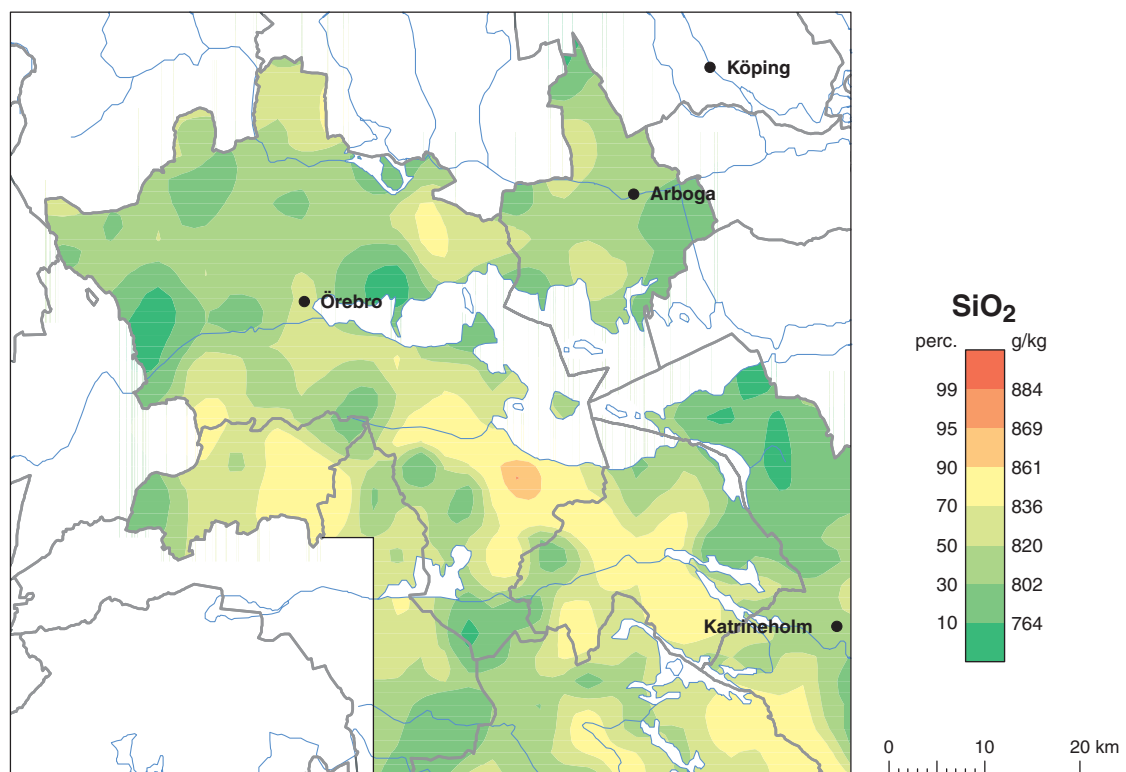
I förhållande till andra analyserade element uppvisar Si stark negativ korrelation med totalhalterna för Co och Fe.

Totalhalter SiO_2 , metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

Total contents SiO_2 , method XRF

The map is based on 479 samples



Tenn (Sn)

Tenn förekommer ibland i vissa graniter och pegmatiter i halter som kan vara brytvärda. I regel ingår det då i mineralet kassiterit, SnO_2 , vilket är en svårlakad oxid. Eftersom endast salpetersyralakade halter har uppmätts kan inget direkt samband med Sn i form av kassiterit förväntas, utan resultaten visar på andra mineralformer.

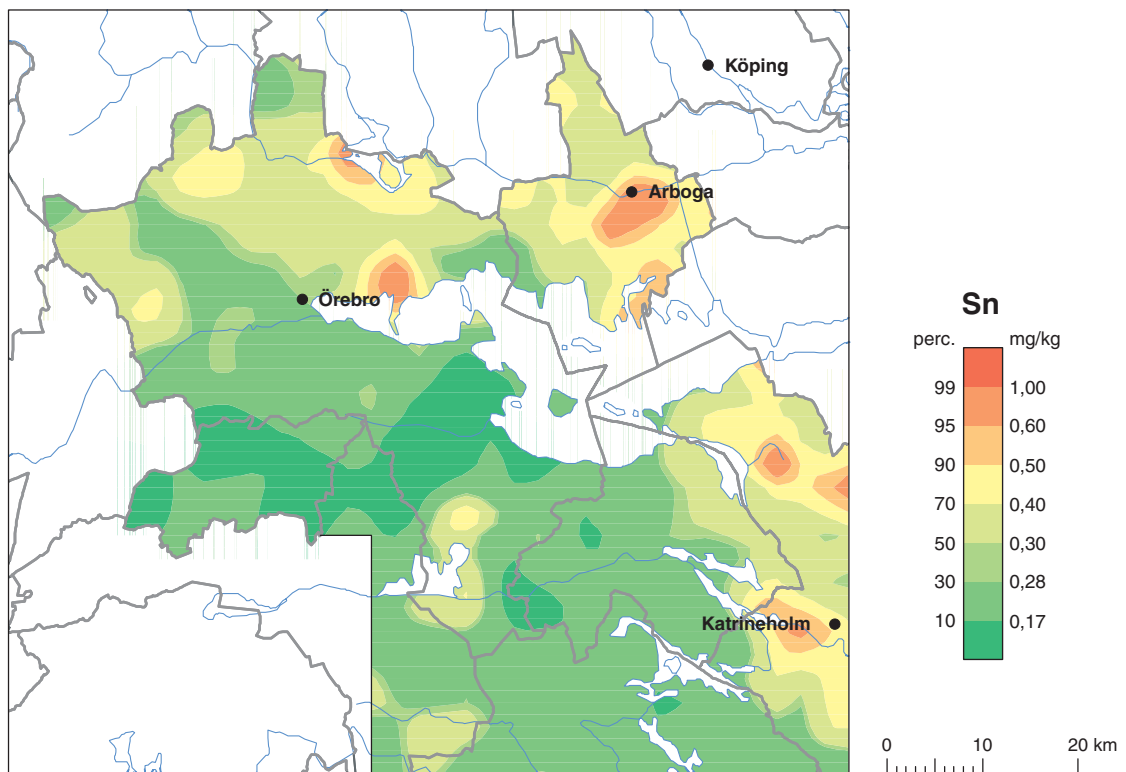
De flesta halter i området understiger 1 mg/kg. Även om kopplingen inte är helt entydig är de flesta prov med halt över 1 mg/kg belägna över eller i närheten av sura–intermediära och metasedimentära bergarter. Ett av de mest framträdande dragen i kartan är den zon med låga halter av Sn ($<0,17$ mg/kg) som sammanfaller med de unga kambriska och ordoviciska bergarterna. Korrelationen är starkast med Th, ett element som oftast förekommer anrikat i sura bergarter.

Syralakbara halter Sn, metod 7M HNO_3 /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Sn, method 7M HNO_3 /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Strontium (Sr)

Strontium ersätter huvudelement som Ba, Ca och K i kristallgitter och uppträder därför i vanliga mineral som kalifältspat och plagioklas. Bland vanliga bergarter innehåller gabbro ungefär dubbelt så hög halt Sr som granit, men de högsta halterna relateras oftast till magmatiska karbonatbergarter.

I undersökningsområdet är halterna av Sr mycket låga med avseende på totalhalt, medan syralakade halter är högre i delar av området (jämfört med landet i övrigt). Det mest utmärkande draget för totalhalter är att hela området uppvisar halter som undertiger den 10:e percentilen för landet. Observera att kartan för totalhalter är baserad på lokala percentiler. Det finns ingen stark korrelation mellan lakade halter och totalhalter, vilket medför att en karta över procentuell lakbarhet ger ett mönster som avviker från de enskilda analysparametrarna. Lakbarheten är också relativt låg (medelvärde 7,5 %), och endast nio prov uppvisar en lakbarhet >15 %.

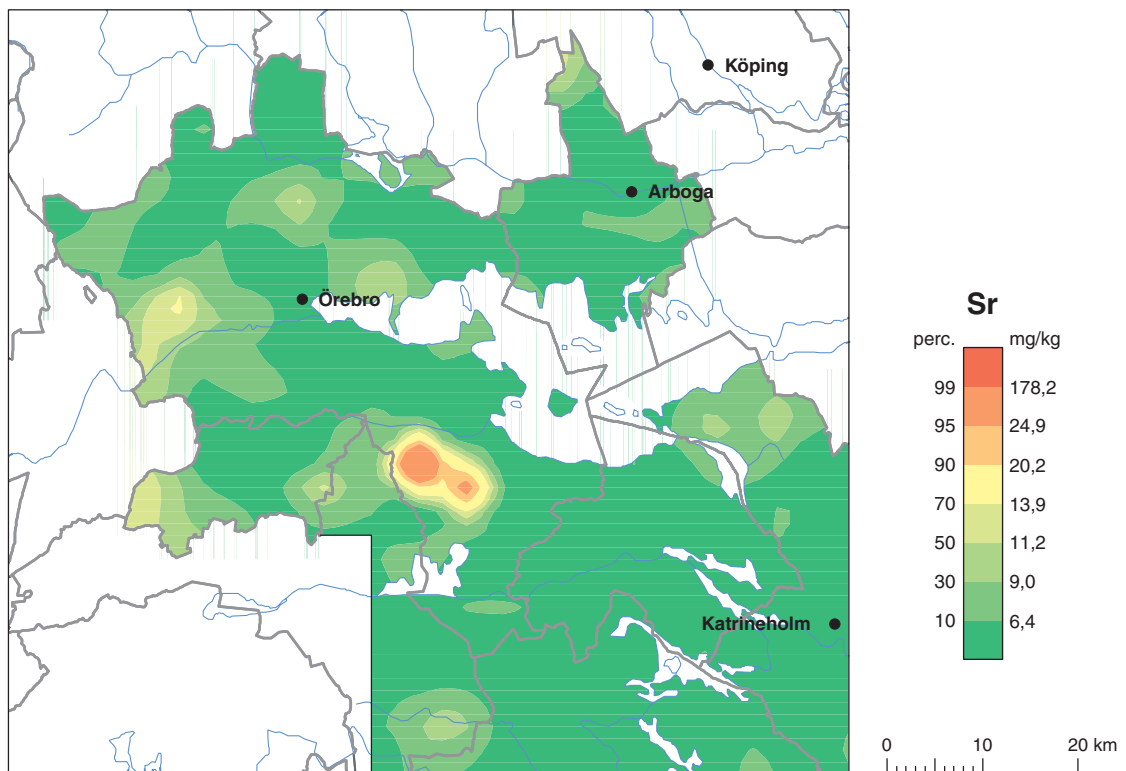
I relation till andra analyserade parametrar återfinns starka korrelationer för syralakade halter av Sr med syralakat Ca ($r > 0,9$) och något svagare med Mn. Totalhalterna uppvisar korrelation med Ba och Na samt en signifikant negativ korrelation med Zr.

Syralakbara halter Sr, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Sr, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples

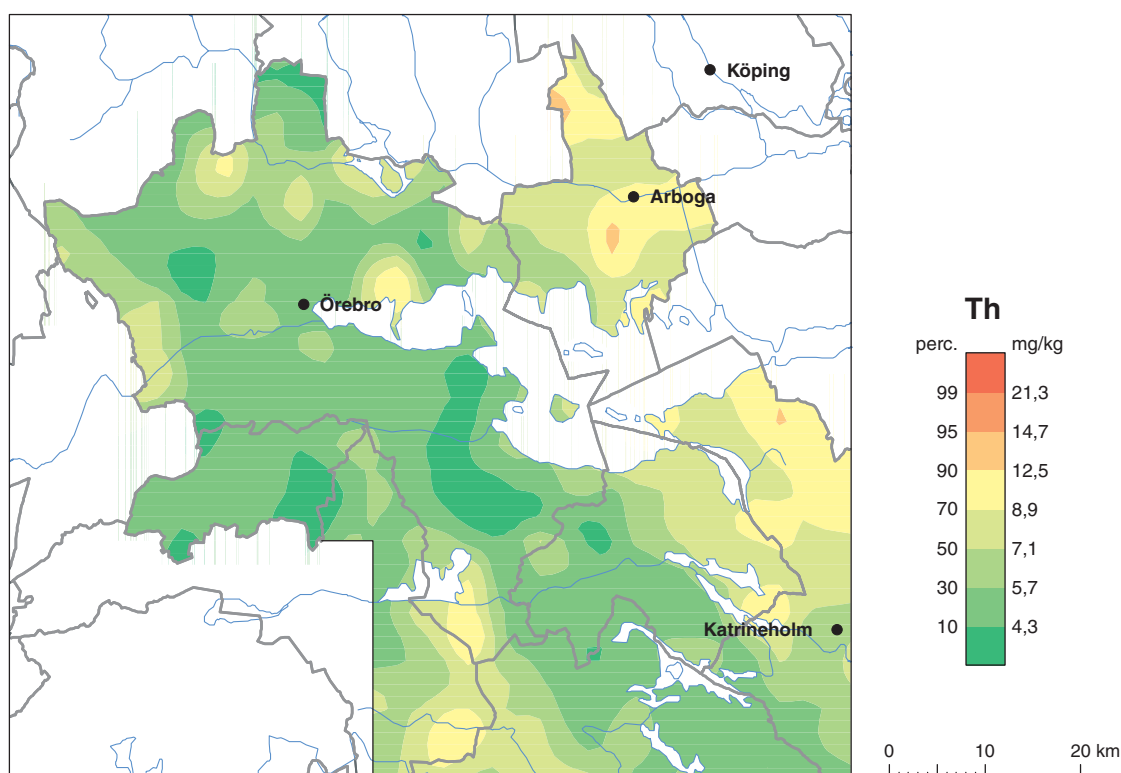


Torium (Th)

Torium är ett radioaktivt element som ofta uppträder något anrikat i graniter, granodioriter, skiffrar och gnejs, vanligen associerat med K och U. I undersökningsområdet uppträder 1,5–18,9 mg/kg salpeterssyralakat Th i moräner. Förhöjda halter (>10 mg/kg) förekommer relativt ofta i områdets östra delar, t.ex. i Arbogaregionen. Normalt ligger Th-anomala prov i anslutning till granitoider, men sällan tillsammans med förhöjda halter uran.

Syralakbara halter Th, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Th, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Titan (Ti)

Huvudelementet 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 undersökningsområdet är såväl total- som syralakade halter låga eller mycket låga i relation till landet i övrigt. Totalhalterna uppvisar halter under den 10:e percentilen i så gott som hela området, vilket medför att kartan över totalhalter av Ti är baserad på lokala percentiler.

Även de syralakade halterna är låga i förhållande till landet i övrigt men uppvisar en haltvariation i området som tyder på lättlösligt Ti vid mafiska inslag i berggrunden.

Den procentuella lakbarheten är högst (>20 %) i de nordvästra, sydöstra och östra delarna av undersökningsområdet. Detta beror på förekomst av bergarter med lättlösligt Ti i mineralsammansättningen såsom amfibol, pyroxen och biotit.

Titan som förekommer i biotit är mycket lättlösligt i 7M HNO₃ (Snäll & Liljefors 2000), och förhöjd lakbarhet antas därför bero på att mängden biotit är förhöjd jämfört med andra mineralformer.

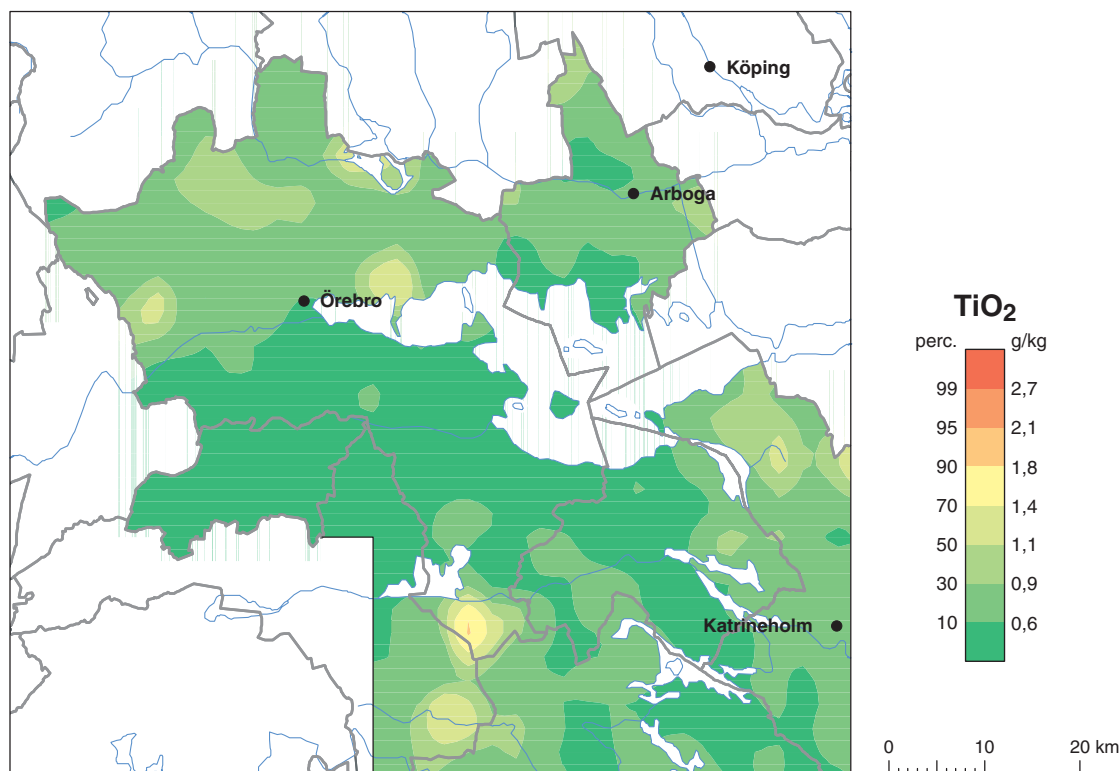
Korrelationsanalysen visar att total- respektive salpetersyralakade halter ger likartad information om moränen. De syralakade halterna korrelerar väl med Al, Cr, Fe, K, Mg, Rb och V. Totalhalterna uppvisar en likartad association och korrelerar väl med Al, Co, Cr, Fe, Mg och V.

Syralakbara halter TiO₂, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach TiO₂, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Tallium (Tl)

Tallium är ett starkt giftigt spårelement som ibland används inom malmprospektering som s.k. "pathfinder"-element (Lett m.fl. 1997, ATSDR 1992). I normala fall associeras Tl med K och Rb, eftersom Tl i bergarter uppträder i skikt-silikater (Reimann m.fl. 1998). Medelhalten i jordarter har angetts till 0,5 mg/kg (Koljonen 1992). Tallium har även affinitet för organiskt material.

Talliumhalterna inom undersökningsområdets sydöstra del är förhöjda eller mycket förhöjda i jämförelse med halterna i landet i övrigt. Medianhalten för Sverige är 0,18 mg/kg. Punkterna som innehåller de högsta halterna ligger nästan utan undantag i anslutning till alunskiffrarna, och Tl-halterna som här uppmäts ligger generellt 10–30 gånger högre än i

regionen norr om de unga sedimentbergarterna. Ett stråk med halter som överstiger den 70:e percentilen för landet sträcker sig mot sydost från alunskiffern vilket är nedströms isriktningen. Halter överstigande 0,50 mg/kg kan spåras upp till ca 25 km söder om närmaste större förekomst av alunskiffer. Det kan inte uteslutas att även andra bergarter ger upphov till dessa höga haltnivåer, men en närmare granskning visar att även dessa prov innehåller förhöjda halter av bl.a. Mo, Ni, As och Cd, vilket stöder antagandet att källan till Tl är just alunskiffer. Av de Tl-anrikade prov som tagits i morän som överlagrar de unga sedimentbergarterna kan alla utom ett knytas till kända förekomster av alunskiffer. Läget för detta prov anger att det är möjligt att även delar av lerskifferförekomsten kan vara tallium-anomal.

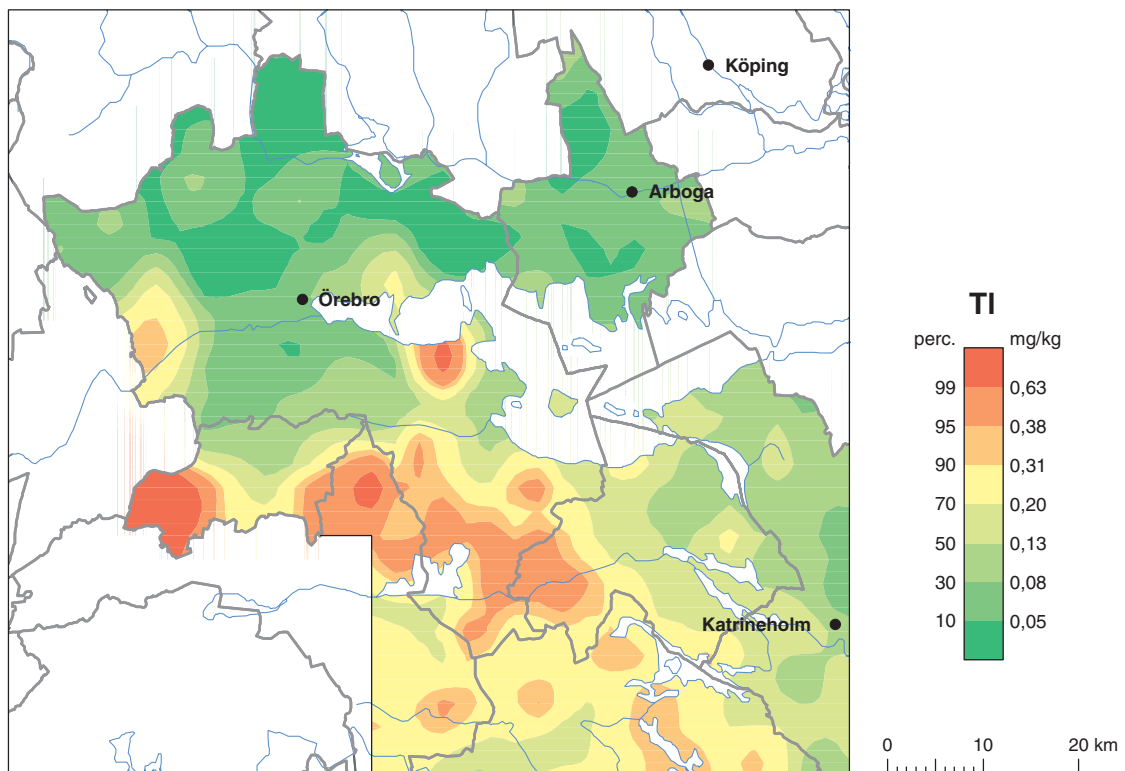
Tallium korrelerar starkast med Cd, Mo och Sb men uppvisar även korrelationer med Ag, As, Cu och Ni. Noteras kan att Tl uppvisar negativ korrelation med Na och Ti.

Syralakbara halter Tl, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Tl, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



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 mobil. Även om U i sig har giftverkan (radioaktiviteten är dock låg), har framför allt sönderfallsprodukten radon hittills setts som den dominerande hälsorisken.

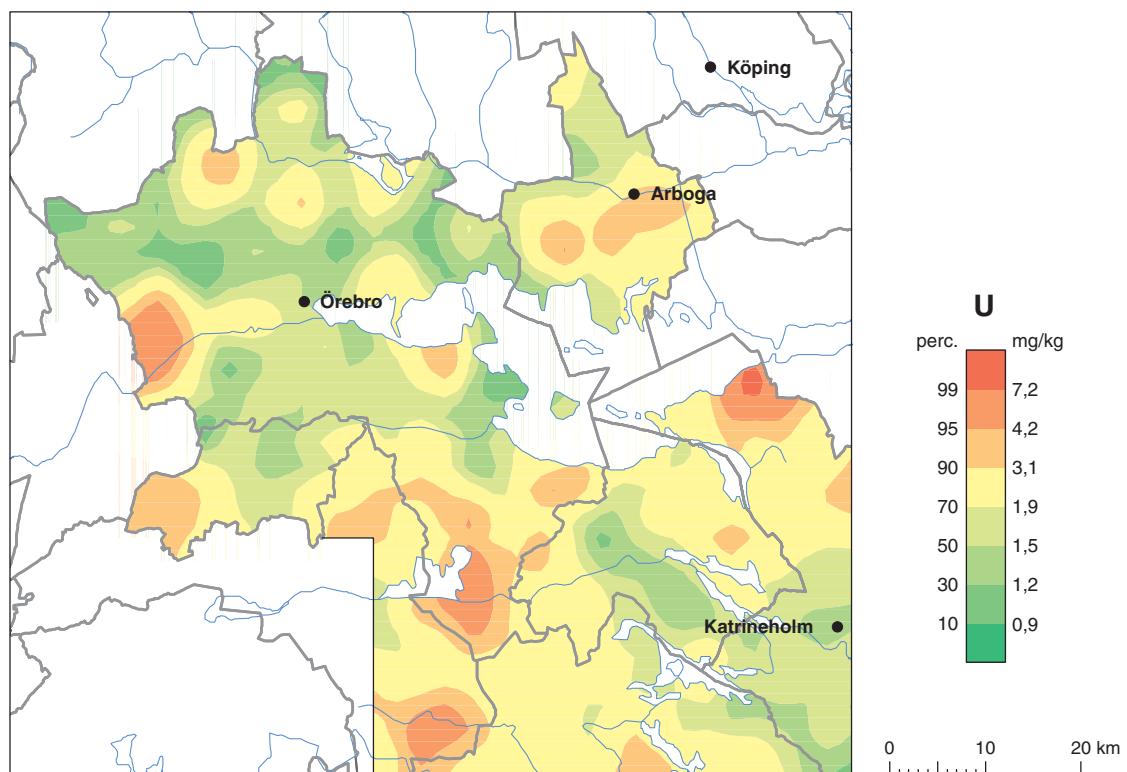
I undersökningsområdet ligger uranhalterna i morän mellan 0,4 och 10,9 mg/kg. Ca 5 % av proven innehåller >5 mg/kg, majoriteten av dessa återfinns i anknytning till de unga sedimentära bergarterna. Motsvarande förhöjda halter uppträder något splittrat över så gott som hela området, och ofta i anslutning till olika granitoider.

Syralakbara halter U, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach U, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Vanadin (V)

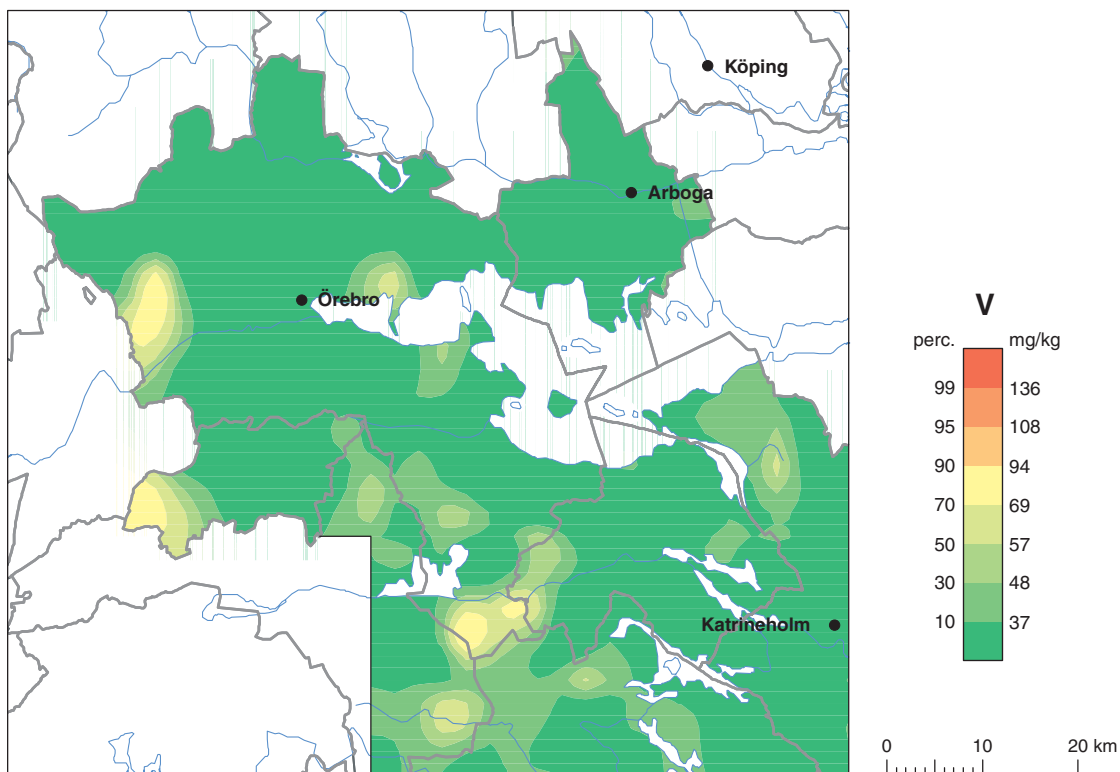
Vanadin är en metall som ofta ersätter Fe i mafiska mineral, och uppträder därför i regel i samma grupp som elementen Fe, Mg, Ti, Cr, Ni m.fl.

Vanadinhalterna (totalhalterna) är låga i så gott som hela området. Endast svaga förhöjningar (upp till 70:e percentilen) kan noteras i de centrala och västliga delarna av undersökningsområdet. Korrelationen med Fe är stark, och V uppträder i princip med identiskt mönster. I övrigt korrelerar V även bra med Al, Co, Cr, Mg, Rb och Ti.

Den procentuella lakbarheten för V är i medeltal 49 %. Lakbarheten för Mg är likartad (40 %) vilket tyder på att V förekommer tillsammans med Mg i mafiska mineral. Även den geokemiska utbredningen av totalhalter för Mg är likartad den för V.

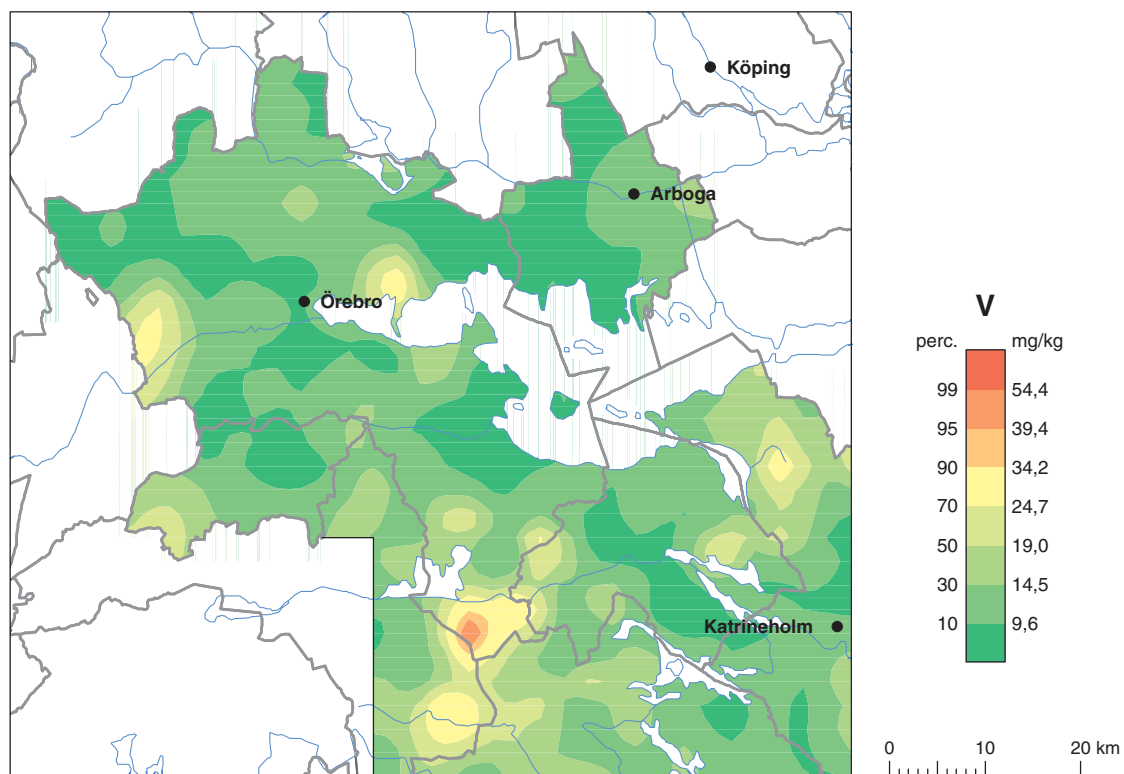
Totalhalter V, metod XRF
Kartan baseras på 479 prov

Total contents V, method XRF
The map is based on 479 samples



Syralakbara halter V, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach V, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Wolfram (W)

Metallen wolfram uppträder normalt i låga halter i jord och berg. En av de analysmetoder 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 istället salpetersyralakat W. Halterna är generellt medelhöga till höga i undersökningsområdet, men låga halter påträffas i sydost och över Närke-slätten. Två mineralfyndigheter som anges innehålla W ligger i Jädersbruk, norr om Arboga (Ag, Cu, Pb, W, Zn) men dessa kan inte spåras i morän.

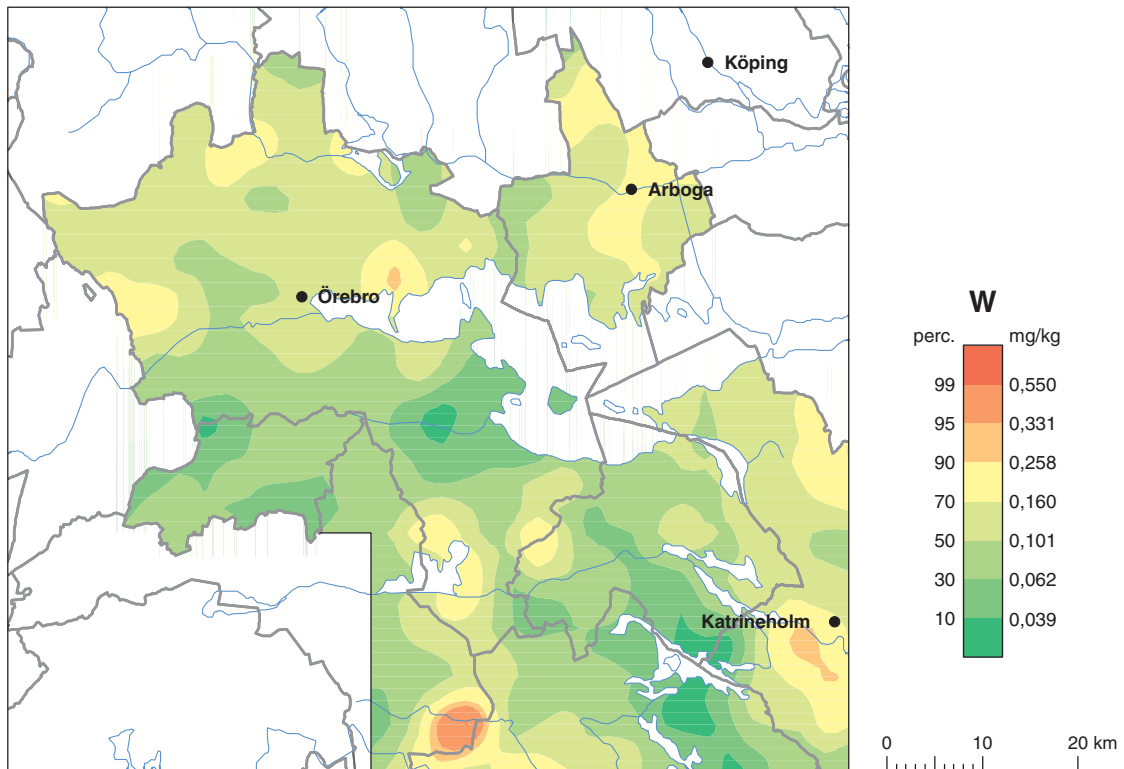
Wolfram uppvisar signifikant korrelation med Sn och Si, den senare negativ korrelation.

Syralakbara halter W, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach W, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Yttrium (Y)

Spårelementet yttrium förekommer i alla bergarter, och bland de vanligt förekommande innehåller i regel graniter, granodioriter och metasediment (t.ex. skifferar) de högsta halterna.

Yttrium uppträder i låg till medelhög koncentration i stora delar av undersökningsområdet. Halterna varierar från den 30:e till den 70:e percentilen enligt rikets percentiler. Två små områden innehåller provpunkter där halterna överstiger den 90:e percentilen, ett öster om Örebro och det andra norr om Arboga.

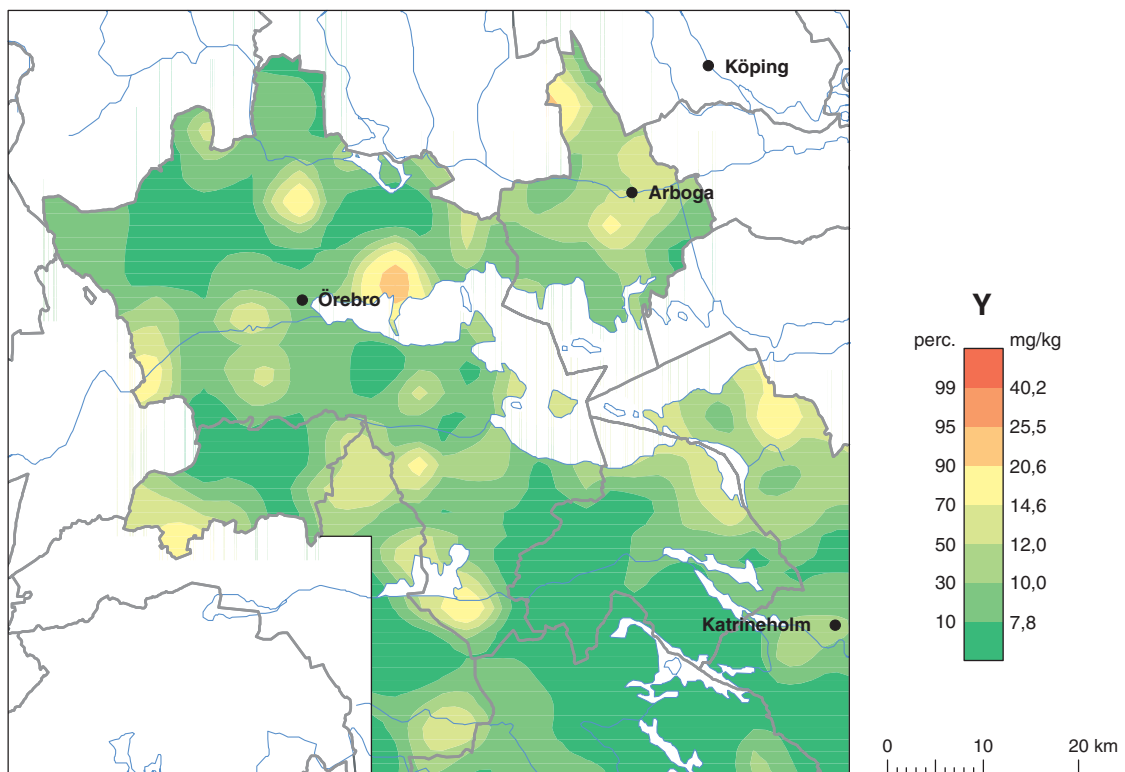
Geokemiskt uppträder Y ungefär som La, U, och Sc och ingår i en lång rad mineral där det ersätter Ca, P, Ti, och Zr (Koljonen 1992). I korrelationsanalysen korrelerar syralakat Y bäst med La och Th samt uppvisar även god korrelation ($r > 0,5$) med Be, Mn, Na och P.

Syralakbara halter Y, metod 7M HNO₃ /ICP-MS

Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Y, method 7M HNO₃ /ICP-MS

The map is based on 479 samples



Zink (Zn)

Zinkanomalin i norr uppträder i ett område med Zn-mineraliseringar. De svaga förhöjningarna i söder och öster kan dock ej härledas till kända Zn-mineraliseringar utan är sannolikt beroende av mineralsammansättningen i den närliggande berggrunden. Zn är vanligt i silikat-mineral såsom olivin, pyroxener och amfiboler, i vilka det ersätter Fe och Mg i kristallgittret. Dessa mineral ingår vanligtvis i basiska bergarter.

Syralakat Zn uppvisar god korrelation med Al, Be, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Ni, Pb, Rb och V. Detsamma gäller för totalhalter av Zn.

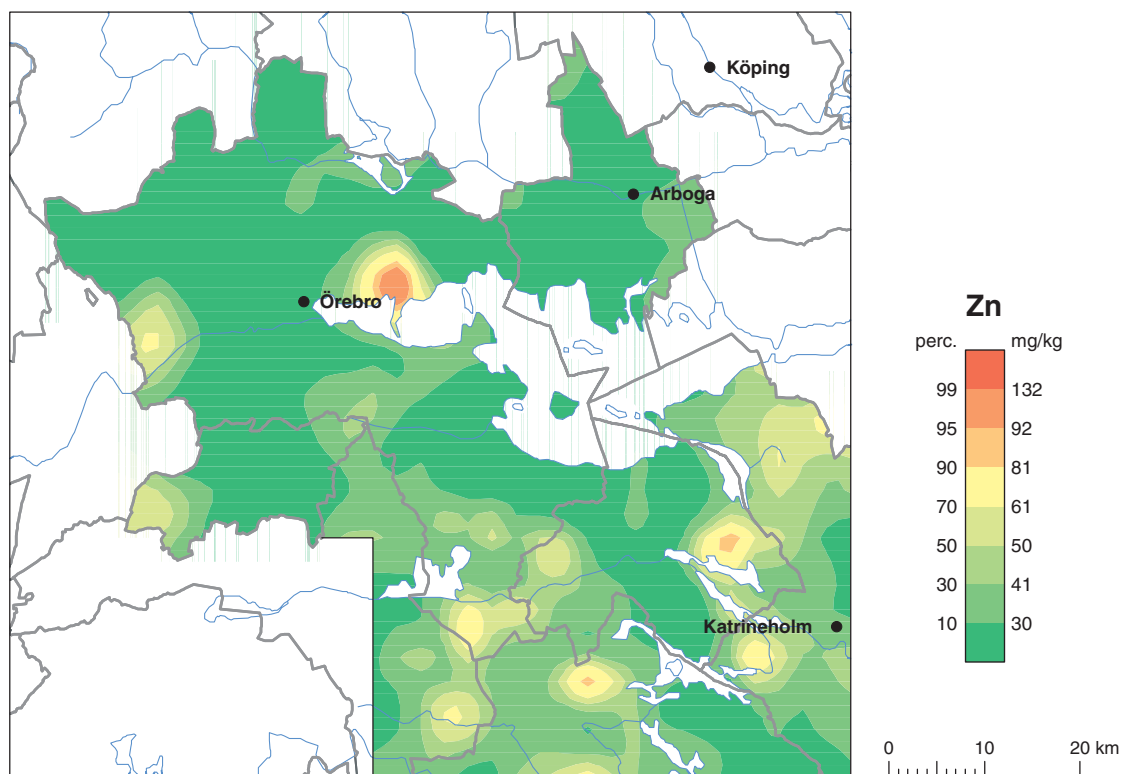
Den procentuella lakbarheten för Zn är i medeltal 63 % i undersökningsområdet. Lakbarheten är likartad för Fe (59 %) och Mg (40 %). Detta tyder på att dessa element förekommer i lättlöslig form i moränen att Zn främst kan kopplas till mafiska Fe-silikatmineral (Koljonen 1992).

Totalhalter Zn, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

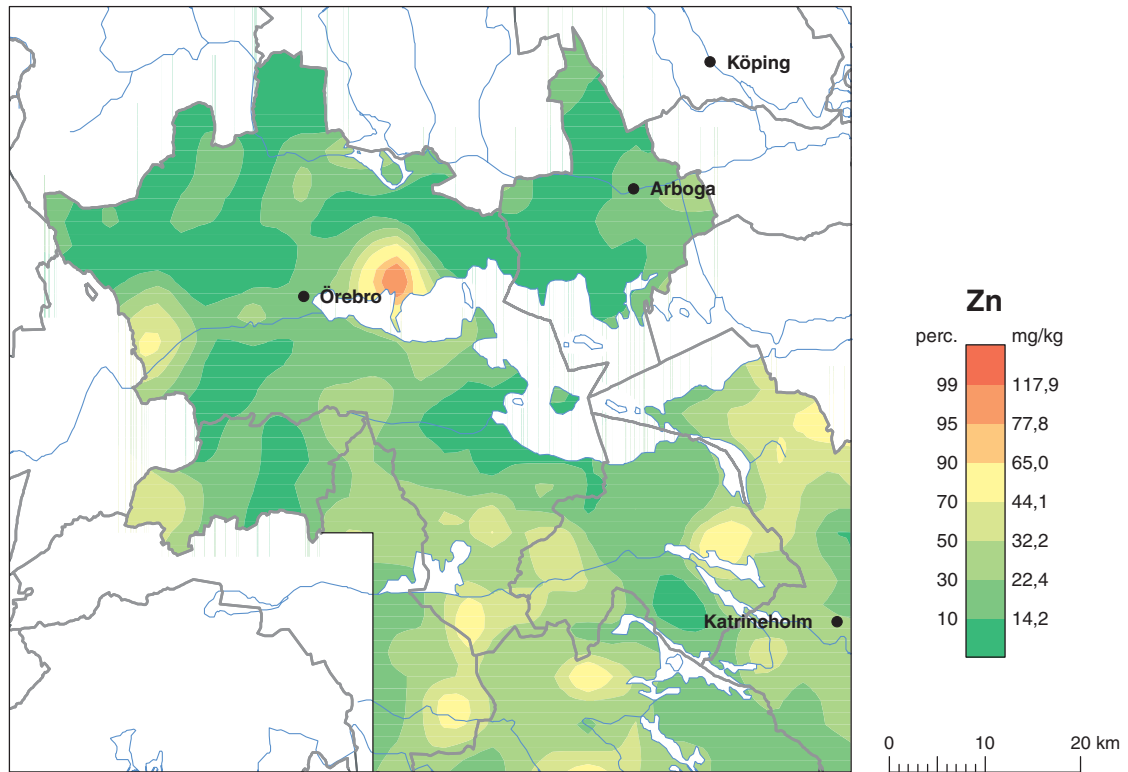
Total contents Zn, method XRF

The map is based on 479 samples



Syralakbara halter Zn, metod 7M HNO₃ /ICP-MS
Kartan baseras på 479 prov

Partial leach Zn, method 7M HNO₃ /ICP-MS
The map is based on 479 samples



Zirkonium (Zr)

Zirkonium är ett element som normalt förekommer så gott som enbart i form av zirkon i bergarter. I sura bergarter är detta ett relativt vanligt mineral, medan det förekommer i mycket låga kvantiteter i basiska bergarter. Totalhalterna i moränen är förhöjda i centrala delar av undersökningsområdet samt i ett smalt stråk åt sydväst. Detta kan sättas i samband med mineralogin i sandstenarna samt de sura bergarterna söder därom.

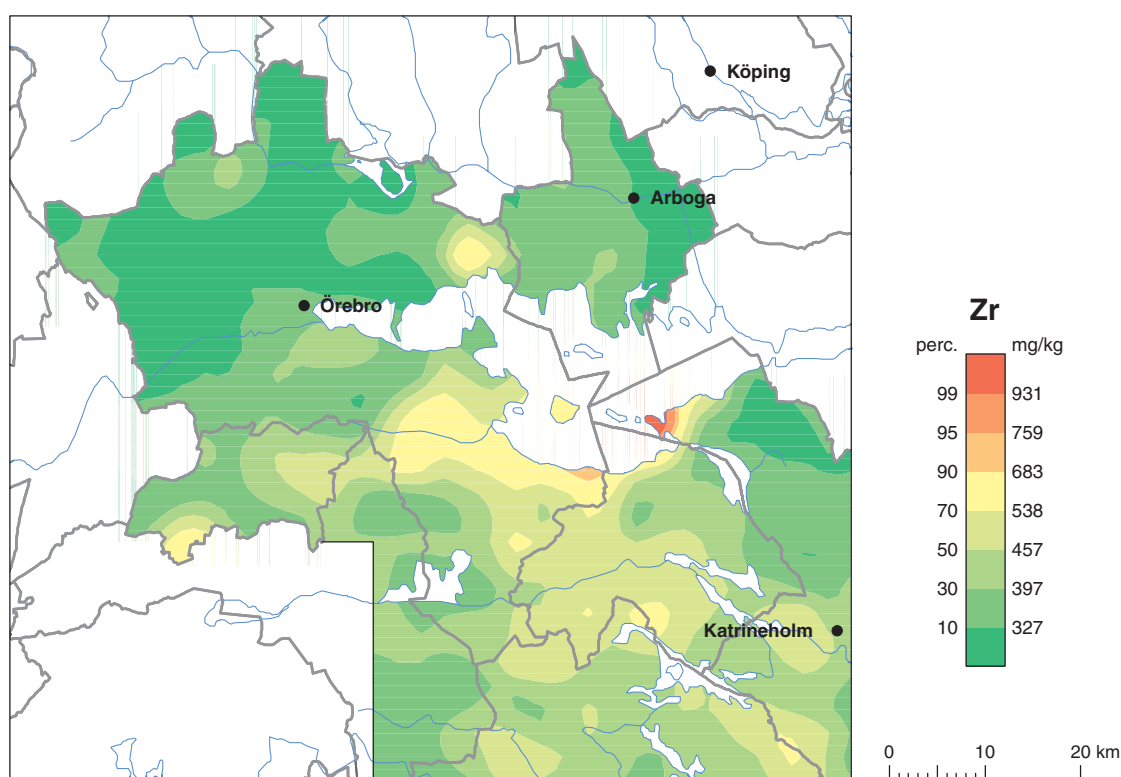
Korrelationen med Ba, Na och Sr är negativ, signifikant positiv korrelation uppvisas inte med något element.

Totalhalter Zr, metod XRF

Kartan baseras på 479 prov

Total contents Zr, method XRF

The map is based on 479 samples



pH och buffertkapacitet

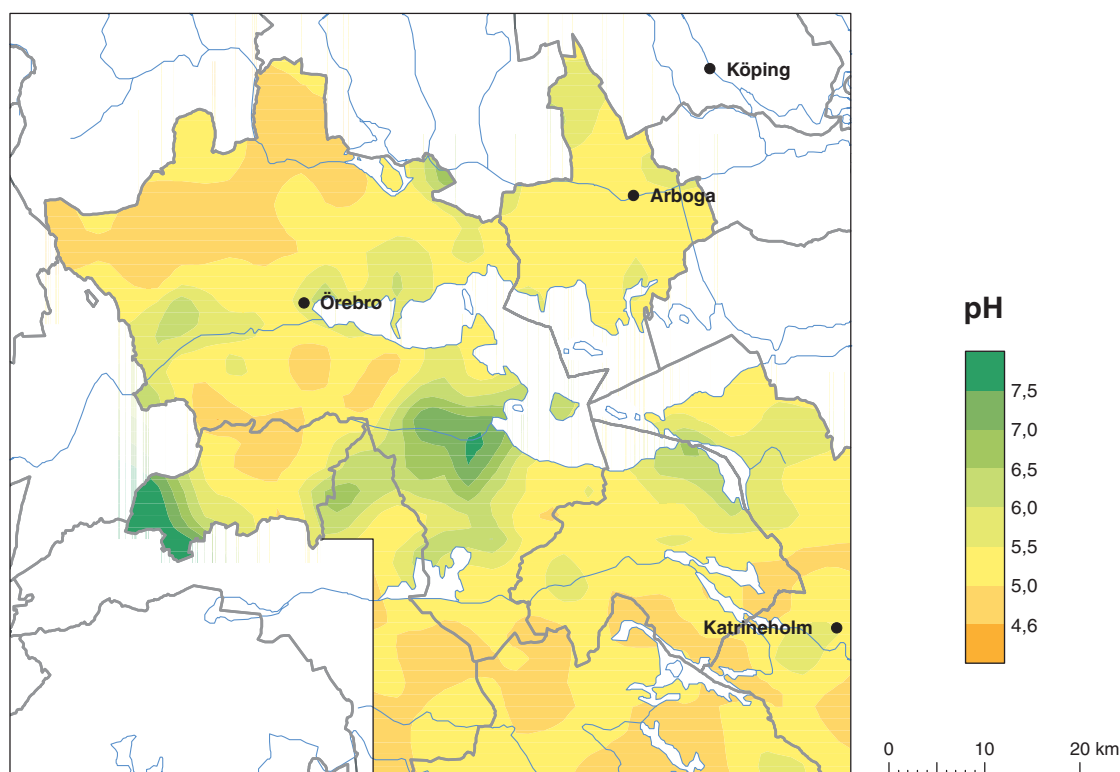
Den pH-mätning som gjorts av markproverna i vattenlösning svarar mot markvätskans surhet, dvs. den mängd vätejoner som är tillgängliga. När man sedan provocerar markprovet med ytterligare vätejoner (i form av 0,005 M svavelsyra) sjunker pH mer eller mindre och man får ett mått på mineraljordens förmåga att motstå surt markvatten. Tillsammans med det ursprungliga pH-värdet beräknas försurningsresistensen som är ett mått på den procentuella del av ett markprov som inte berörs av en pH-sänkning. Försurningsresistensen är högst vid karbonatbuffring och därefter följer aluminiumbuffring i effektivitet.

Om försurningsresistensen är total, dvs. 99,99–100 % är också lakbarheten för aluminium låg och lakbarheten för kalcium hög och det råder med all sannolikhet karbonatbuffring som bl.a. frigör kalciumjoner. Är försurningsresistensen under 99,99 % är lakbarheten för aluminium hög och det effektiva aluminiumbuffringssystemet har trätt i kraft. Om tillgången på

lättlösliga aluminiummineral är låg (låg aluminiumhalt och låg lakbarhet) sker silikatvittring och jonbytesbuffring i stället, vilket är positivt för markvattnet som får tillskott av gynnsamma joner, men förrådet av jonerna i marken minskar. Detta buffringssystem är ganska långsamt, vilket indikeras av lägre försurningsresistens (runt 90 %). Någon klar gräns mellan de olika buffringssystemen går ej att fastlägga, eftersom de olika systemen överlappar varandra. Neutralisationsprocesserna beror bland annat på markens vittringsbenägenhet och på den katjonbildande förmågan.

pH i uppslammat prov
Kartan baseras på 479 prov

pH in suspended solution
The map is based on 479 samples



Resultat och tolkning

Av områdets 479 tagna moränprover har drygt 4 % pH-värden ≥ 7 i fraktionen $<0,063$ mm. Surhetsgraden i moränerna är något högre jämfört med landet i övrigt vilket visas av ett lägre medianvärde, pH 5,1. Medianvärdet för hela landet är pH 5,4 i finfraktionen ($<0,063$ mm). Någon större skillnad i medianvärde beroende av finkornighet kan inte statistiskt fastställas i undersökningsområdet även om grusig morän har högst medianvärde (5,2), medan sandig (normal) morän och siltig morän båda har pH 5,1. Däremot finns skillnad i försurningsresistensen, med högre procentuellt värde ju grövre moränen är. Moränernas pH i övrigt varierar mellan 3,6 och 8,5. Ett flertal lokaler har pH >8 och försurningsresistensen 100 % samt låg lakbarhet för aluminium. Kalciumhalterna är ofta ganska höga och kalk är också konstaterat på flera lokaler vilket anger att karbonatbuffring råder.

Antalet sedimentprover är 88 st. I undersökningsområdet har 30 % av de undersökta proverna basiska (över 7) pH-värden, men inga prover har pH över 8. Leror dominerar (främst

postglaciala), men även silt och sand har provtagits. Surhetsgraden i leror och övriga provtagna sediment ligger på andra nivåer än i morän och medianvärdet är 6,8 pH-enheter, vilket i stort sett är jämförbart med landet i övrigt. Postglacial lera och glacial lera har samma medianvärde, 6,9, medan pH i gyttjelera ligger ca 1 pH-enhet lägre, liksom silt och sand. Försurningsresistensen ligger under 99,99 % för samtliga prov, aluminiumhalterna är tämligen höga ställt i relation till kalciumhalterna, dvs. ingen karbonatbuffring sker. Sedimentens pH i övrigt varierar mellan 3,4 och 8,3.

Med hjälp av korrelationsmatriser (Spearman Rank Order Correlations) kan man konstatera att pH-värdena för undersökningsområdets moräner och sediment är korrelerade med kalcium. Korrelationen är starkast för moränerna. Försurningsresistensen är korrelerad med kalcium och aluminium. Korrelationen med kalcium är starkast för sedimenten medan det för moränerna är korrelationen med aluminium och även med svavel (S-analyser saknas för sedimenten) som är starkast. Endast då försurningsresistensen är 100 % finns det hos moränerna ett starkt samband med kalcium.

I moränerna sydväst om Hjälmarén återfinns sammanhängande områden med höga pH-värden och relativt höga halter av syralösligt kalcium. Det är främst inslaget av kambrisk och ordovicisk lerskiffer och kalksten som visar sig i dessa högre halter. I vissa av områdena med urkalksten, som t.ex. nordost om Örebro och väster om Öljaren, finns också förhöjda pH-värden och ökade halter av kalcium. Inslag av gabbro i moränen har sannolikt orsakat det höga pH-värdet sydost om Väringen, men bergartsmiljön är sådan att mindre, okända förekomster av urkalksten inte kan uteslutas som orsak. Undersökningsområdets lägsta pH-värde på 3,6 och mycket låga halter av samtliga ämnen återfinns i en moränlokal väster om Mosås. Ett tunt blottat jordtäckte på berghäll vid provtagningsplatsen anger att mineraljorden sannolikt exponerats kraftigt för vittring och att huvudelement och spårämnen till största delen är urlakade. Försurningsresistensen, 40 % vid denna plats, anger också att buffringsförmågan är låg.

MILJÖGEOKEMI

Markgeokemiska analysresultat används bland annat för att identifiera områden med hög naturlig metallbelastning och för att ställa anomala metallhalter mot Naturvårdsverkets satta gränsvärden för känslig markanvändning (Naturvårdsverket 1999).

Metallhalter

Naturliga metallhalter överstiger ibland gräns- och riktvärden för förorenad mark. För de flesta metaller inträffar detta relativt sällan, men speciellt elementen arsenik, kadmium och nickel uppträder av geologiska orsaker ibland i halter som kraftigt överstiger riktvärdet för känslig markanvändning. En skillnad mellan SGUs markvärden i morän och Naturvårdsverkets gränsvärden för känslig markanvändning (KM-värden) (Naturvårdsverket 1999) är att de förra mäts i fraktion <0,063 mm, medan de senare mäts i fraktion <2 mm. Analysmetoden är dock densamma med salpetersyralakning av prov. Schablonmässigt kan man räkna med att halterna i moränfraktion <2 mm är ca 2/3 av halterna i fraktion <0,063 mm. SGU-värden som ligger strax över KM-värdet skall därför ses som indikativa. Sedan 1999 har dock SGU analyserat en del av moränproven även på fraktionen <2 mm, och resultaten visar att korrelationen för tungmetaller mellan de två fraktionerna är utmärkt. Generellt kan man multiplicera analysvärden från finfraktionen i morän med faktor 0,7 för jämförelse med KM-värdena, medan man direkt kan jämföra SGUs sedimentprov som siktas på fraktion <2 mm.

KM-värden

Naturvårdsverket har slagit fast gränsvärden för mark <2 mm 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). Som nämnts ovan bör av SGU uppmätta metallhalter i moränfraktionen < 0,063 multipliceras med faktor 0,7 för att erhålla likartade värden för direkta jämförelser. I stort innebär den SGU-analyserade moränfraktionen inget stort problem för jämförelse med KM-värden. Ett erhållet SGU-värde som ligger nära eller över KM-värdet visar att moränen i området är en riskfaktor. Erfarenhetsmässigt vet man också att om en punkt har kraftigt förhöjd metallhalt är sannolikheten mycket stor för att finna ännu högre metallhalter i närområdet. Det är därför fullt möjligt att på de markgeokemiska kartorna använda KM-värden som jämförelsevärden när man skall bedöma ett områdes metallbelastning. Det bör påpekas att resultaten endast avspeglar risk för halter överstigande KM-värdet, ingen bedömning av eventuella miljö- eller hälsoeffekter kan göras utan detaljerade undersökningar.

En del ”nya” metaller saknar fastslagna gränsvärden för mark i Sverige, men har föreslagits ingå i nationell miljöövervakning (Lithner & Holm 2003) på grund av sin toxicitet eller föroreningsgrad. Bland dessa finns Ag, Bi, Sb, Se, Sn, Tl och W som ingår i SGUs markgeokemiska databas.

I den tabellerade statistiken (tabell 3) över metallhalter anges gränsvärdena för känslig markanvändning (KM-värden). Jämfört med dessa finns i undersökningsområdet både i morän och sediment halter av arsenik, kadmium och nickel som överskrider KM-värdena. Av dessa har sannolikt flertalet av lokalerna ett geologiskt arv i form av höga metallhalter, t.ex. nickelhalterna i sedimenten som ligger strax över KM-värdet och troligen är en effekt av naturliga markprocesser. Samtliga lokaler bör dock undersökas närmare för att utröna orsaken till anomala metallhalter och eventuell påverkan på grundvattnet. I en sedimentlokal har blå lera provtagits som håller höga metallhalter. Blåleran har halter >KM för As, Cd och Ni samt höga halter av Mo, Tl och U och avviker klart från andra lerlokaler avseende dessa element. Blåleran är provtagen nordost om Vintrosa i västra delen av undersökningsområdet. I morän erhöles ett kadmiumvärde >KM i en lokal norr om Hallsberg. I samma lokal är också arsenikvärdet strax över KM. Runt sjön Sottern finns ett par moränlokaler med arsenikhalter > KM, likaså sydväst om Vingåker och norr om Strängsjö. Högsta nickelvärdet (62,8 mg/kg) i morän ligger i anslutning till stråk av äldre diabas och är med all sannolikhet relaterat till berggrunden.

Tabell 3. Känslig markanvändning och markgeokemin i undersökningsområdet (SGUs kartering) uppdelat på antal prover för morän respektive andra sediment med metallhalter överskridande KM-värden (för morän enligt omräknad halt i finfraktion). Totalt 479 moränprov och 88 sedimentprov.

Guideline values (KM) in soils and the number of till samples (Morän) and other sediments (Sediment) exceeding the guideline values. N= 479 (till) and 88 (other sediments).

Element	KM-värden mg/kg	Morän > KM	Sediment > KM
Arsenik	15	9	1
Kadmium	0,4	1	1
Kobolt	30	0	0
Krom	120	0	0
Koppar	100	0	0
Nickel	35	1	10
Vanadin	120	0	0
Bly	80	0	0
Zink	350	0	0

I övrigt ligger metallhalterna för morän och sediment i Örebroregionen på samma nivåer eller lägre än i regionen Västra Mälardalen som karterats samtidigt (Andersson 2004). Undantaget är Bi, Mo, Tl och Sb där halterna i morän är högre, samt halterna av As, Cr, Mo och Tl i sediment.

I moränområden med lågt pH är inslaget av lösliga kalciummineral mindre frekvent eller saknas. Det är väl känt att en del metaller har lätt för att frigöras vid sjunkande pH, likaså att andra element fastläggs. Cd, Co, Mn, Ni och Zn är exempel på metaller som är lättlösliga i sur miljö. Generellt sett börjar de mobiliseras när markens pH är under 6. I områden med höga metallhalter och låga pH-värden kan man därför befara att elementen kan ha börjat lösas ut och nått grundvattnet. Här finns risk för att särskilt metallen kadmium men också kobolt, mangan, nickel och zink har börjat frigöras. Vid så låga pH-värden börjar också ett flertal andra metaller mobiliseras.

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, 86 s.
- Andersson, M., 2004: Geokemiska kartan – Markgeokemi. Metaller i morän och andra sediment i Västra Mälardalen med Västerås tätort. *Sveriges geologiska undersökning Gk 4*, 121 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.
- Bouchard, M.A. & Salonen, V.J.P., 1990: Boulder transport in shield areas. I: *Glacial Indicator Tracing*. R. Kujansuu, and M. Saarnisto. A.A. Balkema, Rotterdam. 87–107.
- 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.
- Falk, R., Mjönes, L., Appelblad, P., Erlandsson, B., Hedenberg, G. & Svensson, K., 2004: Kartläggning av naturligt radioaktiva ämnen i dricksvatten. SSI rapport 2004:14.
- Fredén, C. (red.), 1994: Berg och jord. Sveriges Nationalatlas. 208 s.
- Fredén, C. (red.), 2002: Berg och jord. Tredje upplagan. Sveriges Nationalatlas. 208 s.
- Holmberg, J., Ohlsson, S.-Å. & Ressar, H., 1999: Geokemiska kartan. Biogeokemi. Tungmetaller i bäckvattenväxter Mellersta Dalarna. *Sveriges geologiska undersökning Gk 1*, 44 s.
- 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*, Vol. 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 Volume 110, Number 4, April 2002*, 337–342.
- Lax, K. & Selinus, O., 2005: Geochemical mapping at the Geological Survey of Sweden. *Geochemistry – exploration, environment, analysis*. In print.
- 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.
- Lindström, M., Lundqvist, J. & Lundqvist, T., 1991: *Sveriges geologi från urtid till nutid*. Studentlitteratur, Lund. 398 s.
- Lintinen, P., 1995: Origin and physical characteristics of till fines in Finland. *Geological Survey of Finland, Bulletin 379*, 85–98.
- Lithner, G., & Holm, K., 2003: Nya metaller och föroreningar i svensk miljö. – *Naturvårdsverket Rapport 5306*, 76 s.

- Lundegårdh, P.H., Hübner, H., Wikman, H., Karis, L. & Magnusson, E., 1972: Beskrivning till berggrundsgeologiska kartbladet Örebro NV. *Sveriges geologiska undersökning Af nr 102*. 216 s.
- Lundegårdh, P.H. & Fromm, E., 1971: Beskrivning till berggrundskartbladet Örebro SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 101*. 70 s.
- Magnusson, E. & Gorbatshev, R., 1972: Beskrivning till geologiska kartbladet Örebro NO. *Sveriges geologiska undersökning Ae 7*. 74 s.
- Magnusson, E., 1986: Beskrivning till jordartskartan Eskilstuna SV. *Sveriges geologiska undersökning Ae 79*. 68 s.
- Naturvårdsverket 1999: Metodik för inventering av förorenade områden, *Rapport 4918*, 150 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.
- Reimann, C. (red.), Siewers, U., Tarvainen, T., Bityukova, L., Eriksson, J., Giucis, A., Gregorauskiene, V., Lukashev, V.K., Matinian, N.N. & Pasieczna, A., 2003: *Agricultural Soils in Northern Europe: A Geochemical Atlas*. Sonderhefte Reihe D J Geol. Jahrb., Heft 5. 279 s + 1 CD-ROM.
- Salminen, R. (red.), 1995: Aluellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982–1994. *Geologian tutkimuskeskus. Tutkimusraportti 130*, 47 s.
- Selinus, O., Alloway, B., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U. & Smedley, P., 2005: *Essentials of Medical Geology*. Elsevier. 812 s.
- Snäll, S. & Liljefors, T., 2000: Leachability of major elements from minerals in strong acids. *Journal of geochemical exploration* 71, 1–12.
- Wikström, A. & Karis, L., 1991: Beskrivning till berggrundskartorna Finspång NO, SO, NV, SV. *Sveriges geologiska undersökning Af 162, 163, 164, 165*. 216 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, about 200 000 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 (2005).

The main objective of the programme is to quantify regional variations in drift composition in order to provide data for use in agriculture, forestry, 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 silty 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. Approximately 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 freeze-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 a two g sample (<0.063 mm) in 10 ml distilled water, and resistivity to acidification is estimated after adding weak sulphuric acid and renewed pH determination.

The survey area of the present report covers approximately 3 500 km². A total of 479 samples of till and 88 samples of other sediments have been collected and analysed in the SGU survey programme.

The bedrock is mainly of Precambrian age, and belongs to the Svecofennian province, the maximum ages measured so far being about 1860 Ma. Central parts of the survey area are covered by Cambro-Silurian rocks, e.g. alum shales, clay- and siltstones, sandstones and limestones.

Glacial drift covers large parts of the area. The youngest direction of ice flow usually displays a movement from the N and NW. The central part is mainly covered by glacial and postglacial fine-grained sediments.

The results of the regional till geochemical mapping show that in the northern part of the survey area most elements occur in low concentrations. However, some base metal elements (Cu, Ni, Pb, Zn) are elevated east of Örebro. This anomaly is probably caused by local bedrock and known sulphide mineralizations. In central and eastern parts of the area some of the trace elements and CaO of the major elements show elevated contents, e.g. As, Cd, Mo, Tl, Sr. The elevations are caused by Cambro-Silurian bedrock (alum shales, clay stones).

South to south-east in the survey area the contents of most trace elements are elevated. This is interpreted mainly due to the local bedrock. However, long range transport of glacial drift could also explain some anomalies, especially elements that are anomalous over Cambro-Silurian rocks.

Gold is anomalous in two areas, one larger in the southernmost part of the survey area and one smaller in the western part. The gold anomalies are interpreted to be local and represent the underlying bedrock.

There are no known gold mineralizations in the area.

Bilaga 1

Element	Haltssort	10	30	50	70	90	95	99
Totalhalter (XRF), n=472								
Al ₂ O ₃	%	7,34	8,48	9,35	10,33	12,32	13,38	17,01
BaO	%	0,0332	0,0385	0,0425	0,0456	0,0511	0,0574	0,0656
CaO	%	0,68	0,85	1,02	1,16	1,35	1,48	1,89
Cl	mg/kg	40	54	72	89	129	182	274
Co	mg /kg	3	5	6	7	11	15	24
Cr	mg /kg	12	16	20	24	35	43	77
Cu	mg/ kg	1	3	5	8	16	20	45
Fe ₂ O ₃	%	1,07	1,47	1,81	2,23	3,19	3,84	5,65
K ₂ O	%	1,85	2,14	2,34	2,58	3,03	3,33	3,77
MgO	%	0,36	0,49	0,62	0,80	1,17	1,5	2,21
MnO	%	0,016	0,021	0,025	0,032	0,045	0,055	0,102
Na ₂ O	%	1,24	1,57	1,87	2,16	2,51	2,72	2,93
Ni	mg/kg	5	7	8	10	15	20	37
Pb	mg/kg	15	18	20	22	27	32	48
P ₂ O ₅	%	0,058	0,079	0,096	0,112	0,156	0,195	0,248
Rb	mg/kg	72	84	92	104	128	140	165
S	mg/kg	82	106	137	183	318	426	804
SiO ₂	%	63,8	68,4	71,7	74,3	79,4	82,0	85,6
Sr	mg/kg	58	70	79	88	99	105	115
TiO ₂	%	0,24	0,29	0,33	0,38	0,49	0,53	0,74
V	mg/kg	10	18	26	34	54	71	111
Y	mg/kg	26	30	34	38	46	53	63
Zn	mg/kg	16	21	26	35	52	69	126
Zr	mg/kg	297	334	377	436	551	613	751
Salpetersyra, 7M/ICP-MS, n=479								
Al ₂ O ₃	%	0,63	0,88	1,11	1,43	2,19	2,84	3,98
BaO	%	0,0010	0,0015	0,0020	0,0026	0,0042	0,0054	0,0093
CaO	%	0,11	0,16	0,2	0,24	0,35	0,42	0,95
Fe ₂ O ₃	%	0,51	0,77	1,01	1,43	2,18	2,75	4,65
K ₂ O	%	0,023	0,042	0,061	0,091	0,156	0,216	0,455
MgO	%	0,11	0,17	0,23	0,34	0,59	0,76	1,20
MnO	%	0,0044	0,0075	0,0112	0,0169	0,032	0,0416	0,0911
Na ₂ O	%	0,0049	0,0065	0,0079	0,0094	0,0125	0,0135	0,0171
P ₂ O ₅	%	0,0438	0,065	0,078	0,094	0,128	0,151	0,205
TiO ₂	%	0,033	0,048	0,06	0,075	0,102	0,121	0,200
Ag	mg/kg	0,033	0,044	0,053	0,068	0,113	0,132	0,189
As	mg/kg	0,5	0,9	1,6	3,4	8,9	12,4	27,1
BaO	%	0,0010	0,0014	0,0019	0,0026	0,0042	0,0054	0,0098
Be	mg/kg	0,2,0	0,27	0,34	0,43	0,67	0,92	1,22
Bi	mg/kg	0,08	0,11	0,14	0,19	0,32	0,47	2,09
Cd	mg/kg	0,02	0,04	0,05	0,06	0,11	0,14	0,23
Co	mg/kg	1,1	1,8	2,4	3,4	5,7	7,6	12,8
Cr	mg/kg	2,8	4,4	6,0	8,4	14,5	18,2	34,1
Cu	mg/kg	1,4	2,5	3,8	6,6	13,0	17,8	34,3
La	mg/kg	10,0	12,0	14,1	17,5	23,4	27,1	43,2
Li	mg/kg	2,5	4,0	6,1	8,6	14,6	18,4	27,8
Mo	mg/kg	0,07	0,14	0,23	0,52	1,67	2,37	6,63
Na ₂ O	%	0,0047	0,0061	0,0071	0,0087	0,0114	0,0127	0,0149
Ni	mg/kg	1,5	2,8	4,0	6,0	10,5	14,5	27,9
Pb	mg/kg	3,3	4,3	5,3	7,0	11,2	14	27,8
Rb	mg/kg	3,3	5,4	7,8	11,4	19,1	25,8	46,2
Se	mg/kg	0,12	0,15	0,18	0,22	0,33	0,41	0,64
Sn	mg/kg	0,13	0,2	0,26	0,34	0,45	0,51	1,08
Sr	mg/kg	3,1	4,1	5,0	6,3	9,0	10,5	17,2
Th	mg/kg	3,6	4,6	5,7	7,2	9,6	11,1	17,6
Tl	mg/kg	0,033	0,067	0,109	0,199	0,403	0,524	0,902
U	mg/kg	1,0	1,3	1,8	2,4	4,0	5,7	7,6
V	mg/kg	6,1	8,4	10,6	13,8	20,8	26,2	48,5
W	mg/kg	0,04	0,06	0,09	0,12	0,19	0,25	0,39
Y	mg/kg	4,8	6,4	8,0	10,1	14,2	16,3	29,2
Zn	mg/kg	7,9	12,3	16,9	24,6	40	51,4	90,4
Kungsvatten/ICP-MS, n=479								
As	mg/kg	0,9	1,3	2,1	3,8	8,8	12,6	25,7
Au	µg/kg	0,2	0,4	0,6	0,9	1,5	2,1	9,3
BaO	%	0,001	0,0014	0,0019	0,0025	0,0041	0,005	0,0092
Bi	mg/kg	0,09	0,12	0,16	0,21	0,38	0,57	2,34
Cd	mg/kg	0,02	0,03	0,04	0,06	0,11	0,13	0,21
Cu	mg/kg	1,5	2,7	4,0	6,7	13,6	18,3	34,3
Sb	mg/kg	0,03	0,04	0,05	0,08	0,16	0,26	0,49
Ta	mg/kg	0,0029	0,0041	0,0059	0,0092	0,0225	0,0309	0,0558
pH, n=479								
pH		4,73	4,91	5,1	5,37	6,30	6,78	8,18

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 Göta-lands 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 syrabelastning. 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 91-7158-747-0

Tryck: Elanders Tofters, Östervåla 2005